



Σχολή Ανθρωπιστικών Επιστημών

Εκπαίδευση & Τεχνολογίες σε συστήματα εξ αποστάσεως
διδασκαλίας και μάθησης-Επιστήμες της Αγωγής (ΕΤΑ)

Διπλωματική Εργασία

«Δυναμική Οπτικοποίηση στον Σχεδιασμό Εκπαιδευτικού Υλικού
για την Διδασκαλία Θετικών Επιστημών στην εξΑΕ»

Θεόδωρος Δεληκούρας

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Σοφία Παπαδημητρίου

Πάτρα, Ιούνιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή (Θεόδωρου Δεληκούρα) που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



«Δυναμική Οπτικοποίηση στον Σχεδιασμό Εκπαιδευτικού Υλικού
για την Διδασκαλία Θετικών Επιστημών στην ΕξΑΕ»

Θεόδωρος Δεληκούρας

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Σοφία Παπαδημητρίου

Μέλος ΣΕΠ ΕΑΠ

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Ανθή Καρατράντου

Μέλος ΣΕΠ ΕΑΠ

Πάτρα, Ιούνιος 2026

Η ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί το τέλος μιας έντονης και δημιουργικής πορείας στο Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Εκφράζω τις θερμότερες ευχαριστίες μου προς την κυρία Σοφία Παπαδημητρίου, η οποία με την επιστημονική της επάρκεια και τις καίριες υποδείξεις της με βοήθησε να ξεπεράσω τις σχεδιαστικές και μεθοδολογικές προκλήσεις της έρευνας, όπως και τις κυρίες Ανθή Καρατράντου και Ευαγγελία Μανούσου για τις εύστοχες και πολύτιμες τοποθετήσεις τους. Παράλληλα ως μάχιμος εκπαιδευτικός, οφείλω να ευχαριστήσω τους μαθητές μου, οι οποίοι αποτελούν τη διαρκή πηγή έμπνευσης για την αναζήτηση νέων διδακτικών εργαλείων και τη βελτίωση της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Η καθημερινή αλληλεπίδραση μαζί τους ήταν ο καταλύτης για τη γέννηση των ερευνητικών ερωτημάτων αυτής της εργασίας. Το μεγαλύτερο όμως «ευχαριστώ» ανήκει στους δικούς μου ανθρώπους, οικογένεια και φίλοι, οι οποίοι βρέθηκαν δίπλα μου σε κάθε στιγμή πίεσης, προσφέροντας την απαραίτητη συναισθηματική στήριξη και δείχνοντας απόλυτη κατανόηση στις αμέτρητες ώρες απουσίας μου μπροστά από μια οθόνη.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τον συστηματικό σχεδιασμό και την παιδαγωγική αξιολόγηση των δυναμικών οπτικοποιήσεων κατά τη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών στο πλαίσιο της Ανοικτής και Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευσης. Με δεδομένη την εγγενή εννοιολογική αφαίρεση που χαρακτηρίζει τις Θετικές Επιστήμες, η έρευνα εστιάζει στη γεφύρωση του μακροσκοπικού, του μικροσκοπικού ή υποατομικού και του συμβολικού επιπέδου αναπαράστασης μέσω της χρήσης οπτικοακουστικών πόρων. Η μεθοδολογική προσέγγιση που υιοθετείται είναι αυτή της τριγωνοποίησης μελετών περιπτώσεων, εστιάζοντας στην ανάλυση οκτώ δημοφιλών εκπαιδευτικών καναλιών της πλατφόρμας YouTube (CrashCourse, Kurzgesagt – In a Nutshell, Periodic Videos, Khan Academy, Astronio, Καθημερινή Φυσική, Σχολική Χημεία, KhanAcademyGreek). Η αξιολόγηση του ψηφιακού υλικού πραγματοποιείται μέσω της σύνθεσης δύο κορυφαίων θεωρητικών πλαισίων: της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης του Richard Mayer, η οποία εξετάζει τον μικρο-σχεδιασμό της οθόνης και τη διαχείριση του γνωστικού φορτίου, και του μοντέλου SECTIONS του Tony Bates, το οποίο αποτιμά τον μακρο-σχεδιασμό και την καταλληλότητα των τεχνολογικών μέσων στην εξΑΕ.

Τα ποσοτικά ευρήματα από τα δεδομένα (analytics) των καναλιών επιβεβαιώνουν τη σημασία της Αρχής της Κατάτμησης, αναδεικνύοντας ότι βίντεο μικρής διάρκειας (6 έως 15 λεπτών) επιτυγχάνουν σημαντικά υψηλότερα ποσοστά διατήρησης της προσοχής (watchtime) σε σχέση με τις μακροσκελείς διαλέξεις, περιορίζοντας το Φαινόμενο της Παροδικής Πληροφορίας (Transient Information Effect). Παράλληλα, η ποιοτική ανάλυση περιεχομένου αποκαλύπτει ότι ο καταγιστικός ρυθμός παρουσίασης προκαλεί γνωστική υπερφόρτωση, αναγκάζοντας τους/τις μαθητές/τριες να αναλάβουν χειροκίνητα τον έλεγχο του ρυθμού, ενώ η απουσία συναισθηματικής εγγύτητας επηρεάζει αρνητικά τη μαθησιακή εμπλοκή. Επιπλέον, εντοπίζεται ένα «ηλικιακό παράδοξο», καθώς η πλειονότητα των χρηστών στα σχολικά κανάλια ανήκει στην ομάδα 35–54 ετών, γεγονός που υποδηλώνει διαμεσολαβημένη πρόσβαση μέσω γονέων ή εκπαιδευτικών. Η ανάλυση των σχολίων αναδεικνύει τη λειτουργία τους ως άτυπων Κοινοτήτων Διερεύνησης, όπου αναπτύσσεται ομότιμη διδασκαλία (peer tutoring) για τη γεφύρωση του εννοιολογικού και αλγοριθμικού χάσματος. Η εργασία καταλήγει σε τρεις προτάσεις για μελλοντική έρευνα: τη θεσμοθέτηση μιας δισδιάστατης διαγνωστικής κλίμακας αξιολόγησης (Mayer - Bates), τη δημιουργία

ενός πρακτικού οδηγού παραγωγής βίντεο με διαδραστικά στοιχεία για τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και τον σχεδιασμό μιας μελλοντικής έρευνας για την παραγωγή animated βίντεο Χημείας.

Λέξεις – Κλειδιά

Δυναμική Οπτικοποίηση, Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση, Διδακτική των Θετικών Επιστημών, Γνωστική Θεωρία Πολυμεσικής Μάθησης, Μοντέλο SECTIONS, YouTube στην Εκπαίδευση, Γνωστικό Φορτίο, Εκπαιδευτικό Βίντεο.

Dynamic Visualization in Designing Educational Materials for Science Education in Distance Learning

Theodoros Delikouras

Abstract

This master's thesis addresses the systematic design and pedagogical evaluation of dynamic visualizations in science education within the context of Open and Distance Education. Given the inherent conceptual abstraction that characterizes science education, the research focuses on bridging the macroscopic, subatomic, and symbolic levels of representation through the utilization of audiovisual resources. The methodological approach adopted involves the triangulation of case studies, focusing on the analysis of eight popular educational channels on the YouTube platform (CrashCourse, Kurzgesagt – In a Nutshell, Periodic Videos, Khan Academy, Astronio, Καθημερινή Φυσική [Everyday Physics], Σχολική Χημεία [School Chemistry], and KhanAcademyGreek). The evaluation of the digital material is conducted through the organic synthesis of two prominent theoretical frameworks: Richard Mayer's Cognitive Theory of Multimedia Learning, which examines the micro-design of the screen and cognitive load management, and Tony Bate's SECTIONS model, which assesses the macro-design and suitability of technological media in distance education.

The quantitative findings from the channels' analytics confirm the significance of the Segmenting Principle, demonstrating that short-duration videos (6 to 15 minutes) achieve significantly higher audience retention rates (watchtime) compared to long-form lectures, thereby mitigating the Transient Information Effect. Concurrently, qualitative content analysis reveals that the rapid pacing of presentation causes cognitive overload, forcing students to manually control the pacing, while the lack of emotional proximity negatively affects learning engagement. Furthermore, an "age paradox" is identified, as most users on school-oriented channels belong to the 35–54 age group, suggesting mediated access via parents or educators. The analysis of the comment sections highlights their

function as informal Communities of Inquiry, where peer tutoring develops to bridge the conceptual and algorithmic gap. The thesis concludes with three proposals for future research: the establishment of a two-dimensional diagnostic evaluation scale (Mayer-Bates), the creation of a practical video production guide with interactive elements for secondary education, and the design of a future Research project to produce animated Chemistry videos.

Keywords

Dynamic Visualization, Distance Education, Science Education, Cognitive Theory of Multimedia Learning, SECTIONS Model, YouTube in Education, Cognitive Load, Educational Video.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	xi
Κατάλογος Πινάκων	xii
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xiii
Εισαγωγή.....	1
Σκοπός της Έρευνας.....	2
Επιμέρους Στόχοι	2
Ερευνητικά Ερωτήματα	3
Πρωτοτυπία της Έρευνας.....	4
Παρουσίαση των Κεφαλαίων της Εργασίας	5
1. Θεωρητικό Μέρος	7
1.1 Η Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση στις Θετικές Επιστήμες.....	8
1.2 Σύγχρονη και Ασύγχρονη Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση στις Θετικές Επιστήμες	13
1.3 Η Πολυμεσική Μάθηση του Mayer	16
1.3.1 Η Αρχή της Συνάφειας	17
1.3.2 Η Αρχή της Σήμανσης.....	19
1.3.3 Η Αρχή του Πλεονασμού.....	20
1.3.4 Η Αρχή της Χωρικής Συνάφειας.....	22
1.3.5 Η Αρχή της Χρονικής Συνάφειας	24
1.3.6 Η Αρχή της Κατάτμησης	26
1.3.7 Η Αρχή της Προεκπαίδευσης.....	28
1.3.8 Η Αρχή της Τροπικότητας	30
1.3.9 Η Αρχή της Πολυμεσικότητας	32
1.3.10 Η Αρχή της Προσωποποίησης	33
1.3.11 Η Αρχή της Φωνής.....	35
1.3.12 Η Αρχή της Εικόνας.....	37
1.4 Το Μοντέλο SECTIONS.....	39
1.4.1 Students (Μαθητές/τριες).....	42
1.4.2 Ease of Use (Ευκολία Χρήσης).....	43
1.4.3 Cost (Κόστος).....	45
1.4.4 Teaching Functions (Διδακτικές Λειτουργίες).....	47
1.4.5 Interaction (Αλληλεπίδραση)	49
1.4.6 Organizational Issues (Οργανωτικά Θέματα)	50
1.4.7 Networking (Δικτύωση).....	52
1.4.8 Security and Privacy (Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα)	53
1.5 Η Δυναμική του Βίντεο στην εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση	55
1.5.1 Η Παιδαγωγική Αξία του Βίντεο στην εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση	55
1.5.2 Η Σημασία της Οπτικοποίησης στις Θετικές Επιστήμες	60
1.5.3 Το YouTube και τα Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης ως Μέσα Επικοινωνίας της	63
Επιστήμης.....	

1.5.4 Διάχυση και αξιοποίηση βίντεο μέσω YouTube στις Θετικές Επιστήμες.....	69
1.6 Οι Δημοφιλέστερες Οπτικοποιήσεις	75
1.6.1 Κινούμενο Σχέδιο.....	79
1.6.2 Γραφικές Αναπαραστάσεις Ποσοτικών Δεδομένων	89
1.6.3 Βιντεοσκόπηση Πειράματος	95
1.6.4 Μοντέλα Προσομοίωσης	99
1.6.5 Τεχνολογίες Πίνακα και Κινούμενων Γραφικών.....	104
1.7 Τα προς ανάλυση YouTube Κανάλια	117
1.7.1 Τα Ελληνικά Εκπαιδευτικά Κανάλια	117
1.7.2 Τα Διεθνή Εκπαιδευτικά Κανάλια	122
2. Μεθοδολογία Έρευνας	129
2.1 Μεθοδολογία Βιβλιογραφικής Αναζήτησης	131
2.2 Μελέτες Περίπτωσης: Ποσοτικά Δεδομένα.....	137
2.3 Μελέτες Περίπτωσης: Ποιοτικά Δεδομένα.....	140
3. Ευρήματα της Έρευνας	144
3.1 Ποσοτική Ανάλυση Μελετών Περίπτωσης	144
3.2 Ποιοτική Ανάλυση Μελετών Περίπτωσης	156
4. Συμπεράσματα και Συζήτηση	172
4.1 Συμπεράσματα Πρώτου Ερευνητικού Ερωτήματος	173
4.2 Συμπεράσματα Δεύτερου Ερευνητικού Ερωτήματος	174
4.3 Συμπεράσματα Τρίτου Ερευνητικού Ερωτήματος	176
4.4 Προτάσεις για τη Συνέχεια της Έρευνας και τον Μελλοντικό Εκπαιδευτικό Σχεδιασμό.....	178
Βιβλιογραφία.....	181
Παράρτημα Α: Ποσοτικά Δεδομένα	193
Παράρτημα Β: Ποιοτικά Δεδομένα	5

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

- Σχήμα 1.1 Διαγραμματική Απεικόνιση της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης (Cognitive Theory of Multimedia Learning - CTML) του Richard E. Mayer____σελίδα 39
- Σχήμα 1.2 Διαγραμματική Απεικόνιση του μοντέλου SECTIONS του Bates.____σελίδα 55
- Σχήμα 1.3 Διαγραμματική Απεικόνιση των Δημοφιλέστερων Οπτικοποιήσεων_σελίδα 117
- Σχήμα 2.1 Διαγραμματική Απεικόνιση της Καταγραφής Δημοσιευμένων Analytics της Πλατφόρμας YouTube_____σελίδα 139
- Σχήμα 2.2 Διαγραμματική Απεικόνιση της Διαφοροποιημένης Δειγματοληψίας Δεδομένων_____σελίδα 140
- Σχήμα 3.1 Συγκριτικός Μέσος Όρος Θεάσεων ανά Βίντεο Εγχώριων και Διεθνών Καναλιών_____σελίδα 148
- Σχήμα 3.2 – Συγκριτικός Μέσος Όρος Likes ανά Βίντεο Εγχώριων και Διεθνών Καναλιών____σελίδα 150
- Σχήμα 3.3 Συγκριτικός Μέσος Όρος Σχολίων ανά Βίντεο Εγχώριων και Διεθνών Καναλιών_____σελίδα 150
- Σχήμα 3.4 – Συσχέτιση Μέσου Όρου Likes και Σχολίων ανά Κατηγορία Καναλιού____σελίδα 150
- Σχήμα 3.5 – Εννοιολογικό Διάγραμμα Ροής της Ποιοτικής Κωδικοποίησης και Θεματικής Ανάλυσης των Σχολίων_____σελίδα 157
- Σχήμα 3.6 Διαγραμματική Απεικόνιση του τρόπου που τα Κανάλια Επικοινωνίας της Επιστήμης, μετεξελίσσονται σε Δυναμικές Κοινότητες Διερεύνησης_____σελίδα 171
- Σχήμα 3.7 Διαγραμματική Απεικόνιση του τρόπου που τα Κανάλια Τυπικής Εκπαίδευσης / Αποθετήρια δεν μετεξελίσσονται σε Δυναμικές Κοινότητες Διερεύνησης____σελίδα 171

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 - Πλεονεκτήματα της Αξιοποίησης του YouTube στη Διδακτική των Θετικών Επιστημών _____ σελίδα 72

Πίνακας 1.2 - Περιορισμοί, Διαφημίσεις και Ζητήματα Πνευματικών Δικαιωμάτων _____ σελίδα 74

Πίνακας 1.3 Οι οπτικοποιήσεις βάσει των Αρχών της Πολυμεσικής Μάθησης του Mayer _____ σελίδα 110

Πίνακας 1.4 Οι οπτικοποιήσεις βάσει των Κριτηρίων του Μοντέλου SECTIONS του Bates _____ σελίδα 113

Πίνακας 1.5 Πλήθος Βίντεο, Θεματολογίες και Μορφές Οπτικοποίησης των Καναλιών Τυπικής Εκπαίδευσης / Αποθετηρίων (έως και τον Απρίλιο του 2026) _____ σελίδα 128

Πίνακας 1.6 Πλήθος Βίντεο, Θεματολογίες και Μορφές Οπτικοποίησης των Καναλιών Επικοινωνίας της Επιστήμης (έως και τον Απρίλιο του 2026) _____ σελίδα 128

Πίνακας 3.1 – Βασικά Analytics των υπό σύγκριση καναλιών _____ σελίδα 146

Πίνακας 3.2 – Μέσο Ποσοστό Προβολής και Μέσος Όρος Διάρκειας ανά Βίντεο _____ σελίδα 152

Πίνακας 3.3 - Ποσοστό % Φύλου και Ηλικίας Θεατών ανά Κανάλι _____ σελίδα 154

Πίνακας 3.4 - Συγκεντρωτικός Πίνακας Μεθοδολογικής Τριγωνοποίησης Ποσοτικών Δεικτών και Ποιοτικών Θεματικών Κατηγοριών _____ σελίδα 170

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

Ακολουθούν κάποια παραδείγματα:

ΔΕ	Διπλωματική Εργασία
ΕΑΠ	Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
ΘΕ	Θεματική Ενότητα
ΠΕ	Πτυχιακή Εργασία
ΠΣ	Πρόγραμμα Σπουδών
ΣΥΝ	Συντονιστής/Συντονίστρια
εξΑΕ	Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση
ΥΠΑΙΘΑ	Υπουργείο Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού
ΙΕΠ	Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
CTML	Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης
ΤΠΕ	Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνίας

Εισαγωγή

Η ραγδαία εξέλιξη των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας (ΤΠΕ) κατά την τελευταία εικοσαετία έχει επιφέρει βαθιές και δομικές αλλαγές στο παγκόσμιο εκπαιδευτικό τοπίο, επαναπροσδιορίζοντας τις παραμέτρους της διδακτικής διαδικασίας, της μαθησιακής διαδικασίας και του σχεδιασμού του σύγχρονου εκπαιδευτικού υλικού. Στο νέο αυτό ψηφιακό οικοσύστημα, η Ανοικτή και Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση έχει μετατοπιστεί οριστικά από το περιθώριο των εναλλακτικών ή συμπληρωματικών μορφών επιμόρφωσης στο επίκεντρο των σύγχρονων ερευνητικών και εφαρμοσμένων παιδαγωγικών προσεγγίσεων. Ιδιαίτερα στο απαιτητικό επιστημονικό πεδίο των Θετικών Επιστημών, η μετάβαση σε ψηφιακά και εξ αποστάσεως περιβάλλοντα μάθησης αναδεικνύει μια σειρά από ιδιαίτερες προκλήσεις και σύνθετα παιδαγωγικά προβλήματα. Οι κλάδοι των Θετικών Επιστημών ανέκαθεν βασίζονταν στην άμεση επαφή με το φυσικό πείραμα, την εργαστηριακή πρακτική και τη δια ζώσης καθοδήγηση, γεγονός που καθιστά την ανάγκη για τη γεφύρωση της απόστασης επιτακτική. Η ανάγκη αυτή επιβάλλει τη δημιουργία και την κριτική αξιολόγηση εξειδικευμένων ψηφιακών πόρων, με το εκπαιδευτικό βίντεο και τις δυναμικές οπτικοποιήσεις να αναλαμβάνουν πλέον τον ρόλο του βασικού διαμεσολαβητή της γνώσης, όπως αναλύεται στα θεωρητικά πλαίσια του μοντέλου SECTIONS από τον Bates (1995, 2015) και του οπτικοακουστικού γραμματισμού από τους Παπαδημητρίου και Σοφό (2022).

Οι Θετικές Επιστήμες χαρακτηρίζονται εγγενώς από ένα υψηλό επίπεδο εννοιολογικής αφάιρεσης, η οποία συχνά δυσκολεύει τους/τις μαθητές/μαθήτριες της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης να αναπτύξουν έγκυρα νοητικά μοντέλα. Η ολοκληρωμένη κατανόηση των Θετικών Επιστημών απαιτεί τη συνεχή και ταυτόχρονη νοητική μετάβαση μεταξύ τριών επιπέδων: του μακροσκοπικού, το οποίο αφορά τα αισθητά φαινόμενα, του μικροσκοπικού ή υποατομικού, το οποίο αφορά τη συμπεριφορά των ατόμων και των μορίων και του συμβολικού επιπέδου, το οποίο περιλαμβάνει χημικούς τύπους, μαθηματικές εξισώσεις και στατιστικά γραφήματα. Όπως τεκμηριώνουν οι Dori και Hameiri (2003) το συμβολικό και το υποατομικό επίπεδο παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες δυσκολίες για τους εκπαιδευόμενους λόγω της αφηρημένης φύσης τους. Η εισαγωγή των δυναμικών οπτικοποιήσεων, όπως τα κινούμενα σχέδια, οι διαδραστικές προσομοιώσεις, οι βιντεοσκοπήσεις εργαστηριακών πειραμάτων και οι τεχνολογίες ψηφιακού πίνακα προσφέρει πρωτόγνωρες διδακτικές δυνατότητες, επιτρέποντας την άμεση σύνδεση των πειραματικών μετρήσεων με τη δυναμική εμφάνιση μιας καμπύλης ή μιας μικροσκοπικής αναπαράστασης, προσφέροντας μια αυθεντική εμπειρία επιστημονικής διερεύνησης (Agustian & Seery, 2017; Alksne, 2016).

Ωστόσο, η ενσωμάτωση δυναμικών οπτικοποιήσεων στην ασύγχρονη εξ αποστάσεως εκπαίδευση δεν εγγυάται αυτόματα τη μαθησιακή αναβάθμιση. Η παιδαγωγική αποτελεσματικότητα της ενσωμάτωσης γραφημάτων, πινάκων και κινουμένων σχεδίων εντός των εκπαιδευτικών βίντεο ερμηνεύεται μέσω της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης του Richard Mayer (2009), η οποία εδράζεται στη Θεωρία Γνωστικού Φορτίου των Chandler και Sweller (1991). Η ανθρώπινη «μνήμη εργασίας» διαθέτει εξαιρετικά περιορισμένη χωρητικότητα και επεξεργάζεται τις πληροφορίες μέσω δύο ανεξάρτητων διαύλων. (Baddeley & Hitch, 1974) Όπως υπογραμμίζουν οι Berk (2009) και Brame (2016), η ταυτόχρονη παρουσίαση οπτικών δεδομένων και η ακουστική περιγραφή από τον/την εκπαιδευτικό επιτρέπει τη διπλή κωδικοποίηση της πληροφορίας χωρίς να επιβαρύνει το οπτικό κανάλι με περιττό γραπτό κείμενο. Αντίθετα, όταν το ψηφιακό υλικό περιέχει υπερβολικά πολλά διακοσμητικά στοιχεία ή ταχύτατα εναλλασσόμενα γραφικά που δεν εξυπηρετούν τον διδακτικό στόχο, παραβιάζονται οι βασικές σχεδιαστικές αρχές, όπως η αρχή της σηματοδότησης και η αρχή της συνάφειας, οδηγώντας σε έντονα φαινόμενα «γνωστικής υπερφόρτωσης» της «βραχύχρονης μνήμης» (Mayer & Moreno, 2003; Fiorella & Mayer, 2018). Συνεπώς, ο προσεκτικός σχεδιασμός του εκπαιδευτικού υλικού πρέπει να υπακούει σε αυστηρές γνωστικές αρχές, όπως η Αρχή της Χωρικής και Χρονικής Συνάφειας, διασφαλίζοντας ότι οι μαθητές/τριες θα αφιερώσουν τους περιορισμένους γνωστικούς τους πόρους στη δόμηση συνεκτικών νοητικών μοντέλων (Mayer, 2009).

Σκοπός της Έρευνας

Ο κεντρικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνήσει και να αποτιμήσει τον ρόλο της αφηγηματικής και δυναμικής οπτικοποίησης (animations, motion graphics κ.λπ.) στον σχεδιασμό εκπαιδευτικού υλικού για τη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση. Μέσα από τη μελέτη συγκεκριμένων καναλιών του YouTube, επιδιώκεται η ανάδειξη των βέλτιστων πρακτικών που ενισχύουν την εμπλοκή των μαθητών και προστατεύουν το γνωστικό τους φορτίο από την υπερφόρτωση.

Επιμέρους Στόχοι

Για την επίτευξη του κεντρικού σκοπού, ορίζονται οι ακόλουθοι επιμέρους στόχοι:

- Η συστηματική καταγραφή και στατιστική επεξεργασία των δεικτών ενεργητικής εμπλοκής (engagement metrics) επιλεγμένων ελληνικών και διεθνών εκπαιδευτικών καναλιών.
- Η ποιοτική ανάλυση της ανατροφοδότησης (feedback) των χρηστών μέσα από τα σχόλιά τους, με σκοπό τον εντοπισμό σημείων γνωστικής δυσκολίας ή συναισθηματικής ευθυγράμμισης.
- Η αξιολόγηση του ψηφιακού υλικού με βάση τα κριτήρια της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης του Mayer και του Μοντέλου SECTIONS του Bates.
- Η ανάλυση εξειδικευμένων δεδομένων παρασκηνίου (backend metrics) των καναλιών για την επαλήθευση των θεωρητικών προβλέψεων στην πράξη.

Ερευνητικά Ερωτήματα

Η ερευνητική διαδικασία καθοδηγείται από τα εξής ερωτήματα:

1. Πώς επηρεάζουν τα δομικά και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά (μορφή οπτικοποίησης, θεματικό εύρος, διάρκεια βίντεο) των επιλεγμένων καναλιών τους δείκτες δημόσιας εμπλοκής (προβολές, likes, σχόλια) και διατήρησης προσοχής του κοινού (watchtime);
2. Σε ποιο βαθμό τα εξεταζόμενα κανάλια ενσωματώνουν τις αρχές της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης του Mayer και πώς η σχεδιάσή τους αντανακλάται στην ποιοτική ανατροφοδότηση (σχόλια) των μαθητών αναφορικά με τη γνωστική υπερφόρτωση;
3. Πώς αποτιμάται η παιδαγωγική και τεχνολογική καταλληλότητα των δυναμικών οπτικοποιήσεων για την εξ αποστάσεως εκπαίδευση, βάσει των αξόνων του μοντέλου SECTIONS (Students, Ease of Use, Teaching Functions, Interaction), όπως αυτοί προκύπτουν από τη διασταύρωση της βιβλιογραφικής επισκόπησης και τα δεδομένα των μελετών περίπτωσης;

Πρωτοτυπία της Έρευνας

Η πρωτοτυπία της παρούσας διπλωματικής εργασίας εντοπίζεται στη μετατόπιση του ερευνητικού ενδιαφέροντος από τα τεχνητά ή ελεγχόμενα εργαστηριακά πειραματικά περιβάλλοντα στην θέαση ψηφιακού υλικού εντός του ανοικτού οικοσυστήματος του YouTube. Σε αντίθεση με προγενέστερες έρευνες που εστιάζουν στην παραγωγή πρωτογενούς οπτικοακουστικού υλικού ή σε ελεγχόμενα δείγματα μικρής κλίμακας, η παρούσα μελέτη υιοθετεί μια αμιγώς ποιοτική και ποσοτική προσέγγιση μελετών περίπτωσης, εφαρμόζοντας τη στρατηγική της τριγωνοποίησης δεδομένων (Creswell & Creswell, 2017). Η καινοτομία της προσέγγισης έγκειται στη συστηματική διασταύρωση των ποσοτικών δεδομένων (analytics), όπως οι δείκτες διατήρησης της προσοχής (watchtime) και οι παράμετροι κοινωνικής απήχησης (προβολές, likes, σχόλια), με την ποιοτική ανάλυση περιεχομένου τόσο των ίδιων των βίντεο όσο και της αυθεντικής ανατροφοδότησης (feedback) της εκπαιδευτικής κοινότητας.

Επιπρόσθετα, η εργασία παρουσιάζει σημαντική πρωτοτυπία καθώς επιχειρεί τη θεωρητική και λειτουργική σύζευξη δύο συμπληρωματικών μοντέλων που σπάνια εξετάζονται ταυτόχρονα στη βιβλιογραφία: της Γνωστικής Θεωρίας Πολυμεσικής Μάθησης του Mayer (2009), η οποία ελέγχει τον μικρο-σχεδιασμό (micro-design) της επεξεργασίας πληροφοριών στην οθόνη, και του μοντέλου SECTIONS του Bates (2015), το οποίο αποτιμά τον μακρο-σχεδιασμό (macro-design) και την καταλληλότητα των μέσων στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση. Μέσα από αυτή τη σύνθεση, η έρευνα προσφέρει μια πρωτότυπη εμπειρική επιβεβαίωση της Αρχής της Κατάτμησης και του Φαινομένου της Παροδικής Πληροφορίας (Transient Information Effect) αναδεικνύοντας τις στρατηγικές άμυνας των μαθητών (παύσεις, επαναλήψεις) απέναντι σε κανάλια που χαρακτηρίζονται από βίντεο καταγιστρικού ρυθμού. Η πρωτοτυπία ολοκληρώνεται με την ανάδειξη δύο φαινομένων στην ελληνική πραγματικότητα: του «ηλικιακού παραδόξου» των χρηστών (35-54 ετών) στα σχολικά κανάλια και της λειτουργίας των σχολίων ως άτυπων Κοινοτήτων Διερεύνησης, όπου αναπτύσσεται ομότιμη διδασκαλία (peer tutoring) για τη γεφύρωση του εννοιολογικού και αλγοριθμικού χάσματος στις Θετικές Επιστήμες, προσφέροντας τελικά ένα πρακτικό εργαλείο διδασκαλίας για τον μάχιμο εκπαιδευτικό.

Παρουσίαση των Κεφαλαίων της Εργασίας

Για την αρμονική και λογική καθοδήγηση του αναγνώστη στο σύνθετο αντικείμενο της μελέτης, η παρούσα εργασία διαρθρώνεται σε τέσσερα μεγάλα, διακριτά αλλά εσωτερικά συνδεδεμένα κεφάλαια, τα οποία αναλύουν μεθοδικά τη θεωρία, τη μεθοδολογία, τα ευρήματα και τα συμπεράσματα της έρευνας.

Το *Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό Μέρος* αποτελεί το επιστημονικό θεμέλιο της εργασίας. Ξεκινά με μια εκτενή ανασκόπηση της εξΑΕ στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών, αναλύοντας τις έννοιες της σύγχρονης και ασύγχρονης επικοινωνίας. Στη συνέχεια, αναλύει τη Γνωστική Θεωρία Πολυμεσικής Μάθησης του Mayer, επεξηγώντας ξεχωριστά και τις 12 αρχές σχεδιασμού (από την αρχή της συνάφειας έως την αρχή της εικόνας) και συνδέοντάς τις με τη διαχείριση του γνωστικού φορτίου (Sweller, 1982). Ακολούθως, αναπτύσσεται το μοντέλο SECTIONS του Bates, εξετάζοντας κάθε μία από τις οκτώ μεταβλητές του. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τη παρουσίαση των δημοφιλέστερων οπτικοποιήσεων και την αναλυτική παρουσίαση των οκτώ διεθνών και ελληνικών καναλιών του YouTube που επελέγησαν ως αντικείμενο μελέτης.

Το *Κεφάλαιο 2: Μεθοδολογία Έρευνας* οριοθετεί την έρευνα και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η μεθοδολογία της βιβλιογραφικής αναζήτησης καθώς και η στρατηγική της ποιοτικής και ποσοτικής ανάλυσης των μελετών περιπτώσεων και αιτιολογείται η επιλογή των συγκεκριμένων καναλιών ως αντιπροσωπευτικών δειγμάτων διαφορετικών σχεδιαστικών φιλοσοφιών. Αναλύονται οι μέθοδοι συλλογής των δεδομένων, οι οποίες περιλαμβάνουν την συγκέντρωση analytics (διάρκεια, προβολές, watchtime) και τη συστηματική ανάλυση περιεχομένου (content analysis) των βίντεο και των σχολίων των χρηστών. Τέλος, παρουσιάζεται το πλέγμα τριγωνοποίησης και οι ηθικές προεκτάσεις της έρευνας.

Το *Κεφάλαιο 3: Ευρήματα της Έρευνας* είναι αφιερωμένο στην παρουσίαση των ευρημάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων. Μέσα από λεπτομερείς συγκριτικούς πίνακες και διαγράμματα, παρουσιάζονται τα ποσοτικά στοιχεία, αναδεικνύοντας τη μαθηματική υπεροχή των σύντομων, κατανεμημένων βίντεο (Καθημερινή Φυσική, Kurzgesagt) έναντι των μακροσκελών παραδόσεων. Παράλληλα,

παρατίθενται τα ποιοτικά ευρήματα από την ανάλυση περιεχομένου, αποτυπώνοντας πώς ο καταιγιστικός ρυθμός του CrashCourse ή η μειωμένη συναισθηματική εγγύτητα του Khan Academy επηρεάζουν τη νοητική επεξεργασία, ενώ αναλύεται διεξοδικά η δυναμική των σχολίων ως έναυσμα Κοινοτήτων Διερεύνησης.

Το *Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα* αποτελεί το «κλείσιμο του κύκλου» της διπλωματικής εργασίας. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η ερμηνευτική σύνθεση των ευρημάτων με τη θεωρία, απαντώντας οριστικά στα ερευνητικά ερωτήματα. Αναδεικνύεται το «εννοιολογικό έναντι του αλγοριθμικού χάσματος» και το «ηλικιακό παράδοξο» της ελληνικής πραγματικότητας. Το κεφάλαιο προχωρά σε τρεις μελλοντικές ερευνητικές προτάσεις: την πρόταση μιας νέας διαγνωστικής κλίμακας αξιολόγησης (Mayer - Bates), τη συγγραφή ενός πρακτικού οδηγού παραγωγής βίντεο με διαδραστικά στοιχεία για καθηγητές/τριες δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, και το σχεδιασμό μιας μελλοντικής έρευνας για τη δημιουργία animated βίντεο Χημείας.

1. Θεωρητικό Μέρος

Η συστηματική ενσωμάτωση των ΤΠΕ στη σύγχρονη εκπαίδευση έχει αναδιαμορφώσει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται η διδασκαλία και η μάθηση στα σχολεία του εικοστού πρώτου αιώνα (Bates, 2019). Η ανάγκη για τον ανασχεδιασμό των συμβατικών διδακτικών πρακτικών κατέστη άμεση και επιτακτική, αναδεικνύοντας τα ψηφιακά μέσα ως κεντρικό πυλώνα για τη διατήρηση της εκπαιδευτικής συνοχής, της ευελιξίας και της ισότιμης πρόσβασης στη γνώση (Beheshti et al., 2018). Μεταξύ των ποικίλων εργαλείων που ενσωματώθηκαν στην εκπαιδευτική πράξη, το εκπαιδευτικό βίντεο μετατοπίστηκε από τη θέση ενός απλού συμπληρωματικού εποπτικού υλικού στην καρδιά της ασύγχρονης και σύγχρονης εξ αποστάσεως διδασκαλίας. Η σημασία του συγκεκριμένου μέσου είναι ιδιαίτερα εμφανής στη σχολική πραγματικότητα, όπου οι μαθητές/τριες καλούνται να αναπτύξουν σύνθετες δεξιότητες και να κατανοήσουν αφηρημένες έννοιες σε περιβάλλοντα που απαιτούν αυξημένη αυτονομία (Kay & Mann, 2022).

Η πρόκληση αυτή γίνεται ακόμη πιο έντονη στα γνωστικά αντικείμενα των Θετικών Επιστημών, τα οποία βασίζονται παραδοσιακά στην εργαστηριακή πρακτική, την παρατήρηση και την καθοδηγούμενη ανακάλυψη (Lijo et al., 2024). Όπως επισημαίνουν οι σύγχρονες μελέτες για τις προκλήσεις της ηλεκτρονικής μάθησης, η απόσταση δημιουργεί ένα παιδαγωγικό χάσμα που συχνά οδηγεί σε μείωση του ενδιαφέροντος των μαθητών/τριών, αύξηση του ακαδημαϊκού άγχους και εμφάνιση τάσεων αποστασιοποίησης από τη μαθησιακή διαδικασία (Cresswell et al., 2019). Το εκπαιδευτικό βίντεο έρχεται να γεφυρώσει αυτό το χάσμα, προσφέροντας μια δυναμική οπτικοακουστική αναπαράσταση της γνώσης που ενεργοποιεί πολλαπλές αισθήσεις και επιτρέπει τη νοητική σύνδεση ανάμεσα στη θεωρητική γνώση και την καθημερινή πρακτική εφαρμογή (Otchie et al., 2020). Η παρούσα εργασία εξετάζει διεξοδικά τη σημασία, τις δυνατότητες και την παιδαγωγική αξία του βίντεο ως κεντρικού εργαλείου μάθησης στη σύγχρονη εκπαίδευση, αναλύοντας τα θεωρητικά μοντέλα που υποστηρίζουν την αποτελεσματικότητά του και τις στρατηγικές που μετατρέπουν την παθητική παρακολούθηση σε ενεργό γνωστική εμπλοκή.

1.1 Η Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση στις Θετικές Επιστήμες

Η εξ αποστάσεως εκπαίδευση αποτελεί ένα σύγχρονο παιδαγωγικό μοντέλο το οποίο βασίζεται στον φυσικό, τοπικό και συχνά χρονικό διαχωρισμό μεταξύ διδάσκοντος και διδασκόμενου, χρησιμοποιώντας ως γέφυρα τα ψηφιακά και οπτικοακουστικά μέσα επικοινωνίας. Στο πλαίσιο των Θετικών Επιστημών, η προσέγγιση αυτή δεν αποτελεί απλώς μια εναλλακτική μέθοδο παράδοσης, αλλά έναν ριζικό μετασχηματισμό του μαθησιακού περιβάλλοντος. Όπως τεκμηριώνουν οι Agustian και Seery (2017), καθώς και ο Alksne (2016), η εξ αποστάσεως εκπαίδευση απαιτεί την προσεκτική αναδιάρθρωση του εκπαιδευτικού υλικού, ώστε να υποστηρίζεται η αυτόνομη και αυτορρυθμιζόμενη μάθηση. Οι Benedict και Pence (2012), υπογραμμίζουν ότι η ψηφιακή μεταφορά της επιστημονικής γνώσης επιτρέπει στους μαθητές/τριες να αναπτύξουν ανώτερες γνωστικές δεξιότητες, αρκεί το περιεχόμενο να είναι δομημένο με βάση τις ανάγκες του εκπαιδευόμενου.

Η θεωρητική θεμελίωση αυτού του μοντέλου συνδέεται άμεσα με τη σταδιακή μετάβαση από τη δασκαλοκεντρική παράδοση στη μαθητοκεντρική οικοδόμηση της γνώσης, όπου ο/η μαθητής/τρια αναλαμβάνει ενεργό ρόλο στην επεξεργασία των πληροφοριών. Σύμφωνα με το πρωτοποριακό έργο του A. W. Bates (1995), η εξ αποστάσεως εκπαίδευση ορίζεται από την ικανότητά της να προσφέρει ανοικτά περιβάλλοντα μάθησης (open learning), καταρρίπτοντας τους παραδοσιακούς περιορισμούς της φυσικής τάξης. Στο γνωστικό αντικείμενο των Θετικών Επιστημών, η εξ αποστάσεως εκπαίδευση επαναπροσδιορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές/τριες αλληλεπιδρούν με τη θεωρία, καθώς η έλλειψη της ζωντανής εργαστηριακής παρουσίας επιβάλλει τη χρήση προηγμένων ψηφιακών μέσων για την αυθεντική αποτύπωση των φυσικών και χημικών φαινομένων.

Η επιτυχής υλοποίηση της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα κριτήρια επιλογής των τεχνολογικών μέσων που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση του περιεχομένου. Ο Bates (1995) ανέπτυξε ολοκληρωμένα θεωρητικά πλαίσια για την αξιολόγηση των εκπαιδευτικών τεχνολογιών, δίνοντας έμφαση στις παιδαγωγικές δυνατότητες (affordances) που προσφέρει κάθε μέσο. Κατά τον Bates (1995), η επιλογή μεταξύ σύγχρονης και ασύγχρονης παράδοσης, καθώς και η ενσωμάτωση

οπτικοακουστικού υλικού, πρέπει να γίνεται με γνώμονα την προσβασιμότητα, το κόστος, την ευκολία χρήσης και, κυρίως, την υποστήριξη της αλληλεπίδρασης. Όπως συμπληρώνουν οι Berk (2009) και Brame (2016), η σωστή παιδαγωγική πλαισίωση των ψηφιακών μέσων ενισχύει τη συναισθηματική και γνωστική εμπλοκή των εκπαιδευόμενων.

Σύμφωνα με τις αναλύσεις του Bates (1995), το ασύγχρονο μοντέλο προσφέρει τη μέγιστη ευελιξία στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση, καθώς επιτρέπει στους μαθητές/τριες να ρυθμίζουν τον δικό τους ρυθμό μελέτης (self-paced learning). Στη διδασκαλία της Χημείας για παράδειγμα, η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για την ανάλυση πολύπλοκων ποσοτικών δεδομένων και μαθηματικών σχέσεων (όπως οι υπολογισμοί της χημικής κινητικής ή της θερμοδυναμικής), καθώς ο μαθητής έχει τη δυνατότητα να σταματήσει, να αναλύσει και να επαναλάβει το ψηφιακό μάθημα, διασφαλίζοντας τη βαθύτερη εννοιολογική κατάκτηση πριν προχωρήσει σε επόμενες γνωστικές ενότητες (Carmichael et al., 2018)

Όπως καταλαβαίνουμε, η απουσία του φυσικού διδάσκοντος στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση αυξάνει την ανάγκη για σχεδιασμό ψηφιακού υλικού που σέβεται τους περιορισμούς της ανθρώπινης γνωστικής αρχιτεκτονικής. Η Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης του Richard Mayer (2009), η οποία εδράζεται στη Θεωρία Γνωστικού Φορτίου των Chandler και Sweller (1991), αποτελεί τον βασικό οδηγό για τη δημιουργία αποτελεσματικών ασύγχρονων μαθημάτων. Ο Mayer υποστηρίζει ότι η επεξεργασία των πληροφοριών γίνεται μέσω δύο παράλληλων διαύλων (οπτικού και ακουστικού), η χωρητικότητα των οποίων είναι περιορισμένη. Σύμφωνα με το μοντέλο της διπλής κωδικοποίησης, ο συνδυασμός συντονισμένης εικόνας και ήχου διευκολύνει τη συγκράτηση της γνώσης στη μακροπρόθεσμη μνήμη.

Οι Mayer και Moreno (2003), καθώς και οι Fiorella και Mayer (2021), προτείνουν συγκεκριμένες αρχές (όπως η αρχή της συνάφειας, της σηματοδότησης και της κατάτμησης, οι οποίες αναφέρονται παρακάτω, για τη μείωση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου. Στην εξ αποστάσεως διδασκαλία των Θετικών Επιστημών για παράδειγμα, όπου οι μαθητές/τριες καλούνται να κατανοήσουν τον μακρόκοσμο, το υποατομικό επίπεδο και τους συμβολισμούς που τα περιγράφουν, ο σχεδιασμός του υλικού πρέπει να είναι αυστηρός, όπως τονίζουν οι Dori και Hameiri (2003). Η ταυτόχρονη και οπτικά καθαρή παρουσίαση μιας χημικής αντίδρασης μαζί με τη μοριακή της προσομοίωση, χωρίς περιττά διακοσμητικά γραφικά ή μουσική υπόκρουση, επιτρέπει στους μαθητές/τριες να

αφιερώνουν τη νοητική τους προσπάθεια στη δημιουργική επεξεργασία των επιστημονικών εννοιών, όπως επιβεβαιώνεται από το πλαίσιο ICAP (Interactive, Constructive and Passive) των Chi και Wylie (2014) και τις μελέτες των Kuhlmann et al. (2024).

Η επιτυχής ενσωμάτωση της τεχνολογίας στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση δεν εξαρτάται μόνο από τα εργαλεία, αλλά κυρίως από την ανάπτυξη του οπτικοακουστικού γραμματισμού των εκπαιδευτικών, ένα ζήτημα που αναλύεται διεξοδικά από τους Παπαδημητρίου και Σοφός (2022). Στο έργο τους, οι συγγραφείς προτείνουν ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο για τη χρήση των οπτικοακουστικών μέσων στη σχολική εξ αποστάσεως εκπαίδευση, υποστηρίζοντας ότι ο εκπαιδευτικός πρέπει να λειτουργεί ως κριτικός σχεδιαστής ψηφιακών εκπαιδευτικών σεναρίων. Τα σενάρια αυτά πρέπει να είναι ανοικτά και παραμετροποιήσιμα, επιτρέποντας την προσαρμογή του περιεχομένου στις ιδιαίτερες ανάγκες και το γνωστικό υπόβαθρο της κάθε μαθητικής κοινότητας.

Οι Παπαδημητρίου και Σοφός (2022) επισημαίνουν ότι στην εξ αποστάσεως διδασκαλία, η απλή ανάρτηση εκπαιδευτικού υλικού ή βίντεο δεν εγγυάται τη μάθηση, αν δεν συνοδεύεται από δομημένες δραστηριότητες ενεργητικής αποκωδικοποίησης. Οι μαθητές/τριες πρέπει να καθοδηγούνται στην κριτική ανάλυση των ψηφιακών αναπαραστάσεων, αναπτύσσοντας παράλληλα τον οπτικοακουστικό και τον επιστημονικό τους γραμματισμό. Σε περιβάλλοντα διδασκαλίας Θετικών Επιστημών, η εφαρμογή των οδηγιών των Παπαδημητρίου και Σοφού μεταφράζεται στη δημιουργία ψηφιακών περιβαλλόντων όπου οι μαθητές/τριες δεν είναι παθητικοί καταναλωτές πληροφοριών, αλλά συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία παραγωγής και ερμηνείας της επιστημονικής γνώσης, γεγονός που ενισχύει την αποτελεσματικότητά τους.

Πλεονεκτήματα της Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευσης στις Θετικές Επιστήμες

Η εξ αποστάσεως εκπαίδευση στις Θετικές Επιστήμες χαρακτηρίζεται από τη χρήση προηγμένων ψηφιακών πλατφορμών και ασύγχρονων εργαλείων που επιτρέπουν τη συνεχή ροή και διανομή της πληροφορίας. Όπως περιγράφουν οι Cresswell et al. (2019), η ενσωμάτωση διαδραστικών στοιχείων προσφέρει άμεση υποστήριξη κατά τη διάρκεια της μελέτης. Επιπλέον, ο DeVane (2009) και οι Sharmin et al. (2024) αναδεικνύουν τη σημασία της χρήσης προσομοιώσεων για την οπτικοποίηση αφηρημένων εννοιών. Η

ευελιξία του Web 2.0 επιτρέπει την ανάπτυξη μικρομάθησης (microlearning), προσφέροντας σύντομα, στοχευμένα μαθήματα που ανταποκρίνονται στις ανάγκες των σύγχρονων φοιτητών/τριών, όπως επιβεβαιώνεται από τη χρήση ψηφιακών μέσων στην ανώτατη εκπαίδευση.

Ένα επιπλέον βασικό χαρακτηριστικό είναι η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης της μαθησιακής πορείας μέσω της ανάλυσης μαθησιακών δεδομένων (learning analytics). Οι Γιαννάκος et al. αποδεικνύουν ότι τα δεδομένα αλληλεπίδρασης (clickstream data) αποκαλύπτουν τις γνωστικές δυσκολίες των μαθητών/τριών σε πραγματικό χρόνο. (Giannakos et al., 2015; Giannakos et al., 2016). Στη Χημεία για παράδειγμα, η ανάλυση των τάσεων αναπαραγωγής και επανάληψης (rewinds) σε συγκεκριμένα τμήματα του ασύγχρονου μαθήματος επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς να εντοπίσουν παρανοήσεις σχετικά με τους χημικούς δεσμούς ή τη στοιχειομετρία, προσφέροντας την κατάλληλη ανατροφοδότηση (Lijo et al., 2024).

Το κυριότερο πλεονέκτημα της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης είναι η άρση των γεωγραφικών και τοπικών περιορισμών, διασφαλίζοντας την ισότιμη πρόσβαση σε υψηλού επιπέδου εκπαιδευτικό υλικό για μαθητές/τριες που διαμένουν σε απομακρυσμένες, νησιωτικές ή υποβαθμισμένες περιοχές. Όπως τονίζουν οι Cherif et al. (2014), η ψηφιακή πρόσβαση σε επιστημονικά δεδομένα και διαλέξεις κορυφαίων επιστημόνων ενισχύει την εσωτερική παρακίνηση και το ενδιαφέρον των μαθητών/τριών για τις Θετικές Επιστήμες. Οι Duboni και Tabak (2020) συμπληρώνουν ότι οι ανοικτές πλατφόρμες διαμοιρασμού λειτουργούν ως συνεργατικοί χώροι άτυπης μάθησης, καλλιεργώντας την κουλτούρα της διά βίου εκπαίδευσης και της επιστημονικής επικοινωνίας.

Παράλληλα, η δυνατότητα εξατομίκευσης της μάθησης επιτρέπει στους μαθητές/τριες να προσαρμόζουν τη μελέτη στους δικούς τους προσωπικούς ρυθμούς, μειώνοντας το άγχος της σχολικής αίθουσας. Οι Ljubojevic et al. (2014) επισημαίνουν ότι η πολυμεσική υποστήριξη αυξάνει σημαντικά την αποδοτικότητα της μάθησης, ενώ οι Richards-Babb et al. (2014) δείχνουν ότι η ασύγχρονη παρακολούθηση βίντεο επίλυσης προβλημάτων βοηθά στην ανάπτυξη μεταγνωστικών δεξιοτήτων. Σε πλαίσια Θετικών Επιστημών, οι μαθητές/τριες μπορούν να επαναλάβουν την προβολή μιας πολύπλοκης πειραματικής διαδικασίας ή μαθηματικής επίλυσης όσες φορές επιθυμούν, βελτιώνοντας την αυτοπεποίθησή τους και τις επιδόσεις τους στις τελικές αξιολογήσεις.

Προκλήσεις στην Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση των Θετικών Επιστημών

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα, η εξ αποστάσεως εκπαίδευση στις Θετικές Επιστήμες αντιμετωπίζει σοβαρές προκλήσεις, με κυριότερη την απώλεια της χειρωνακτικής και βιωματικής εμπειρίας στο φυσικό εργαστήριο (tactile learning). Η ανάπτυξη, βέβαια, των ψυχοκινητικών δεξιοτήτων που απαιτούνται για τον χειρισμό εργαστηριακών οργάνων ακριβείας (όπως η προχοΐδα ή το σιφώνιο για παράδειγμα) είναι αδύνατον να υποκατασταθεί πλήρως από ψηφιακά μέσα. Η έλλειψη φυσικής πρακτικής μπορεί να δημιουργήσει κενά στην εργαστηριακή ετοιμότητα των μαθητών/τριών, αν το ψηφιακό υλικό δεν είναι επαρκώς σχεδιασμένο.

Επιπλέον, το ψηφιακό χάσμα, η έλλειψη σταθερής σύνδεσης με δίκτυο υψηλής ταχύτητας και τα τεχνικά εμπόδια μπορούν να δημιουργήσουν νέες εκπαιδευτικές αποκλείσεις, όπως αναλύουν οι Saldivar και Flores. (2024). Μια επιπλέον πρόκληση αφορά την επιστημονική εγκυρότητα του περιεχομένου που είναι διαθέσιμο στο Διαδίκτυο, καθώς η έλλειψη κριτικού ελέγχου μπορεί να οδηγήσει στην αναπαραγωγή λανθασμένων επιστημονικών όρων ή παρανοήσεων, γεγονός που επιβάλλει στον εκπαιδευτικό να λειτουργεί ως αυστηρό φίλτρο. Οι Herrington και Sweeder (2025) υπογραμμίζουν την ανάγκη για χρήση τεκμηριωμένων πλαισίων αξιολόγησης της γνωστικής ποιότητας του ψηφιακού περιεχομένου, διασφαλίζοντας ότι η τεχνολογία διευκολύνει και δεν εμποδίζει τη μαθησιακή διαδικασία.

Συμπερασματικά, η εξ αποστάσεως εκπαίδευση αποτελεί ένα πανίσχυρο και αναγκαίο εργαλείο για τη σύγχρονη εκπαιδευτική πραγματικότητα, προσφέροντας μοναδικές ευκαιρίες για την άρση των γεωγραφικών αποκλεισμών και την εξατομίκευση της μάθησης στις Θετικές Επιστήμες. Η επιτυχής ενσωμάτωσή της, ωστόσο, εξαρτάται από την αυστηρή τήρηση των αρχών της πολυμεσικής μάθησης του Mayer (2009) και των θεωρητικών πλαισίων επιλογής μέσων του Bates (1995), ώστε να αποφεύγεται η γνωστική υπερφόρτωση και να μεγιστοποιούνται τα μαθησιακά οφέλη. Είναι σημαντικό η μελλοντική έρευνα να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη μεικτών μοντέλων (blended learning), όπως η Αντεστραμμένη Τάξη των Sams και Bergmann (2012), τα οποία συνδυάζουν την ασύγχρονη θεωρητική μελέτη με τη διά ζώσης εργαστηριακή άσκηση.

Καθώς προχωράμε προς την ψηφιακή εκπαίδευση, η συστηματική επιμόρφωση των εκπαιδευτικών και η ανάπτυξη του οπτικοακουστικού γραμματισμού σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες των Παπαδημητρίου και Σοφού (2022) αποτελούν την απαραίτητη

προϋπόθεση για τη διασφάλιση της ποιότητας. Η ενδυνάμωση των καθηγητών Θετικών Επιστημών στην κριτική επιλογή και σχεδίαση ψηφιακών εκπαιδευτικών σεναρίων εγγυάται ότι οι Θετικές Επιστήμες θα διδάσκονται με τρόπο συμπεριληπτικό, επιστημονικά έγκυρο και ελκυστικό, προετοιμάζοντας κατάλληλα τους μαθητές/τριες για τις απαιτήσεις και τις προκλήσεις της σύγχρονης κοινωνίας της πληροφορίας.

1.2 Σύγχρονη και Ασύγχρονη Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση στις Θετικές Επιστήμες

Η ενσωμάτωση των οπτικοακουστικών και ψηφιακών μέσων στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών αποτελεί ένα από τα πιο κεντρικά μελέτης της σύγχρονης παιδαγωγικής επιστήμης, καθώς ανασχηματίζει ριζικά τη μαθησιακή διαδικασία. Στο πλαίσιο αυτό, η εξ αποστάσεως εκπαίδευση αναπτύσσεται μέσω δύο διακριτών αλλά συμπληρωματικών μοντέλων παράδοσης: τη σύγχρονη και την ασύγχρονη τηλεεκπαίδευση. Όπως τεκμηριώνουν οι Agustian και Seery (2017), η οργάνωση του ψηφιακού περιβάλλοντος επηρεάζει άμεσα τη γνωστική ετοιμότητα των μαθητών/τριών, ενώ ο Alksne (2016) επισημαίνει ότι η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου καθορίζει την πυκνότητα και την ποιότητα της μεταδιδόμενης γνώσης. Οι Benedict και Pence (2012), υπογραμμίζουν ότι οι τεχνολογικά ενισχυμένες αναπαραστάσεις επιτρέπουν στους μαθητές/τριες να συνδέσουν τις θεωρητικές επιστημονικές αφαιρέσεις με δυναμικά νοητικά μοντέλα, ενισχύοντας τον επιστημονικό γραμματισμό.

Η σύγχρονη τηλεεκπαίδευση βασίζεται στην ταυτόχρονη αλληλεπίδραση διδάσκοντος και διδασκόμενων σε πραγματικό χρόνο, αναπαράγοντας την κοινωνική δυναμική της παραδοσιακής τάξης μέσα από περιβάλλοντα τηλεδιάσκεψης. Αντίθετα, η ασύγχρονη τηλεεκπαίδευση απελευθερώνει τη μαθησιακή διαδικασία από τους χρονικούς περιορισμούς, προσφέροντας στον εκπαιδευόμενο πλήρη έλεγχο της ροής και του ρυθμού μελέτης μέσω Συστημάτων Διαχείρισης Μάθησης (LMS) ή ανοικτών πλατφορμών. Στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών, η διαφοροποίηση αυτή είναι κρίσιμη, καθώς η κατανόηση των πολύπλοκων εννοιών απαιτεί τη συνεχή νοητική μετάβαση μεταξύ διαφορετικών επιπέδων αναπαράστασης, γεγονός που καθιστά τη διαχείριση του χρόνου και της αλληλεπίδρασης καθοριστικό παράγοντα για την αποφυγή παρανοήσεων.

Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Σύγχρονης Τηλεκπαίδευσης

Η σύγχρονη τηλεκπαίδευση προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, με κυριότερο την άμεση κοινωνική αλληλεπίδραση και την καλλιέργεια του αισθήματος της μαθησιακής κοινότητας. Η δυνατότητα για άμεση ανατροφοδότηση (instant feedback) επιτρέπει στον εκπαιδευτικό να διορθώνει παρανοήσεις τη στιγμή που εμφανίζονται, κάτι που είναι εξαιρετικά κρίσιμο, όπως για παράδειγμα κατά την ανάλυση χημικών μηχανισμών ή την ισοστάθμιση οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων στη διδασκαλία της Χημείας. Όπως υπογραμμίζουν οι Carmichael, Reid και Karpicke (2018), η ζωντανή επικοινωνία ενισχύει τη γνωστική παρουσία των μαθητών/τριών, ενώ η ενσωμάτωση εργαλείων όπως οι δημοσκοπήσεις και ο ψηφιακός πίνακας επιτρέπει την εφαρμογή ενεργητικών μεθοδολογιών, όπως το μοντέλο Πρόβλεψη-Παρατήρηση-Εξήγηση (Prediction, Observation, Explanation - POE).

Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Ασύγχρονης Τηλεκπαίδευσης

Η ασύγχρονη εξ αποστάσεως εκπαίδευση χαρακτηρίζεται από μέγιστη ευελιξία, καθώς καταργεί τους τοπικούς και χρονικούς περιορισμούς, επιτρέποντας την άρση των γεωγραφικών αποκλεισμών για μαθητές/τριες απομακρυσμένων περιοχών, γεγονός που υποστηρίζεται από τους Cherif et al. (2014). Ο μαθητής έχει τη δυνατότητα να μελετήσει το υλικό στον δικό του ρυθμό, γεγονός που ενισχύει την αυτορρύθμιση και την αυτονομία. Στις Θετικές Επιστήμες τα ασύγχρονα βίντεο προετοιμασίας εργαστηρίου (pre-laboratory videos), όπως αναλύουν οι Chaytor et al. (2017) και οι Richards-Babb et al. (2014), μειώνουν σημαντικά το εργαστηριακό άγχος και προετοιμάζουν τους μαθητές/τριες για τη σωστή χρήση των οργάνων, αυξάνοντας την αποδοτικότητα της μάθησης, όπως επιβεβαιώνουν οι Ljubojevic et al. (2014).

Στον αντίποδα, η ασύγχρονη εκπαίδευση ενέχει τον κίνδυνο της απομόνωσης και της έλλειψης εσωτερικής παρακίνησης, καθώς απαιτεί υψηλά επίπεδα αυτοπειθαρχίας από την πλευρά του μαθητή. Η απουσία άμεσης επικοινωνίας μπορεί να οδηγήσει στην παγίωση παρανοήσεων, εάν ο εκπαιδευόμενος παρερμηνεύσει ένα χημικό σύμβολο ή μια γραφική παράσταση ποσοτικών δεδομένων. Επιπλέον, όπως αναφέρουν οι Duboni και Tabak (2020), η ποιότητα του διαθέσιμου υλικού στο διαδίκτυο ποικίλλει, και η έλλειψη κριτικής αξιολόγησης μπορεί να εκθέσει τους μαθητές/τριες σε επιστημονικά σφάλματα,

καθιστώντας απαραίτητη την εφαρμογή αυστηρών πλαισίων αξιολόγησης, όπως αυτό των Herrington και Sweeder (2025).

Ωστόσο, η σύγχρονη προσέγγιση παρουσιάζει σοβαρούς περιορισμούς, με κυριότερους τις τεχνικές απαιτήσεις και την έλλειψη χρονικής ευελιξίας. Προκλήσεις που σχετίζονται με την ποιότητα της σύνδεσης στο διαδίκτυο και τον τεχνικό εξοπλισμό μπορούν να δημιουργήσουν αποκλείσεις, όπως αναλύουν οι Saldivar και Flores (2024). Επιπλέον, όπως επισημαίνουν οι Giannakos et al. (2015), η παθητική παρακολούθηση μιας ζωντανής διάλεξης συχνά οδηγεί σε διάσπαση της προσοχής και μειωμένη εμπλοκή, εάν οι μαθητές/τριες δεν υποχρεούνται να αλληλεπιδράσουν ενεργά με το περιεχόμενο, καθιστώντας το μοντέλο αυτό κουραστικό για παρατεταμένη χρήση.

Σύνθεση των Δύο Μοντέλων Τηλεκπαίδευσης

Η σύγχρονη βιβλιογραφία συγκλίνει στην άποψη ότι η ιδανική εκπαιδευτική προσέγγιση δεν συνίσταται στην αποκλειστική χρήση ενός εκ των δύο μοντέλων, αλλά στη δημιουργική και παιδαγωγικά τεκμηριωμένη σύνθεσή τους μέσα από μοντέλα μικτής μάθησης (blended learning), με κυριότερο εκπρόσωπο την Αντεστραμμένη Τάξη (Flipped Classroom). Όπως τεκμηριώνει ο Seery (2015) και οι Kay και Mann (2022), η μεταφορά της θεωρητικής παράδοσης στην ασύγχρονη φάση στο σπίτι επιτρέπει στους μαθητές/τριες να αποκτήσουν το απαραίτητο γνωστικό υπόβαθρο, απελευθερώνοντας τον πολύτιμο χρόνο της σύγχρονης τηλεδιάσκεψης για δραστηριότητες ανώτερου γνωστικού επιπέδου, όπως η συνεργατική επίλυση προβλημάτων και η κριτική συζήτηση.

Η σύνθεση αυτή υποστηρίζεται αποτελεσματικά από την ανάλυση των μαθησιακών δεδομένων (learning analytics). Οι Giannakos et al. (2015) αποδεικνύουν ότι η μελέτη των δεδομένων αλληλεπίδρασης (clickstream data) κατά την ασύγχρονη φάση επιτρέπει στον εκπαιδευτικό να εντοπίσει τις συγκεκριμένες εννοιολογικές δυσκολίες των μαθητών/τριών πριν από τη ζωντανή συνάντηση. Αν παρατηρηθεί ότι οι μαθητές/τριες έκαναν συχνές επαναλήψεις (rewinds) στο τμήμα του ασύγχρονου βίντεο που αναλύει την εύρεση του περιοριστικού αντιδραστηρίου, ο εκπαιδευτικός μπορεί να προσαρμόσει τη σύγχρονη τηλεδιάσκεψη εστιάζοντας αποκλειστικά σε αυτό το φαινόμενο. Αυτή η δυναμική αλληλουχία μετατρέπει την εξ αποστάσεως εκπαίδευση σε ένα απόλυτα προσαρμοστικό και μαθητοκεντρικό σύστημα διδασκαλίας.

1.3 Η Πολυμεσική Μάθηση του Mayer

Η ραγδαία ενσωμάτωση των ψηφιακών μέσων στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση έχει αναδείξει την αναγκαιότητα για επιστημονικά τεκμηριωμένο σχεδιασμό του εκπαιδευτικού υλικού, ιδιαίτερα στις Θετικές Επιστήμες, όπου κυριαρχούν αφηρημένες και περίπλοκες έννοιες. Στο πλαίσιο αυτό, τα ψηφιακά περιβάλλοντα και το οπτικοακουστικό υλικό αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο δυναμικής οπτικοποίησης. Ωστόσο, η απλή παρουσίαση πληροφοριών μέσω πολυμέσων δεν εγγυάται τη μάθηση. Η Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης (Cognitive Theory of Multimedia Learning - CTML) του Richard E. Mayer παρέχει το θεμελιώδες πλαίσιο για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι μαθητές/τριες επεξεργάζονται τις πολυμεσικές πληροφορίες (Mayer, 2009).

Η θεωρία του Mayer εδράζεται σε τρεις βασικές παραδοχές της γνωστικής επιστήμης, οι οποίες αντλούν στοιχεία από τη Θεωρία του Γνωστικού Φορτίου (Cognitive Load Theory) (Lijo et al., 2024). Πρώτον, ο ανθρώπινος νους διαθέτει δύο ξεχωριστά κανάλια επεξεργασίας πληροφοριών: το οπτικό/εικονικό και το ακουστικό/λεκτικό. Δεύτερον, κάθε κανάλι έχει αυστηρά περιορισμένη χωρητικότητα, γεγονός που σημαίνει ότι ο/η εκπαιδευόμενος/η μπορεί να επεξεργαστεί μόνο ένα περιορισμένο κλάσμα πληροφοριών ανά πάσα στιγμή. Τρίτον, η ουσιαστική μάθηση απαιτεί ενεργητική γνωστική επεξεργασία, η οποία περιλαμβάνει την επιλογή των σχετικών λέξεων και εικόνων, την οργάνωσή τους σε συνεκτικά νοητικά μοντέλα και την ενσωμάτωσή τους στην προϋπάρχουσα γνώση (Moreno & Mayer, 2000; Kuhlmann et al., 2024).

Στην εκπαίδευση, και ειδικά στις Θετικές Επιστήμες, ο σχεδιασμός εκπαιδευτικών βίντεο συχνά υπερβαίνει τις γνωστικές ικανότητες των μαθητών/τριών εάν δεν ακολουθεί τις αρχές της πολυμεσικής μάθησης. Η χρήση οπτικών βοηθημάτων για την αναπαράσταση μοριακών δομών ή χημικών αντιδράσεων για παράδειγμα πρέπει να συνοδεύεται από την κατάλληλη αφήγηση, αποφεύγοντας τον πλεονασμό (π.χ., ταυτόχρονη ανάγνωση εκτενούς κειμένου στην οθόνη), προκειμένου να μειωθεί το εξωγενές γνωστικό φορτίο (Herrington & Sweeder, 2025). Η αξιολόγηση υφιστάμενων εκπαιδευτικών βίντεο αναδεικνύει ότι η διαχείριση αυτού του φορτίου, μέσω στρατηγικών όπως η σηματοδότηση (signaling) και η

τμηματοποίηση (segmenting), είναι καθοριστική για τη διατήρηση της προσοχής και την επίτευξη βαθιάς κατανόησης.

Παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η θεωρία του Mayer, υφίστανται και περιορισμοί που πρέπει να προσεγγιστούν κριτικά. Ένα βασικό αντεπιχείρημα στην αποκλειστική στήριξη στον πολυμεσικό σχεδιασμό είναι ότι η μορφοποίηση από μόνη της δεν αποτρέπει την παθητική παρακολούθηση. Όπως επισημαίνουν οι Kuhlmann et al. (2024), η παρακολούθηση βίντεο συχνά οδηγεί σε χαμηλή γνωστική εμπλοκή, ειδικά όταν απουσιάζουν στοιχεία ενεργητικής μάθησης (active learning) που προάγουν τον αναστοχασμό. Επιπλέον, πολυμεσικές αναπαραστάσεις που θεωρούνται θεωρητικά «ιδανικές», ενδέχεται να μην ευθυγραμμίζονται πάντοτε με τις διαφορετικές προϋπάρχουσες γνωστικές δομές του εκάστοτε μαθητικού πληθυσμού.

Η θεωρία του Mayer συνιστά τον ακρογωνιαίο λίθο για τη συγγραφή, τον σχεδιασμό και την ποιοτική αξιολόγηση υφιστάμενων εκπαιδευτικών βίντεο. Η ενσωμάτωση δυναμικής οπτικοποίησης και δομημένης αφήγησης, σύμφωνα με τις αρχές της CTML, μπορεί να βελτιστοποιήσει την εξ αποστάσεως διδασκαλία των Θετικών Επιστημών. Στο πλαίσιο μιας ποιοτικής μελέτης περίπτωσης, η κριτική ανάλυση του εκπαιδευτικού υλικού μέσα από το πρίσμα της CTML αποτελεί αναγκαίο βήμα για την ανάδειξη βέλτιστων πρακτικών, τη γεφύρωση του κενού μεταξύ θεωρίας και πράξης, και την αποφυγή της γνωστικής υπερφόρτωσης των εκπαιδευόμενων.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχές της Συνάφειας, της Σήμανσης, του Πλεονασμού, της Χωρικής Συνάφειας, της Χρονικής Συνάφειας, της Κατάτμησης, της Προεκπαίδευσης, της Τροπικότητας, της Πολυμεσικότητας, της Προσωποποίησης, της Φωνής και της Εικόνας κατά Mayer στο πλαίσιο της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης.

1.3.1 Η Αρχή της Συνάφειας

Ένας από τους θεμελιώδεις πυλώνες της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης είναι η Αρχή της Συνάφειας (Coherence Principle). Σύμφωνα με αυτήν, η μάθηση βελτιστοποιείται όταν άσχετες λέξεις, εικόνες, γραφικά και ήχοι αποκλείονται από το εκπαιδευτικό υλικό, παρά όταν συμπεριλαμβάνονται (Mayer, 2009). Δεδομένου ότι τα

κανάλια επεξεργασίας πληροφοριών του ανθρώπινου νου έχουν αυστηρά περιορισμένη χωρητικότητα, η προσθήκη εντυπωσιακών αλλά μη αναγκαίων στοιχείων (seductive details) υπερφορτώνει τη «μνήμη εργασίας» (Bates, 2015). Συνεπώς, η βασική κατευθυντήρια γραμμή για την ανάπτυξη πολυμεσικού υλικού είναι η διατήρηση της απλότητας και η αφαίρεση οποιουδήποτε στοιχείου δεν εξυπηρετεί άμεσα τον μαθησιακό στόχο.

Στο πεδίο των Θετικών Επιστημών η εφαρμογή της αρχής της συνάφειας αποκτά κρίσιμη σημασία. Πολλοί δημιουργοί εκπαιδευτικών βίντεο στο YouTube, στην προσπάθειά τους να αυξήσουν την αφοσίωση των θεατών, ενσωματώνουν οπτικά εφέ, αστεία στιγμιότυπα ή μουσική υπόκρουση. Εντούτοις, η μουσική υπόκρουση στα εκπαιδευτικά βίντεο συνιστά ένα κατεξοχήν εξωγενές γνωστικό φορτίο που ανταγωνίζεται τις ουσιώδεις πληροφορίες για τους περιορισμένους γνωστικούς πόρους του εκπαιδευόμενου, οδηγώντας συχνά σε μειωμένη συγκράτηση της πληροφορίας (retention) και κατανόηση. Όπως υπογραμμίζουν οι Herrington και Sweeder (2025), κατά την αξιολόγηση βίντεο για την κατανόηση εννοιών της χημείας (π.χ. Αρχή του Le Chatelier), η απουσία περιττών στοιχείων είναι καθοριστική προκειμένου η προσοχή των μαθητών/τριών να παραμείνει εστιασμένη στους μηχανισμούς και στις επιστημονικές πρακτικές.

Μελετώντας το υφιστάμενο οπτικοακουστικό υλικό μέσα από μια ποιοτική μελέτη περίπτωσης, καθίσταται σαφές ότι τα έτοιμα βίντεο πλατφορμών όπως το YouTube συχνά παραβιάζουν την αρχή της συνάφειας (Lijo et al., 2024). Βίντεο τα οποία έχουν πρωτίστως χαρακτήρα εκλαΐκευσης (dissemination) τείνουν να θυσιάζουν την παιδαγωγική καθαρότητα στον βωμό της ψυχαγωγίας, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει σύγχυση στους εκπαιδευόμενους (Lijo et al., 2024). Η αξιολόγηση αυτών των υφιστάμενων πηγών πρέπει να γίνεται με αυστηρά κριτήρια, εξετάζοντας κατά πόσο τα οπτικά και ακουστικά ερεθίσματα υποστηρίζουν το νοητικό μοντέλο της εκάστοτε φυσικοχημικής διεργασίας ή απλώς αποσπούν την προσοχή.

Ωστόσο, η αυστηρή και απόλυτη εφαρμογή της αρχής της συνάφειας απαιτεί κριτική προσέγγιση. Μια πλήρως «αποστειρωμένη» παρουσίαση, αν και γνωστικά ασφαλής, ελλοχεύει τον κίνδυνο να χαρακτηριστεί μονότονη, πλήττοντας τα εσωτερικά κίνητρα του μαθητή, ιδίως στην εξ αποστάσεως ασύγχρονη εκπαίδευση. Η πρόκληση στον σχεδιασμό δεν είναι η εξάλειψη κάθε αισθητικού στοιχείου, αλλά η οργανική ενσωμάτωσή του. Τα στοιχεία ενεργητικής μάθησης και η δυναμική οπτικοποίηση, ακόμη και αν αυξάνουν

ελαφρώς το φορτίο, μπορούν να προωθήσουν την ουσιαστική γνωστική εμπλοκή (cognitive engagement), αρκεί να κατευθύνουν την προσοχή στα κρίσιμα σημεία του περιεχομένου (Kuhlmann et al., 2024).

1.3.2 Η Αρχή της Σήμανσης

Η Αρχή της Σήμανσης (Signaling ή Cueing Principle) αποτελεί έναν από τους κεντρικούς πυλώνες της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης για τη διαχείριση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου. Σύμφωνα με τον Mayer (2009), οι άνθρωποι μαθαίνουν πιο αποτελεσματικά όταν προστίθενται στο εκπαιδευτικό υλικό κατάλληλες ενδείξεις ή σήματα που αναδεικνύουν τη δομή και τα βασικά σημεία των πληροφοριών, παρά όταν αυτές παρουσιάζονται χωρίς καμία απολύτως μορφοποίηση. Η θεωρητική βάση της αρχής εδράζεται στην ανάγκη προστασίας της περιορισμένης μνήμης εργασίας από τον κατακερματισμό της προσοχής (split-attention effect). Τα σήματα αυτά λειτουργούν ως γνωστικοί οδοδείκτες, οι οποίοι καθοδηγούν το οπτικό ή ακουστικό σύστημα του εκπαιδευόμενου, επιτρέποντάς του να επιλέξει και να οργανώσει τις σχετικές πληροφορίες ταχύτερα και με λιγότερη γνωστική προσπάθεια (Bates, 2015; Brame, 2016; Ibrahim et al., 2012).

Στο πλαίσιο των Θετικών Επιστημών και ειδικότερα, εδώ, της Χημείας, η εφαρμογή της αρχής της σήμανσης είναι θεμελιώδης, καθώς οι μαθητές/τριες έρχονται αντιμέτωποι με πολλαπλές και ταυτόχρονες αναπαραστάσεις που περιλαμβάνουν μακροσκοπικά φαινόμενα, υποατομικά σωματίδια, μοριακές δομές και συμβολικές χημικές εξισώσεις (Johnstone's Triangle). Η χρήση οπτικών σημάτων, όπως βέλη, χρωματικές αντιθέσεις, στοιχεία που αναβοσβήνουν ή μεγεθύνσεις, επιτρέπει στους μαθητές/τριες να συνδέσουν άμεσα τη λεκτική αφήγηση με το ακριβές σημείο μιας χημικής αντίδρασης ή ενός πειράματος (Herrington & Sweeder, 2025; Herrington & Sweeder, 2025). Επιπλέον, η ενσωμάτωση προφορικών σημάτων (verbal signaling), όπως η χρήση μεταβατικών λέξεων («πρώτον», «κατά συνέπεια») ή η τονική έμφαση σε συγκεκριμένους όρους από τον διδάσκοντα, βοηθά στη δόμηση του νοητικού μοντέλου της διεργασίας, αποτρέποντας τη γνωστική υπερφόρτωση (Kuhlmann et al., 2024)

Κατά την υλοποίηση μιας ποιοτικής μελέτης περίπτωσης που εστιάζει στην αξιολόγηση υφιστάμενου οπτικοακουστικού υλικού από πλατφόρμες όπως το YouTube, η αρχή της σήμανσης αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα ποιοτικά κριτήρια. Πολλά δημοφιλή βίντεο επιστημονικής εκλαΐκευσης (dissemination videos) συχνά αποτυγχάνουν να ενσωματώσουν συστηματική σήμανση, καθώς δίνουν προτεραιότητα στην αισθητική ροή και όχι στην παιδαγωγική καθοδήγηση, με αποτέλεσμα οι μαθητές/τριες να αναλώνουν γνωστικούς πόρους σε άσχετα οπτικά ερεθίσματα (Lijo et al., 2024; Smith, 2014). Αντίθετα, η ύπαρξη σαφούς σήμανσης σε εκπαιδευτικά βίντεο συνδέεται άμεσα με τη διατήρηση της προσοχής των μαθητών/τριών για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και τη μείωση των ποσοστών εγκατάλειψης της θέασης, όπως καταγράφεται στην ανάλυση δεδομένων βίντεο των σύγχρονων ψηφιακών περιβαλλόντων μάθησης (Mohamed Taher & Öncü, 2026); Giannakos et al., 2015; Shoufan & Mohamed, 2022). Η σωστή σήμανση ουσιαστικά υποκαθιστά τη φυσική παρουσία και τη χειρονομία του εκπαιδευτικού στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση (Παπαδημητρίου & Σοφός, 2020).

Παρά τη δεδομένη αξία της, η εφαρμογή της αρχής της σήμανσης πρέπει να προσεγγίζεται με κριτική διάθεση, καθώς η αλόγιστη χρήση της μπορεί να επιφέρει τα αντίθετα αποτελέσματα. Το φαινόμενο της «υπερσήμανσης» (over-signaling) εμφανίζεται όταν ο σχεδιαστής εισάγει υπερβολικά πολλά οπτικά ή ακουστικά ερεθίσματα, μετατρέποντας τα σήματα από εργαλεία καθοδήγησης σε πηγές εξωγενούς θορύβου και σύγχυσης (Fernández et al., 2023). Επιπλέον, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το φαινόμενο της αναστροφής της εμπειρογνωμοσύνης (expertise reversal effect). Όπως επισημαίνουν οι Gallardo-Williams et al. (2021), μαθητές/τριες με υψηλό επίπεδο προϋπάρχουσας γνώσης στο αντικείμενο ενδέχεται να βρουν τη διαρκή σήμανση περιττή ή ακόμη και ενοχλητική, καθώς παρεμποδίζει τις δικές τους αυτοματοποιημένες στρατηγικές επεξεργασίας. Συνεπώς, η ποιοτική επιλογή και ο σχεδιασμός του υλικού πρέπει να εξισορροπούν τη δυναμική οπτικοποίηση με τις γνωστικές ανάγκες του συγκεκριμένου μαθητικού κοινού, αποφεύγοντας τις απόλυτες προσεγγίσεις.

1.3.3 Η Αρχή του Πλεονασμού

Μία από τις πλέον τεκμηριωμένες αρχές της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης (CTML) για τη διαχείριση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου είναι η Αρχή του

Πλεονασμού (Redundancy Principle). Σύμφωνα με τον Mayer (2009), οι μαθητές/τριες συγκρατούν και κατανοούν τις πληροφορίες πολύ πιο βαθιά όταν αυτές παρουσιάζονται μέσω οπτικών γραφικών και ακουστικής αφήγησης, παρά όταν στο ίδιο περιβάλλον συνυπάρχουν ταυτόχρονα γραφικά, αφήγηση και γραπτό κείμενο στην οθόνη που επαναλαμβάνει αυτολεξεί τα λεγόμενα. Όταν το γραπτό κείμενο και η προφορική αφήγηση παρουσιάζονται ταυτόχρονα, το οπτικό κανάλι επεξεργασίας υπερφορτώνεται, καθώς ο εκπαιδευόμενος αναγκάζεται να μοιράσει την προσοχή του (split-attention effect) ανάμεσα στην ανάγνωση του κειμένου και την παρατήρηση των οπτικών αναπαραστάσεων (Clark & Mayer, 2016; Bates, 2015).

Στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών, η αρχή του πλεονασμού αποκτά θεμελιώδη σημασία λόγω της εγγενούς πολυπλοκότητας του γνωστικού αντικειμένου, το οποίο απαιτεί τη συνεχή μετάβαση μεταξύ μακροσκοπικών, υποατομικών και συμβολικών αναπαραστάσεων (Herrington & Sweeder, 2025). Όταν ένα εκπαιδευτικό βίντεο παρουσιάζει μια δυναμική οπτικοποίηση όπως για παράδειγμα τη μεταβολή μιας χημικής ισορροπίας ή έναν μηχανισμό οργανικής αντίδρασης, η ταυτόχρονη εμφάνιση εκτενών υποτίτλων ή επεξηγηματικών παραγράφων στην οθόνη παρεμποδίζει τη μάθηση (Herrington & Sweeder, 2025). Οι μαθητές/τριες, στην προσπάθειά τους να διαβάσουν το κείμενο, χάνουν τα κρίσιμα οπτικά συμβάντα της χημικής διεργασίας. Όπως επισημαίνουν οι Brame (2016) και Beheshti et al. (2018), η αποτελεσματική σχεδίαση επιβάλλει τη χρήση σύντομων οπτικών ετικετών (labels) ή σχολίων μόνο για τη σήμανση εννοιών, αφήνοντας την επεξήγηση αποκλειστικά στο ακουστικό κανάλι. Αυτό επιβεβαιώνεται και από έρευνες σε εργαστηριακά περιβάλλοντα χημείας, όπου η απουσία πλεονάζοντος κειμένου στα προπαρασκευαστικά βίντεο βελτιώνει την αυτονομία και την απόδοση των φοιτητών (Agustian & Seery, 2017; Cresswell et al., 2019).

Στο πλαίσιο μιας ποιοτικής μελέτης περίπτωσης που επικεντρώνεται στην κριτική αξιολόγηση υφιστάμενου ψηφιακού υλικού από ανοικτές πλατφόρμες, η αρχή του πλεονασμού αποτελεί κεντρικό δείκτη παιδαγωγικής καταλληλότητας. Πολλά βίντεο που δημιουργούνται από εκπαιδευτικούς ή είναι διαθέσιμα σε κανάλια επιστημονικής εκλαΐκευσης, όπως το YouTube και το TikTok τείνουν να παραβιάζουν συστηματικά την αρχή αυτή, ενσωματώνοντας ολόκληρα αποσπάσματα κειμένου πάνω στην οθόνη μαζί με την ομιλία του παρουσιαστή (Lijo et al., 2024; Conde-Caballero et al., 2024). Αυτή η πρακτική όχι μόνο δεν υποστηρίζει τη μάθηση, αλλά αυξάνει το εξωγενές γνωστικό φορτίο και μειώνει τη γνωστική εμπλοκή, οδηγώντας σε γρήγορη κόπωση και εγκατάλειψη του

βίντεο, όπως μαρτυρούν οι αναλύσεις μαθησιακών δεδομένων βίντεο των ψηφιακών πλατφορμών (Mohamed Taher & Öncü, 2026; Shoufan & Mohamed, 2022). Η σωστή ενορχήστρωση εικόνας και ήχου, χωρίς πλεονάζουσες γραπτές επαναλήψεις, είναι αυτή που εξασφαλίζει τη διατήρηση της προσοχής στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση (Παπαδημητρίου & Σοφός, 2020).

Παρά τα σαφή πλεονεκτήματα της αποφυγής του πλεονασμού, η εφαρμογή της αρχής δεν πρέπει να γίνεται δογματικά, καθώς υφίστανται συγκεκριμένες και κρίσιμες εξαιρέσεις. Η ταυτόχρονη παρουσίαση κειμένου και αφήγησης κρίνεται απαραίτητη όταν το εκπαιδευτικό υλικό απευθύνεται σε μαθητές/τριες με περιορισμένη γλωσσική επάρκεια ή όταν εισάγεται εξειδικευμένη και άγνωστη ορολογία, όπου η γραπτή αναπαράσταση λειτουργεί ως «σκαλωσιά υποστήριξης» (*scaffolding*) (Vygotsky, 1978; Kay & Mann, 2022). Επιπλέον, σε ιδιαίτερα αφηρημένα μαθηματικά ή επιστημονικά σενάρια όπως για παράδειγμα η ανάλυση τυχαίων μεταβλητών ή η επίλυση εξισώσεων, η στατική εμφάνιση των μαθηματικών συμβόλων και των βημάτων της επίλυσης στην οθόνη είναι αναγκαία για την καθοδήγηση της ενεργού γνωστικής επεξεργασίας, ακόμη και αν ο εκπαιδευτικός τα περιγράφει προφορικά (Kuhlmann et al., 2024; Otchie et al., 2020). Συνεπώς, κατά την ποιοτική επιλογή και ανάλυση του υλικού, ο ερευνητής οφείλει να εξετάζει τον βαθμό πλεονασμού σε συνάρτηση με το προφίλ των εκπαιδευόμενων και τη φύση των διδασκόμενων εννοιών, αναγνωρίζοντας ότι η υπερβολική απλούστευση μπορεί μερικές φορές να περιορίσει τη γνωστική ανάπτυξη (Gallardo-Williams et al., 2021; Fernández et al., 2023).

1.3.4 Η Αρχή της Χωρικής Συνάφειας

Η Αρχή της Χωρικής Συνάφειας (Spatial Contiguity Principle) αποτελεί ένα από τα κεντρικότερα αξιώματα της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης για τον περιορισμό του εξωγενούς γνωστικού φορτίου. Σύμφωνα με τον Mayer (2009), οι μαθητές/τριες επιτυγχάνουν βαθύτερη κατανόηση όταν οι αντίστοιχες λέξεις και εικόνες παρουσιάζονται σε κοντινή χωρική απόσταση μεταξύ τους στην οθόνη, παρά όταν βρίσκονται απομακρυσμένες. Η ψυχολογική αιτιολόγηση αυτής της αρχής εδράζεται στην αποφυγή του φαινομένου της διάσπασης της προσοχής (*split-attention effect*). Όταν ένα επεξηγηματικό κείμενο είναι αποκομμένο από το οπτικό διάγραμμα (π.χ. στο κάτω μέρος

της σελίδας ή σε ξεχωριστή στήλη), ο εκπαιδευόμενος αναγκάζεται να αναλώσει πολύτιμους γνωστικούς πόρους για τη νοητική τους ευθυγράμμιση (Bates, 2015) (Brame, 2016). Αντίθετα, η ενσωμάτωση των λεκτικών πληροφοριών απευθείας μέσα στο οπτικό ερέθισμα επιτρέπει στη μνήμη εργασίας να εστιάσει αποκλειστικά στην ουσιώδη γνωστική επεξεργασία και στη δόμηση συνεκτικών αναπαραστάσεων (Beheshti et al., 2018; Clark & Mayer, 2016).

Στο πεδίο της εκπαίδευσης Θετικών Επιστημών, η χωρική συνάφεια είναι αναγκαία, καθώς το περιεχόμενο χαρακτηρίζεται από υψηλή πυκνότητα αφηρημένων εννοιών και δυναμικών φαινομένων. Κατά την παρουσίαση μοριακών δομών, μηχανισμών αντιδράσεων ή εργαστηριακών διατάξεων, η χωρική εγγύτητα των χημικών συμβόλων με τα αντίστοιχα τμήματα της οπτικής αναπαράστασης καθοδηγεί το βλέμμα του μαθητή με ακρίβεια (Herrington & Sweeder, 2025; Herrington & Sweeder, 2025). Για παράδειγμα, σε βίντεο προετοιμασίας για εργαστηριακές τεχνικές, οι οδηγίες ασφάλειας ή τα ονόματα των αντιδραστηρίων πρέπει να εμφανίζονται ως άμεσες οπτικές ετικέτες (labels) δίπλα στα όργανα και όχι σε απομακρυσμένους πίνακες, βελτιώνοντας έτσι την ετοιμότητα και την αυτοπεποίθηση των εκπαιδευόμενων (Agustian & Seery, 2017; Cresswell et al., 2019). Η μη τήρηση αυτής της αρχής αναγκάζει τους μαθητές/τριες να πραγματοποιούν συνεχείς, άσκοπες οφθαλμικές κινήσεις, εμποδίζοντας την ταυτόχρονη επεξεργασία εικόνας και εννοιολογικού περιεχομένου.

Στο πλαίσιο μιας ποιοτικής μελέτης περίπτωσης που διερευνά την καταλληλότητα υφιστάμενου οπτικοακουστικού υλικού από ανοικτές ψηφιακές πλατφόρμες, η αρχή της χωρικής συνάφειας χρησιμεύει ως θεμελιώδες κριτήριο ποιοτικής αξιολόγησης. Πολλά εκπαιδευτικά κανάλια στο YouTube ή σύντομα βίντεο στο TikTok (microlearning) παραβιάζουν συστηματικά τη χωρική συνάφεια λόγω ερασιτεχνικού μοντάζ ή χρήσης έτοιμων προτύπων (templates), τοποθετώντας τους επεξηγηματικούς τίτλους σε σημεία που εξυπηρετούν μόνο την αισθητική και όχι την παιδαγωγική ροή (Lijo et al., 2024) (Conde-Caballero et al., 2024). Η βιβλιογραφία αναδεικνύει ότι τέτοιου είδους σχεδιαστικά σφάλματα υποβαθμίζουν τη γνωστική εμπλοκή, αυξάνοντας τα ποσοστά πρόωρης εγκατάλειψης του βίντεο, όπως τεκμηριώνεται από τα video analytics των συστημάτων διαχείρισης μάθησης (Mohamed Taher & Öncü, 2026; Shoufan & Mohamed, 2022). Αντίθετα, η ορθή ενορχήστρωση του χώρου της οθόνης ενισχύει τη συγκράτηση της πληροφορίας και υποστηρίζει την ασύγχρονη εξ αποστάσεως διδασκαλία, υποκαθιστώντας

αποτελεσματικά τη φυσική καθοδήγηση του εκπαιδευτικού (Παπαδημητρίου & Σοφός, 2020).

Παρά τη δεδομένη αξία της χωρικής συνάφειας, η κριτική της προσέγγιση αποκαλύπτει συγκεκριμένες προκλήσεις και περιορισμούς που δεν πρέπει να αγνοούνται. Η προσπάθεια να τοποθετηθούν όλα τα κείμενα κοντά στις εικόνες μπορεί να οδηγήσει στο φαινόμενο του οπτικού συνωστισμού (visual clutter), το οποίο επιφέρει τα αντίθετα αποτελέσματα, αποσπώντας την προσοχή του μαθητή από τα κρίσιμα σημεία της δυναμικής οπτικοποίησης (Kuhlmann et al., 2024). Επιπλέον, κατά την αξιολόγηση υλικού πρέπει να συνυπολογίζεται το επίπεδο προϋπάρχουσας γνώσης των εκπαιδευόμενων. Όπως υπογραμμίζουν οι Gallardo-Williams et al. (2021) και οι Fernández et al. (2023), οι πιο έμπειροι μαθητές/τριες επηρεάζονται λιγότερο από τις χωρικές αποκλίσεις, καθώς διαθέτουν ήδη αυτοματοποιημένα νοητικά σχήματα για να συνδέσουν τις πληροφορίες, καθιστώντας τη συνεχή και υπερβολική χωρική καθοδήγηση περιττή ή και ενοχλητική (expertise reversal effect). Συνεπώς, η εφαρμογή της αρχής απαιτεί ευελιξία και δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται δογματικά, αλλά πάντοτε σε συνάρτηση με τη φύση των επιστημονικών εννοιών και το γνωστικό προφίλ του κοινού (Kay & Mann, 2022; Otchie et al., 2020).

1.3.5 Η Αρχή της Χρονικής Συνάφειας

Ως φυσική συνέχεια της διαχείρισης του χώρου, η Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης αναδεικνύει την κρισιμότητα της διαχείρισης του χρόνου μέσω της Αρχής της Χρονικής Συνάφειας (Temporal Contiguity Principle). Σύμφωνα με τον Mayer (2009), η μάθηση ενισχύεται σημαντικά όταν οι αντίστοιχες λέξεις και εικόνες παρουσιάζονται ταυτόχρονα (simultaneously) παρά διαδοχικά (successively). Ο γνωστικός μηχανισμός πίσω από αυτή την αρχή σχετίζεται άμεσα με τους περιορισμούς της μνήμης εργασίας. Όταν η οπτική αναπαράσταση προηγείται της ακουστικής αφήγησης (ή το αντίστροφο), ο εκπαιδευόμενος αναγκάζεται να συγκρατήσει το πρώτο ερέθισμα στη βραχύχρονη μνήμη του μέχρι να εμφανιστεί το δεύτερο, ώστε να οικοδομήσει τις απαραίτητες νοητικές συνδέσεις (Mayer & Moreno, 2003). Αυτή η χρονική υστέρηση προκαλεί περιττό εξωγενές γνωστικό φορτίο, διακόπτοντας την ομαλή ενσωμάτωση των

νέων πληροφοριών στα προϋπάρχοντα γνωστικά σχήματα (Bates, 2015; Clark & Mayer, 2016; Beheshti et al., 2018).

Η εφαρμογή της αρχής αυτής καθίσταται απολύτως απαραίτητη στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών. Όταν ένα εκπαιδευτικό βίντεο προβάλλει μια χημική αντίδραση σε μοριακό επίπεδο για παράδειγμα, η φωνή του διδάσκοντα (αφήγηση) πρέπει να συγχρονίζεται απόλυτα με τα δρώμενα επί της οθόνης (Herrington & Sweeder, 2025). Εάν, για παράδειγμα, παρουσιαστεί πρώτα η πλήρης προσομοίωση ενός μηχανισμού και ακολουθήσει η λεκτική του ανάλυση, οι μαθητές/τριες αδυνατούν να αντιστοιχίσουν τους λεκτικούς όρους (π.χ. «πυρηνόφιλη προσβολή») με την αντίστοιχη οπτική κίνηση των ηλεκτρονίων (Herrington & Sweeder, 2025; Brame, 2016). Ο ταυτόχρονος συγχρονισμός είναι αυτός που επιτρέπει στον μαθητή να κωδικοποιήσει διπλά (dual coding) την πληροφορία, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα του υλικού (Cresswell et al., 2019).

Κατά την ποιοτική αξιολόγηση υφιστάμενου οπτικοακουστικού υλικού στο πλαίσιο μελετών περίπτωσης, η παραβίαση της χρονικής συνάφειας εντοπίζεται συχνά ως κεντρικό σχεδιαστικό σφάλμα, ιδίως σε πλατφόρμες όπως το YouTube και το TikTok. Πολλά βίντεο επιστημονικής εκλαΐκευσης (dissemination) υιοθετούν κινηματογραφικές τεχνικές, όπως η σιωπηλή προβολή εντυπωσιακών πειραμάτων με τη συνοδεία μουσικής, ακολουθούμενη από καθυστερημένες επεξηγήσεις (Lijo et al., 2024; Smith, 2014; Conde-Caballero et al., 2024). Αν και αυτή η προσέγγιση ενδέχεται να μεγιστοποιεί τον εντυπωσιασμό, υπονομεύει την αφηγηματική συνοχή και το παιδαγωγικό αποτέλεσμα. Ανάλυση μαθησιακών δεδομένων των βίντεο δείχνουν ότι η έλλειψη συγχρονισμού αφήγησης και εικόνας προκαλεί σύγχυση, οδηγώντας συχνά τον χρήστη να αναζητήσει επαναλαμβανόμενα (rewind) τα επίμαχα σημεία, γεγονός που υποδηλώνει γνωστική αστοχία του μέσου (Mohamed Taher & Öncü, 2026; Shoufan & Mohamed, 2022; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2020).

Μολαταύτα, η απαίτηση για αυστηρή ταυτόχρονη παρουσίαση επιδέχεται κριτικής όταν το εκπαιδευτικό υλικό παρουσιάζει εξαιρετικά υψηλή εγγενή πολυπλοκότητα. Σε περιπτώσεις όπου ο ρυθμός παρουσίασης (pacing) μιας δυναμικής οπτικοποίησης είναι ταχύς, η ταυτόχρονη αφήγηση μπορεί να υπερφορτώσει ταυτόχρονα και το οπτικό και το ακουστικό κανάλι (Kuhlmann et al., 2024). Υπό αυτές τις συνθήκες, έρευνες υποδεικνύουν ότι η ελεγχόμενη διαδοχική παρουσίαση (successive presentation) ή η δυνατότητα του

μαθητή να διακόπτει το βίντεο (interactive pausing)– είναι προτιμότερη, διότι επιτρέπει στη μνήμη εργασίας να ανασυνταχθεί (Kay & Mann, 2022; Gallardo-Williams et al., 2021).

Επιπρόσθετα, η προ-εκπαίδευση (pre-training) επί των βασικών όρων, πριν από την προβολή ενός συγχρονισμένου βίντεο, λειτουργεί ως αναγκαία «σκαλωσιά» (scaffold, κατά Vygotsky), αποδεικνύοντας ότι καμία αρχή δεν πρέπει να εφαρμόζεται μηχανιστικά, αλλά σε άμεση αλληλεπίδραση με τη φύση του γνωστικού αντικειμένου και τον σχεδιασμό του περιβάλλοντος μάθησης (Fernández et al., 2023; Otchie et al., 2020).

1.3.6 Η Αρχή της Κατάτμησης

Η Αρχή της Κατάτμησης (Segmenting Principle) αποτελεί ένα από τα βασικότερα αξιώματα της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης για τη διαχείριση του εγγενούς γνωστικού φορτίου (intrinsic cognitive load). Σύμφωνα με τον Mayer (2009), οι άνθρωποι μαθαίνουν πιο αποτελεσματικά όταν ένα πολυμεσικό μήνυμα παρουσιάζεται σε αυτόνομα, σύντομα και ελεγχόμενα από τον χρήστη τμήματα (user-paced segments), παρά ως μια συνεχή και αδιάκοπη ροή πληροφοριών. Η θεωρητική βάση της αρχής εδράζεται στη Θεωρία του Γνωστικού Φορτίου (Sweller, 1988) και στην ανάγκη παροχής επαρκούς χρόνου επεξεργασίας στη μνήμη εργασίας. Όταν ο ρυθμός παρουσίασης (pacing) ελέγχεται αποκλειστικά από το σύστημα, ο εκπαιδευόμενος ενδέχεται να μην προλάβει να οργανώσει και να ενσωματώσει τις εισερχόμενες πληροφορίες πριν την εμφάνιση των επόμενων, οδηγώντας σε γνωστική υπερφόρτωση (Moreno & Mayer, 2000; Ibrahim et al., 2012) (Bates, 2015). Η κατάτμηση επιτρέπει τη νοητική ανασύνταξη και προωθεί την αυτορρυθμιζόμενη μάθηση.

Στο πεδίο των Θετικών Επιστημών, η αρχή της κατάτμησης κρίνεται αναγκαία λόγω της υψηλής εννοιολογικής πυκνότητας των διδασκόμενων φαινομένων, τα οποία συχνά περιλαμβάνουν αφηρημένες έννοιες και διεργασίες πολλών σταδίων. Η βιβλιογραφία αναδεικνύει ότι η διάρκεια και η δομή του βίντεο επηρεάζουν άμεσα τη γνωστική εμπλοκή των μαθητών/τριών. Μελέτες όπως των Guo και συνεργάτες (2014) και του Nielsen (2016) τεκμηριώνουν μια ισχυρή αρνητική συσχέτιση μεταξύ της διάρκειας ενός εκπαιδευτικού βίντεο και του ποσοστού ολοκλήρωσης της θέασης, προτείνοντας τη δημιουργία σύντομων ενοτήτων (micro-lectures) ιδανικά κάτω των έξι έως εννέα λεπτών (Brame, 2016). Για παράδειγμα, κατά την παρουσίαση ενός εργαστηριακού πειράματος ή ενός μηχανισμού

αντίδρασης, η κατάτμηση του υλικού σε διακριτές ενότητες, όπως εννοιολογικό υπόβαθρο, εκτέλεση πειράματος και ανάλυση δεδομένων, βοηθά τους μαθητές/τριες να αφομοιώσουν τα επιμέρους βήματα, ενισχύοντας την αυτοπεποίθηση και την επίδοσή τους (Herrington & Sweeder, 2025).

Στο πλαίσιο μιας ποιοτικής μελέτης περίπτωσης που επικεντρώνεται στην κριτική αξιολόγηση υφιστάμενου οπτικοακουστικού υλικού, η αρχή της κατάτμησης αναδεικνύεται σε κομβικό κριτήριο παιδαγωγικού σχεδιασμού. Πολλά παραδοσιακά βίντεο διαλέξεων ή υλικό επιστημονικής εκλαΐκευσης (dissemination) που συναντώνται στο YouTube παρουσιάζονται ως μακροσκελείς, γραμμικές ροές, με αποτέλεσμα να προκαλούν γρήγορα γνωστική κόπωση και παθητική στάση (Lijo et al., 2024; Abdelhamid & Katz, 2021). Ανάλυση δεδομένων βίντεο επιβεβαιώνουν ότι οι μαθητές/τριες σε μη τμηματοποιημένα περιβάλλοντα συχνά εγκαταλείπουν τη θέαση ή αναγκάζονται να προβαίνουν σε συνεχή rewind (Giannakos et al., 2016; Shoufan & Mohamed, 2022). Η σύγχρονη τάση για την επίλυση αυτού του προβλήματος στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση είναι η μετατροπή του παθητικού βίντεο σε διαδραστικό (interactive video) μέσω εργαλείων όπως το H5P, το οποίο ενσωματώνεται σε LMS π.χ. στο Moodle. Η ενσωμάτωση διαδραστικών παύσεων, ερωτήσεων αναστοχασμού και σύντομων κουίζ (hotspots) αναγκάζει τον μαθητή να μεταβεί από την παθητική πρόσληψη στην ενεργό επεξεργασία, βελτιώνοντας σημαντικά τη διατήρηση της γνώσης (Mohamed Taher & Öncü, 2026; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2020).

Μολαταύτα, η εφαρμογή της κατάτμησης δεν πρέπει να γίνεται χωρίς κριτικό έλεγχο, καθώς η υπερβολική ή λανθασμένη πραγματοποίησή της ενδέχεται να επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα. Αν το εκπαιδευτικό υλικό κατακερματιστεί σε υπερβολικά μικρά ή ασύνδετα τμήματα, ελλοχεύει ο κίνδυνος να χαθεί η αφηρημένη μακρο-δομή και η συνοχή (coherence) του επιστημονικού επιχειρήματος, εμποδίζοντας τον μαθητή να αναπτύξει μια ολιστική κατανόηση της διεργασίας (Kuhlmann et al., 2024). Επιπλέον, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το φαινόμενο της αναστροφής της εμπειρογνωμοσύνης (expertise reversal effect). Όπως επισημαίνουν οι Gallardo-Williams et al. (2021) και οι Fernández et al. (2023), οι μαθητές/τριες με υψηλό επίπεδο προϋπάρχουσας γνώσης επωφελούνται περισσότερο από μια συνεχή, ολοκληρωμένη ροή που τους επιτρέπει να εφαρμόσουν τις δικές τους στρατηγικές επεξεργασίας, ενώ οι συχνές επιβεβλημένες παύσεις μπορεί να λειτουργήσουν ως ενοχλητικός παράγοντας που διακόπτει τον ειρμό τους. Συνεπώς, η ποιοτική επιλογή και ο σχεδιασμός του υλικού επιβάλλουν την εύρεση μιας ισορροπίας

ανάμεσα στη δομική κατάτμηση και τη διατήρηση της αφηγηματικής ροής, προσαρμοσμένης πάντα στις γνωστικές ανάγκες του κοινού (Kay & Mann, 2022) (Otchie et al., 2020).

1.3.7 Η Αρχή της Προεκπαίδευσης

Η Αρχή της Προ-εκπαίδευσης (Pre-training Principle) συνιστά μια θεμελιώδη στρατηγική της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης για την αντιμετώπιση της υπερφόρτωσης που πηγάζει από την ίδια τη δυσκολία του γνωστικού αντικειμένου (εγγενές γνωστικό φορτίο). Σύμφωνα με τον Mayer (2009), οι εκπαιδευόμενοι εμπεδώνουν αποτελεσματικότερα ένα σύνθετο πολυμεσικό μήνυμα εάν έχουν προηγουμένως γνωρίσει τα ονόματα, τα χαρακτηριστικά και τη συμπεριφορά των βασικών εννοιών που θα παρουσιαστούν. Η αρχή αυτή εδράζεται στην έννοια της κατασκευής νοητικών σχημάτων (schema construction). Όταν ο μαθητής καλείται να παρακολουθήσει μια δυναμική οπτικοποίηση η οποία εξελίσσεται με γρήγορο ρυθμό, η μνήμη εργασίας του αδυνατεί να επεξεργαστεί ταυτόχρονα και τα νέα δομικά στοιχεία (τι είναι αυτό που βλέπει) και τις μεταξύ τους σχέσεις (πώς αλληλεπιδρούν). Παρέχοντας στοχευμένη προ-εκπαίδευση, τα επιμέρους στοιχεία έχουν ήδη κωδικοποιηθεί στη μακρόχρονη μνήμη, απελευθερώνοντας γνωστικούς πόρους για την κατανόηση της συνολικής διαδικασίας (Mayer & Moreno, 2003; Clark & Mayer, 2016; Bates, 2015; Ibrahim et al., 2012).

Στο πεδίο των Θετικών Επιστημών, η αρχή της προ-εκπαίδευσης κρίνεται επιβεβλημένη καθώς διαθέτουν μια εξαιρετικά πυκνή και αφηρημένη συμβολική γλώσσα. (Herrington & Sweeder, 2025). Πριν την παρακολούθηση ενός βίντεο που αναλύει, για παράδειγμα, έναν πολύπλοκο οργανικό μηχανισμό ή την κινητική μιας αντίδρασης, οι μαθητές/τριες πρέπει να είναι ήδη εξοικειωμένοι με τη χημική ορολογία, τα σύμβολα των στοιχείων και τις μοριακές δομές. Όπως αναδεικνύεται από έρευνες σε εργαστηριακά περιβάλλοντα, οι προπαρασκευαστικές δραστηριότητες (pre-laboratory activities) και τα σύντομα βίντεο ορολογίας λειτουργούν ως η απαραίτητη «σκαλωσία» (scaffold), επιτρέποντας στους μαθητές/τριες να συνδέσουν τις προϋπάρχουσες γνώσεις τους με το δυναμικό φαινόμενο που θα παρακολουθήσουν, αυξάνοντας έτσι την αυτοπεποίθηση και

την τελική τους απόδοση (Agustian & Seery, 2017; Cresswell et al., 2019; Herrington & Sweeder, 2025; Brame, 2016).

Κατά την αξιολόγηση υφιστάμενου εκπαιδευτικού υλικού, όπως τα δημοφιλή βίντεο στο YouTube ή τα βίντεο μικρής διάρκειας στο TikTok, μέσω μιας ποιοτικής μελέτης περίπτωσης, εντοπίζεται μια συστηματική παράλειψη αυτής της αρχής. Πολλά βίντεο επιστημονικής εκλαΐκευσης δίνουν προτεραιότητα στον εντυπωσιασμό (π.χ., μια θεαματική έκρηξη ή αλλαγή χρώματος) και εισέρχονται απευθείας στο κύριο φαινόμενο, χωρίς να παρέχουν το αναγκαίο γνωστικό υπόβαθρο (Lijo et al., 2024; Smith, 2014; Conde-Caballero et al., 2024). Ως αποτέλεσμα, παρότι οι θεατές ενδέχεται να δηλώνουν ενθουσιασμένοι (υψηλό συναισθηματικό κίνητρο), η πραγματική γνωστική τους εμπλοκή (active cognitive engagement) παραμένει ρηχή, καθώς δεν διαθέτουν τα νοητικά εργαλεία για να ερμηνεύσουν αυτό που είδαν (Kuhlmann et al., 2024; Abdelhamid & Katz, 2021). Για την αποτελεσματική ενσωμάτωση τέτοιων βίντεο στην εξ αποστάσεως διδασκαλία, ο εκπαιδευτικός οφείλει να σχεδιάσει ο ίδιος τη φάση της προ-εκπαίδευσης, για παράδειγμα, μέσω ενός εισαγωγικού κειμένου ή ενός σύντομου διαδραστικού κουίζ σε περιβάλλον Moodle, πριν την προβολή του κυρίως υλικού, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ της πλατφόρμας ψυχαγωγίας και του εκπαιδευτικού στόχου (Otchie et al., 2020; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2020; Shoufan & Mohamed, 2022).

Παρ' όλα αυτά, η εφαρμογή της αρχής της προ-εκπαίδευσης δεν αποτελεί πανάκεια και επιβάλλει κριτική στάση κατά τον εκπαιδευτικό σχεδιασμό. Η παροχή εκτενούς προπαρασκευαστικού υλικού σε μαθητές/τριες που κατέχουν ήδη υψηλό επίπεδο εξοικείωσης με το αντικείμενο, όχι μόνο δεν υποστηρίζει τη μάθηση, αλλά προκαλεί το φαινόμενο της αναστροφής της εμπειρογνωμοσύνης (expertise reversal effect). Όπως τεκμηριώνουν οι Gallardo-Williams et al. (2021) και οι Fernández et al. (2023), οι έμπειροι μαθητές/τριες τείνουν να χάνουν το ενδιαφέρον τους και να αποθαρρύνονται όταν αναγκάζονται να μελετήσουν ξανά έννοιες που έχουν ήδη αυτοματοποιήσει. Επιπλέον, εάν το ίδιο το εκπαιδευτικό βίντεο είναι σχεδιασμένο με αργό ρυθμό (slow pacing) και χαμηλή εννοιολογική πυκνότητα, η προ-εκπαίδευση καθίσταται περιττή, καθώς η μνήμη εργασίας έχει επαρκή χρόνο να αφομοιώσει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (Kay & Mann, 2022; Beheshti et al., 2018). Επομένως, η απόφαση για την ενσωμάτωση προ-εκπαίδευσης πρέπει να βασίζεται στην αυστηρή αξιολόγηση τόσο της πολυπλοκότητας του βίντεο (εγγενές φορτίο) όσο και του γνωστικού προφίλ των συγκεκριμένων μαθητών/τριών.

1.3.8 Η Αρχή της Τροπικότητας

Η Αρχή της Τροπικότητας (Modality Principle) αποτελεί μία από τις πιο ισχυρές και θεωρητικά τεκμηριωμένες αρχές της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης για τη διαχείριση και τον περιορισμό του «εξωγενούς γνωστικού φορτίου» (*extraneous cognitive load*). Σύμφωνα με τον Mayer (2009), οι εκπαιδευόμενοι επιτυγχάνουν σημαντικά βαθύτερη κατανόηση όταν ένα πολυμεσικό μήνυμα αποτελείται από οπτικά γραφικά και ακουστική αφήγηση (*spoken narration*), παρά από οπτικά γραφικά και γραπτό κείμενο στην οθόνη (*on-screen text*). Όταν μια δυναμική οπτικοποίηση συνοδεύεται από γραπτό κείμενο, και τα δύο ερεθίσματα ανταγωνίζονται για τους περιορισμένους πόρους του ίδιου αισθητηριακού καναλιού, του οπτικού/εικονικού, προκαλώντας γνωστική υπερφόρτωση (*visual channel overload*). Αντίθετα, η μετατροπή του κειμένου σε προφορικό λόγο επιτρέπει την ισορροπημένη κατανομή της πληροφορίας, καθώς ο ήχος επεξεργάζεται από το ακουστικό/λεκτικό κανάλι, αφήνοντας το οπτικό κανάλι ελεύθερο να επικεντρωθεί αποκλειστικά στην ανάλυση των οπτικών συμβάντων (Mayer & Moreno, 2003; Clark & Mayer, 2016; Bates, 2015; Brame, 2016).

Στο πεδίο των Θετικών Επιστημών, η αρχή της τροπικότητας έχει καθοριστική σημασία λόγω της εγγενούς οπτικής και εννοιολογικής πολυπλοκότητας του περιεκτικού υλικού. Οι μαθητές/τριες καλούνται συχνά να παρακολουθήσουν αφηρημένα φαινόμενα που εξελίσσονται σε πολλαπλά επίπεδα αναπαράστασης, όπως η κίνηση των σωματιδίων στο υποατομικό επίπεδο ή η δυναμική αλλαγή μιας εργαστηριακής διάταξης. Όπως επισημαίνουν οι Herrington και Sweeder (2025), εάν ένα εκπαιδευτικό βίντεο επιχειρεί να εξηγήσει έννοιες όπως η χημική ισορροπία χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα διαγράμματα και επεξηγηματικές παραγράφους στην οθόνη, οι μαθητές/τριες βιώνουν διάσπαση της προσοχής (*split-attention effect*). Η προφορική αφήγηση από τον εκπαιδευτικό λειτουργεί ως καθοδηγητικός ιστός, επιτρέποντας στον μαθητή να παρατηρεί τη δυναμική οπτικοποίηση (π.χ. τη μετατόπιση της ισορροπίας) χωρίς να χρειάζεται να αποστρέψει το βλέμμα του για να διαβάσει επεξηγήσεις (Kuhlmann et al., 2024; Herrington & Sweeder, 2025). Η αποτελεσματικότητα αυτή επιβεβαιώνεται και σε βίντεο προετοιμασίας εργαστηρίων, όπου η ακουστική καθοδήγηση των τεχνικών βελτιώνει την ψυχοκινητική απόδοση των φοιτητών (Agustian & Seery, 2017; Cresswell et al., 2019).

Στο πλαίσιο μιας ποιοτικής μελέτης περίπτωσης που εστιάζει στην κριτική αξιολόγηση υφιστάμενων ψηφιακών πόρων, η αρχή της τροπικότητας αναδεικνύεται σε κρίσιμο δείκτη παιδαγωγικής ποιότητας για το υλικό που αντλείται από ανοικτές πλατφόρμες όπως το YouTube και το TikTok. Πολλά δημοφιλή βίντεο επιστημονικής εκλαΐκευσης (dissemination) ή ερασιτεχνικά εκπαιδευτικά βίντεο παραβιάζουν συστηματικά την αρχή αυτή, είτε αντικαθιστώντας την αφήγηση με έντονη μουσική υπόκρουση και υπότιτλους, είτε προβάλλοντας μεγάλα μπλοκ κειμένου δίπλα στις προσομοιώσεις (Lijo et al., 2024; Conde-Caballero et al., 2024; Smith, 2014). Αυτή η σχεδιαστική αστοχία μετατρέπει τη θέαση από μια διαδικασία ενεργού οικοδόμησης γνώσης σε μια κουραστική δραστηριότητα αποκωδικοποίησης, μειώνοντας τη γνωστική εμπλοκή (cognitive engagement). Ανάλυση μαθησιακών δεδομένων (analytics) των βίντεο καταδεικνύει ότι τα βίντεο που βασίζονται σε εκτενές γραπτό κείμενο παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά πρόωρης εγκατάλειψης σε σύγκριση με εκείνα που αξιοποιούν μια καθαρή, ανθρώπινη προφορική αφήγηση (Mohamed Taher & Öncü, 2026; Shoufan & Mohamed, 2022). Η σωστή ακουστική επένδυση υποκαθιστά τη ζωντανή διδασκαλία και διατηρεί την προσοχή των μαθητών/τριών στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση (Παπαδημητρίου & Σοφός, 2020).

Ωστόσο, η εφαρμογή της αρχής της τροπικότητας δεν πρέπει να γίνεται δογματικά, καθώς η γνωστική επιστήμη αναγνωρίζει σημαντικές εξαιρέσεις ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των εκπαιδευόμενων και τη φύση του υλικού. Πρώτον, η παρουσίαση γραπτού κειμένου στην οθόνη είναι αναγκαία για τη διασφάλιση της προσβασιμότητας (accessibility) μαθητών/τριών με ακουστικά προβλήματα ή μαθητών/τριών που παρακολουθούν το μάθημα σε ξένη γλώσσα (ESL), όπου το κείμενο λειτουργεί ως υποστήριξη (scaffolding) (Kay & Mann, 2022). Δεύτερον, όταν το βίντεο περιλαμβάνει εξαιρετικά περίπλοκους τεχνικούς όρους, χημικές εξισώσεις ή μαθηματικά σύμβολα, η στατική αναγραφή τους στην οθόνη είναι απαραίτητη, καθώς ο προφορικός λόγος είναι εφήμερος (transient) και η μνήμη εργασίας χρειάζεται τη μόνιμη οπτική αναπαράσταση για να επεξεργαστεί τη δομή της επίλυσης (Beheshti et al., 2018; Otchie et al., 2020). Τέλος, το φαινόμενο της *αναστροφής της εμπειρογνωμοσύνης* (expertise reversal effect) υποδηλώνει ότι οι προχωρημένοι μαθητές/τριες, έχοντας ήδη αυτοματοποιημένα νοητικά σχήματα, επηρεάζονται λιγότερο από τον τρόπο παρουσίασης και μπορούν να επεξεργαστούν το γραπτό κείμενο χωρίς απώλεια απόδοσης (Gallardo-Williams et al., 2021; Fernández et al.,

2023). Συνεπώς, η ποιοτική επιλογή του υλικού απαιτεί μια ευέλικτη προσέγγιση που ζυγίζει τον βαθμό τροπικότητας σε συνάρτηση με τις ανάγκες του μαθητικού πληθυσμού.

1.3.9 Η Αρχή της Πολυμεσικότητας

Η Αρχή της Πολυμεσικότητας (Multimedia Principle) συνιστά τον θεμέλιο λίθο της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης. Σύμφωνα με το κεντρικό αξίωμα του Mayer (2009), οι μαθητές/τριες μαθαίνουν βαθύτερα και αποτελεσματικότερα όταν οι πληροφορίες παρουσιάζονται συνδυάζοντας λέξεις (προφορικές ή γραπτές) και εικόνες (στατικές ή δυναμικές), παρά όταν βασίζονται αποκλειστικά σε λέξεις. Όταν ένα εκπαιδευτικό μήνυμα είναι αμιγώς λεκτικό, η ενεργητική γνωστική επεξεργασία περιορίζεται σε ένα μόνο κανάλι. Αντιθέτως, η ταυτόχρονη ενεργοποίηση και των δύο καναλιών επιτρέπει στον εκπαιδευόμενο να κατασκευάσει πολλαπλές νοητικές αναπαραστάσεις και να σφυρηλατήσει ισχυρότερες συνδέσεις μεταξύ τους, οδηγώντας στην ουσιαστική οικοδόμηση της γνώσης (Clark & Mayer, 2016; Bates, 2015; Ibrahim et al., 2012).

Στο πλαίσιο των Θετικών Επιστημών, η αρχή της πολυμεσικότητας είναι απόλυτα κρίσιμη για την υπέρβαση των μαθησιακών εμποδίων. Η αμιγώς λεκτική περιγραφή μιας χημικής αντίδρασης ή ενός εργαστηριακού πειράματος, για παράδειγμα, αδυνατεί να αποτυπώσει τη δυναμική φύση των μοριακών αλληλεπιδράσεων (Herrington & Sweeder, 2025). Για παράδειγμα, τα εκπαιδευτικά βίντεο που ενσωματώνουν μοριακές προσομοιώσεις παράλληλα με την αφήγηση του καθηγητή, μετατρέπουν τις αφηρημένες έννοιες σε απτές εικόνες, διευκολύνοντας την κωδικοποίηση στη μακρόχρονη μνήμη. Αυτή η πρακτική επιβεβαιώνεται από μελέτες σε προπαρασκευαστικά εργαστηριακά βίντεο (pre-laboratory videos), όπου ο συνδυασμός οπτικής επίδειξης του εξοπλισμού και λεκτικών οδηγιών ενισχύει θεαματικά την αυτοπεποίθηση, την ασφάλεια και την απόδοση των μαθητών/τριών σε σχέση με τα παραδοσιακά γραπτά εγχειρίδια (Agustian & Seery, 2017; Cresswell et al., 2019; Herrington & Sweeder, 2025; Brame, 2016).

Κατά την αξιολόγηση υφιστάμενου εκπαιδευτικού υλικού, όπως τα βίντεο στο YouTube, το TikTok ή τα MOOCs, μέσα από το πρίσμα μιας ποιοτικής μελέτης περίπτωσης, η αρχή της πολυμεσικότητας αποτελεί βασικό δείκτη ανάλυσης. Είναι σύνηθες φαινόμενο πολλές διαδικτυακές διαλέξεις να υιοθετούν τη μορφή του «ομιλούντος

προσώπου» (talking head), όπου η οθόνη καταλαμβάνεται από τον διδάσκοντα, χωρίς την υποστήριξη σχετικών γραφικών (Lijo et al., 2024; Scagnoli et al., 2017). Μολονότι αυτό μπορεί να ενισχύει την κοινωνική παρουσία (social presence), στερείται της παιδαγωγικής δύναμης της οπτικοποίησης (Abdelhamid & Katz, 2021). Αντίθετα, κανάλια επιστημονικής εκλαΐκευσης (dissemination) χρησιμοποιούν εκτενώς πλούσια πολυμέσα, ωστόσο η αξιολόγησή τους οφείλει να εστιάσει στο κατά πόσον οι εικόνες εξυπηρετούν παιδαγωγικό σκοπό ή αποτελούν απλώς διακοσμητικά στοιχεία (Smith, 2014; Conde-Caballero et al., 2024). Ανάλυση μαθησιακών δεδομένων βίντεο δείχνουν ότι η κατάλληλη ενσωμάτωση δυναμικών γραφικών (animations) αυξάνει θεαματικά την προσοχή, μειώνοντας τα ποσοστά εγκατάλειψης στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση (Mohamed Taher & Öncü, 2026; Shoufan & Mohamed, 2022; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2020).

Παρ' όλα αυτά, η εφαρμογή της αρχής της πολυμεσικότητας απαιτεί αυστηρή κριτική θεώρηση, καθώς η απλή προσθήκη μιας οποιασδήποτε εικόνας σε ένα κείμενο δεν εγγυάται τη βελτίωση της μάθησης. Η χρήση εντυπωσιακών αλλά άσχετων γραφικών (seductive details) παραβιάζει άμεσα την αρχή της συνάφειας και αποσπά τους γνωστικούς πόρους από το κύριο μήνυμα (Kuhlmann et al., 2024). Επιπροσθέτως, πρέπει να συνυπολογίζεται το επίπεδο πραγματογνωμοσύνης των εκπαιδευόμενων (expertise reversal effect). Μαθητές/τριες με υψηλό επίπεδο εξοικείωσης στις Θετικές Επιστήμες ενδέχεται να συγκροτούν τις δικές τους νοητικές αναπαραστάσεις εσωτερικά μέσω φαντασίας, καθιστώντας τις εξωτερικές οπτικοποιήσεις περιττές ή ακόμη και παρεμβατικές (Gallardo-Williams et al., 2021; Fernández et al., 2023). Ως εκ τούτου, ο σχεδιασμός ή η επιλογή ενός πολυμεσικού πόρου πρέπει να λαμβάνει υπόψη ότι οι εικόνες οφείλουν να έχουν καθαρά επεξηγηματικό ρόλο, γεφυρώνοντας τις αναπαραστάσεις του περιεχομένου και όχι διακοσμητικό, ανταποκρινόμενες πάντα στις γνωστικές ανάγκες του εκάστοτε κοινού (Kay & Mann, 2022; Otchie et al., 2020).

1.3.10 Η Αρχή της Προσωποποίησης

Η Αρχή της Προσωποποίησης (Personalization Principle) αποτελεί μια από τις πιο θεμελιώδεις αρχές της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης (CTML) που στοχεύει στην ενίσχυση της παραγωγικής γνωστικής επεξεργασίας (generative processing). Σύμφωνα με τον Mayer (2009), οι εκπαιδευόμενοι επιτυγχάνουν βαθύτερη κατανόηση όταν

ο λόγος σε ένα πολυμεσικό μήνυμα παρουσιάζεται με ανεπίσημο, συνομιλητικό ύφος (conversational style) και σε πρώτο ή δεύτερο πρόσωπο, παρά με ένα αυστηρά τυπικό, απρόσωπο ή ακαδημαϊκό ύφος. Η θεωρητική βάση της αρχής αυτής εδράζεται στη Θεωρία της Κοινωνικής Υπηρεσίας (Social Agency Theory). Όταν το εκπαιδευτικό υλικό υιοθετεί ένα οικείο και φιλικό ύφος, ο μαθητής προσλαμβάνει το σύστημα ή το βίντεο ως έναν ενεργό κοινωνικό εταίρο. Αυτή η αίσθηση κοινωνικής παρουσίας (social presence) ενεργοποιεί κοινωνικές απαντήσεις στον ανθρώπινο εγκέφαλο, παρακινώντας τον εκπαιδευόμενο να καταβάλει μεγαλύτερη γνωστική προσπάθεια για να κατανοήσει τα λεγόμενα του συνομιλητή του, γεγονός που οδηγεί σε ποιοτικότερη οργάνωση και ενσωμάτωση των πληροφοριών (Moreno & Mayer, 2000; Clark & Mayer, 2016; Bates, 2015).

Στο πλαίσιο των Θετικών Επιστημών, η αρχή της προσωποποίησης διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη μείωση του μαθησιακού άγχους και στην ενίσχυση των εσωτερικών κινήτρων, καθώς οι μαθητές/τριες συχνά θεωρούν τις επιστημονικές έννοιες απρόσιτες ή υπερβολικά αφηρημένες. Η χρήση του πρώτου πληθυντικού προσώπου (π.χ. «ας εξετάσουμε τη μετατόπιση της ισορροπίας») ή του δεύτερου ενικού, σε συνδυασμό με έναν ενθουσιώδη και σχετικά γρήγορο ρυθμό ομιλίας, αυξάνει σημαντικά την προσοχή και την αφοσίωση (Brame, 2016). Όπως υπογραμμίζουν οι Herrington και Sweeder (2025), η επιλογή ενός συνομιλητικού τόνου κατά την επεξήγηση χημικών μηχανισμών βοηθά τους μαθητές/τριες να νιώσουν ότι συμμετέχουν σε μια κοινή επιστημονική αναζήτηση. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη μελέτη των Gallardo-Williams et al. (2021) σχετικά με τα βίντεο που δημιουργούνται από τους ίδιους τους μαθητές/τριες (student-generated videos). Η αυθεντική, ομότιμη επικοινωνία (peer-to-peer transfer) που χαρακτηρίζει αυτά τα βίντεο ενσωματώνει φυσικά την αρχή της προσωποποίησης, ενισχύοντας την αίσθηση της αυτοαποτελεσματικότητας (self-efficacy) των εκπαιδευόμενων και γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ της ακαδημαϊκής θεωρίας και της εργαστηριακής πράξης (Fernández et al., 2023; Cresswell et al., 2019).

Κατά την υλοποίηση μιας ποιοτικής μελέτης περίπτωσης που εστιάζει στην κριτική αξιολόγηση υφιστάμενου ψηφιακού υλικού από ανοικτές πλατφόρμες, η αρχή της προσωποποίησης αναδεικνύεται σε κεντρικό άξονα διαφοροποίησης μεταξύ παραδοσιακών και σύγχρονων μορφών μάθησης. Η βιβλιογραφική επισκόπηση δείχνει ότι πολλά βίντεο εκλαΐκευσης (dissemination) στο YouTube ή μικρο-μαθήματα (microlearning) στο TikTok

καταγράφουν εξαιρετικά υψηλά επίπεδα δέσμευσης ακριβώς επειδή βασίζονται σε ένα εξαιρετικά προσωποποιημένο, άμεσο και διαδραστικό ύφος επικοινωνίας (Lijo et al., 2024) (Conde-Caballero et al., 2024) (Smith, 2014). Αντίθετα, οι μακροσκελείς, τυπικές πανεπιστημιακές διαλέξεις συχνά προκαλούν παθητική στάση και αποστασιοποίηση (Lowenthal et al., 2020). Ανάλυση δεδομένων βίντεο επιβεβαιώνουν ότι η ύπαρξη ενός οικείου, συνομιλητικού ύφους, σε συνδυασμό με την προβολή του προσώπου του εκπαιδευτικού (όταν αυτό γίνεται με μέτρο και δεν αποσπά την προσοχή), περιορίζει τα ποσοστά πρόωρης εγκατάλειψης του βίντεο και προάγει την ενεργό γνωστική εμπλοκή (active cognitive engagement) στην εξ Αποστάσεως εκπαίδευση (Mohamed Taher & Öncü, 2026; Kuhlmann et al., 2024; Shoufan & Mohamed, 2022; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2020).

Ωστόσο, η εφαρμογή της αρχής της προσωποποίησης απαιτεί προσεκτική και κριτική εξισορρόπηση, καθώς η υπερβολική στροφή προς την ανεπίσημη επικοινωνία ενέχει συγκεκριμένους κινδύνους. Μια αλόγιστη χρήση λαϊκών εκφράσεων, χιούμορ ή άσχετων προσωπικών ιστοριών μπορεί να παραβιάσει άμεσα την Αρχή της Συνάφειας (Coherence Principle), εισάγοντας περιττά στοιχεία (seductive details) που επιβαρύνουν τη μνήμη εργασίας (Mayer, 2009). Επιπλέον, η υπερβολική οικειότητα ενδέχεται να υποβαθμίσει την αντιλαμβανόμενη επιστημονική εγκυρότητα και την ακαδημαϊκή αυστηρότητα του περιεχομένου, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη σοβαρότητα με την οποία προσεγγίζουν οι μαθητές/τριες το γνωστικό αντικείμενο (Guo et al., 2014). Πρέπει επίσης να συνυπολογίζονται οι πολιτισμικές διαφορές και οι προτιμήσεις του εκάστοτε μαθητικού πληθυσμού, καθώς ορισμένες ομάδες εκπαιδευόμενων ή πιο προχωρημένοι μαθητές/τριες (expertise reversal effect) ενδέχεται να προτιμούν μια πιο άμεση, δομημένη και επαγγελματική παρουσίαση που εστιάζει αποκλειστικά στα δεδομένα (Kay & Mann, 2022; Beheshti et al., 2018; Otchie et al., 2020).

1.3.11 Η Αρχή της Φωνής

Η Αρχή της Φωνής (Voice Principle) αποτελεί ένα από τα βασικότερα αξιώματα της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης (CTML) που εστιάζει στην ενίσχυση της παραγωγικής γνωστικής επεξεργασίας (generative processing). Σύμφωνα με τον Mayer (2009), οι εκπαιδευόμενοι επιτυγχάνουν σημαντικά βαθύτερη κατανόηση όταν η ακουστική

αφήγηση σε ένα πολυμεσικό μήνυμα πραγματοποιείται από μια φυσική, ανθρώπινη φωνή με σωστή προσωδία, παρά από μια συνθετική, ρομποτική φωνή (text-to-speech). Η θεωρητική θεμελίωση της αρχής αυτής εδράζεται και αυτή στη Θεωρία της Κοινωνικής Υπηρεσίας (Social Agency Theory). Η ανθρώπινη φωνή μεταφέρει συναισθηματικές διακυμάνσεις, τονικές εμφάσεις και έναν φυσικό ρυθμό, στοιχεία που αναγνωρίζονται από τον ανθρώπινο εγκέφαλο ως κοινωνικές ενδείξεις (social cues). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της αίσθησης της κοινωνικής παρουσίας (social presence), η οποία παρακινεί τον μαθητή να εμπλακεί ενεργά, να καταβάλει μεγαλύτερη γνωστική προσπάθεια για την κατανόηση του περιεχομένου και να οργανώσει τις πληροφορίες σε συνεκτικά νοητικά μοντέλα (Moreno & Mayer, 2000; Clark & Mayer, 2016; Bates, 2015; Ibrahim et al., 2012).

Στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών, η Αρχή της Φωνής διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο, καθώς το περιεχόμενο χαρακτηρίζεται από υψηλή αφαιρετικότητα και απαιτεί τη διαχείριση σύνθετων εννοιών σε πολλαπλά επίπεδα αναπαράστασης. Κατά την ανάλυση δυναμικών οπτικοποιήσεων, όπως η κίνηση των σωματιδίων, οι μηχανισμοί αντιδράσεων ή η εκτέλεση εργαστηριακών τεχνικών μια εκφραστική ανθρώπινη φωνή λειτουργεί ως ακουστικός οδηγός (audio signaling) που κατευθύνει την προσοχή στα κρίσιμα σημεία της οθόνης (Herrington & Sweeder, 2025) (Brame, 2016). Όπως καταδεικνύεται από έρευνες σε βίντεο που δημιουργούνται από τους ίδιους τους εκπαιδευτικούς (teacher-made videos) ή από ομότιμους φοιτητές (student-generated videos), η αυθεντικότητα και ο ενθουσιασμός της φυσικής φωνής μειώνουν το μαθησιακό άγχος και ενισχύουν την αποτελεσματικότητα (self-efficacy) των μαθητών/τριών (Gallardo-Williams et al., 2021; Fernández et al., 2023; Cresswell et al., 2019; Herrington & Sweeder, 2025).

Στο πλαίσιο μιας ποιοτικής μελέτης περίπτωσης που επικεντρώνεται στην κριτική αξιολόγηση υφιστάμενου οπτικοακουστικού υλικού από ανοικτές πλατφόρμες, η αρχή της φωνής αποτελεί κεντρικό δείκτη παιδαγωγικής καταλληλότητας. Πολλά χαμηλού κόστους (low-cost) εκπαιδευτικά βίντεο στο YouTube ή μικρο-μαθήματα (microlearning) στο TikTok παραβιάζουν συστηματικά την αρχή αυτή, χρησιμοποιώντας αυτοματοποιημένες ρομποτικές φωνές για την ταχύτερη παραγωγή περιεχομένου (Lijo et al., 2024; Conde-Caballero et al., 2024; Smith, 2014). Αυτή η πρακτική αποξενώνει τον εκπαιδευόμενο, στερεί το υλικό από την «αφηγηματική παρουσία» του δασκάλου και υποβαθμίζει τη γνωστική εμπλοκή (cognitive engagement). Ανάλυση δεδομένων βίντεο επιβεβαιώνουν ότι τα βίντεο με ρομποτικές φωνές παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερα ποσοστά πρόωρης

εγκατάλειψης (bounce rates) και χαμηλότερο χρόνο διατήρησης της προσοχής σε σύγκριση με εκείνα που επενδύονται με φυσική ανθρώπινη ομιλία (Mohamed Taher & Öncü, 2026; Shoufan & Mohamed, 2022; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2020).

Βέβαια, η εφαρμογή της αρχής της φωνής δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται απόλυτα, καθώς οι σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις επιβάλλουν μια πιο ευέλικτη και κριτική προσέγγιση. Οι πρόσφατες πρόοδοι στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης (AI generative voice) έχουν επιτρέψει τη δημιουργία φυσικών φωνών με εξαιρετικά φυσική χροιά, ρυθμό και προσωδία που προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό την ανθρώπινη ομιλία, περιορίζοντας τη γνωστική κόπωση (Kay & Mann, 2022). Επιπλέον, πρέπει να συνυπολογίζεται το φαινόμενο της αναστροφής της εμπειρογνωμοσύνης (expertise reversal effect). Όπως επισημαίνουν οι Kuhlmann et al. (2024) και οι Beheshti et al. (2018), οι προχωρημένοι μαθητές/τριες, έχοντας ήδη αυτοματοποιημένα νοητικά σχήματα, επηρεάζονται λιγότερο από την ποιότητα της αφήγησης και εστιάζουν αποκλειστικά στην ακρίβεια των επιστημονικών δεδομένων, ενώ ένας υπερβολικά ενθουσιώδης ή θεατρικός τόνος φωνής ενδέχεται μερικές φορές να τους αποσπάσει την προσοχή από τις συμβολικές και μαθηματικές επιλύσεις (Otchie et al., 2020).

1.3.12 Η Αρχή της Εικόνας

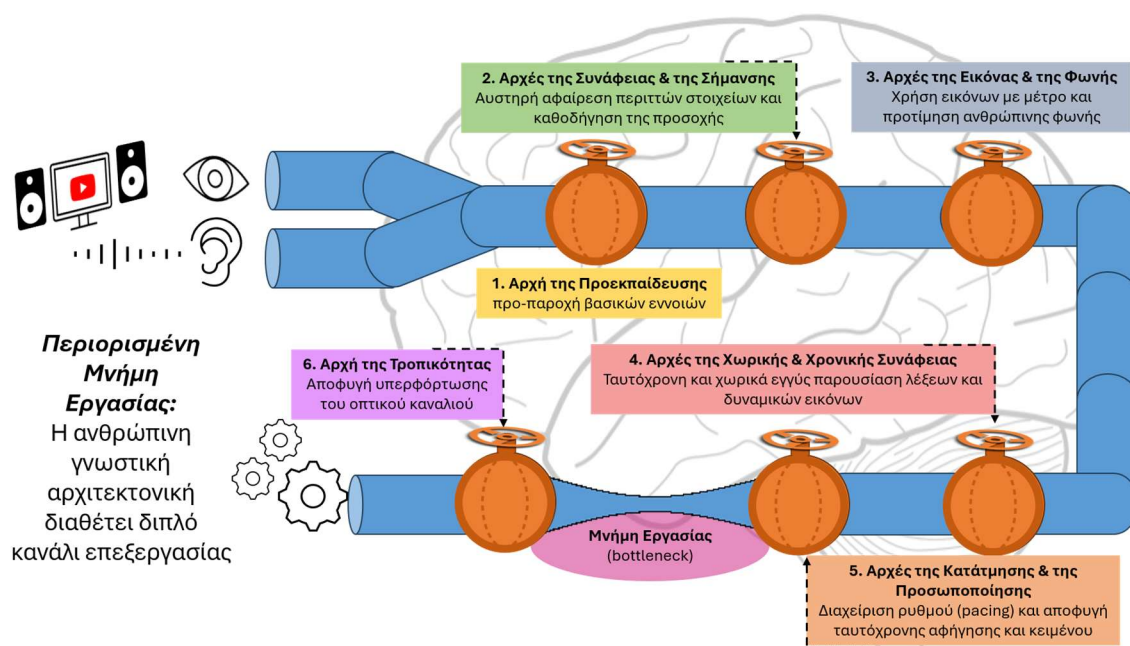
Η Αρχή της Εικόνας (Image Principle) αποτελεί μία από τις πιο πολυσυζητημένες και σύνθετες αρχές της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης αναφορικά με τη διαχείριση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου (extraneous cognitive load). Σύμφωνα με το κλασικό αξίωμα του Mayer (2009), οι άνθρωποι δεν μαθαίνουν απαραίτητα πιο αποτελεσματικά από ένα πολυμεσικό μήνυμα όταν η εικόνα ή το πρόσωπο του ομιλητή («talking head») είναι διαρκώς ορατό στην οθόνη. Από γνωστική άποψη, η συνεχής προβολή του προσώπου του εκπαιδευτικού ενδέχεται να λειτουργήσει ως παράγοντας απόσπασης της προσοχής (distractor), καθώς ο εκπαιδευόμενος αναλώνει περιορισμένους οπτικούς πόρους για να παρατηρεί τις εκφράσεις του προσώπου ή τις χειρονομίες, αντί να επικεντρώνεται στο ουσιαστικό περιεχόμενο (Clark & Mayer, 2016; Bates, 2015; Ibrahim et al., 2012). Η αρχή αυτή θέτει υπό αμφισβήτηση την αυθόρμητη σχεδιαστική τάση που θέλει την αδιάλειπτη παρουσία του διδάσκοντα στο κάδρο, προκρίνοντας τη στρατηγική επιλογή της ορατότητάς του ανάλογα με τον μαθησιακό στόχο.

Στο πεδίο των Θετικών Επιστημών, η εφαρμογή της Αρχής της Εικόνας αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα λόγω της ανάγκης για αυστηρή εστίαση της προσοχής σε δυναμικές οπτικοποιήσεις υψηλής πυκνότητας, όπως οι μηχανισμοί οργανικών αντιδράσεων ή οι προσομοιώσεις σε υποατομικό επίπεδο (Johnstone's Triangle). Όπως υπογραμμίζουν οι Herrington και Sweeder (2025), όταν οι μαθητές/τριες καλούνται να κατανοήσουν αφηρημένα φαινόμενα (π.χ. τη μεταβολή μιας χημικής ισορροπίας), η ταυτόχρονη και διαρκής παρουσία του προσώπου του καθηγητή σε ένα ένθετο παράθυρο (picture-in-picture) προκαλεί οπτικό συνωστισμό (visual clutter). Η προσοχή διασπάται ανάμεσα στο πρόσωπο του ομιλητή και στη ροή των χημικών συμβόλων ή των μορίων, εμποδίζοντας την ενεργό γνωστική επεξεργασία του φαινομένου. Αντίθετα, η παιδαγωγική αποτελεσματικότητα μεγιστοποιείται όταν το πρόσωπο απομακρύνεται κατά τη διάρκεια της δυναμικής επίδειξης ή της επίλυσης προβλημάτων, αφήνοντας την ακουστική αφήγηση να καθοδηγήσει το βλέμμα του μαθητή (Brame, 2016; Agustian & Seery, 2017; Cresswell et al., 2019).

Ωστόσο, η ποιοτική αξιολόγηση υφιστάμενου ψηφιακού υλικού από ανοικτές πλατφόρμες όπως το YouTube και το TikTok αναδεικνύει μια ενδιαφέρουσα αντίφαση που απαιτεί κριτική προσέγγιση. Πολλά δημοφιλή εκπαιδευτικά βίντεο και υλικό επιστημονικής εκλαΐκευσης βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην έντονη και διαρκή ορατότητα του παρουσιαστή, καθώς αυτό αποτελεί βασικό στοιχείο της ταυτότητας του καναλιού (Lijo et al., 2024; Conde-Caballero et al., 2024; Smith, 2014). Ανάλυση δεδομένων βίντεο και μεγάλες εμπειρικές μελέτες, όπως των Guo, Kim και Rubin (2014), καταγράφουν ότι η παρουσία του προσώπου του εκπαιδευτικού αυξάνει σημαντικά τη συναισθηματική αφοσίωση, το αίσθημα οικειότητας και τον χρόνο διατήρησης της προσοχής των μαθητών/τριών (engagement) σε σύγκριση με βίντεο που δείχνουν μόνο στατικές διαφάνειες. Η ορατότητα του προσώπου ενισχύει την κοινωνική παρουσία (social presence) και την αυθεντικότητα της διδασκαλίας, λειτουργώντας ως ισχυρό εσωτερικό κίνητρο στην ασύγχρονη εξ αποστάσεως εκπαίδευση, ακόμη και αν δεν μεταφράζεται άμεσα σε υψηλότερη γνωστική επίδοση (Scagnoli et al., 2017; Lowenthal et al., 2020; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2020; Mohamed Taher & Öncü, 2026).

Συνθέτοντας τα παραπάνω δεδομένα, η σύγχρονη έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η Αρχή της Εικόνας δεν πρέπει να ερμηνεύεται δογματικά ως καθολική απαγόρευση της προβολής του εκπαιδευτικού, αλλά επιβάλλει τη στρατηγική και επιλεκτική χρήση της (strategic placement). Η παρουσία του προσώπου κρίνεται ιδιαίτερα

ωφέλιμη στην εισαγωγή (introduction) του βίντεο για τη θεμελίωση της κοινωνικής σχέσης και την υποδοχή των μαθητών/τριών, καθώς και κατά τις εννοιολογικές μεταβάσεις (transitions), όπου ο εκπαιδευτικός απευθύνεται άμεσα στο κοινό (Kay & Mann, 2022) (Beheshti et al., 2018). Αντίθετα, η εικόνα του καθηγητή πρέπει να αποκρύπτεται πλήρως όταν το βίντεο εισέρχεται σε φάσεις υψηλού συγγενικού φορτίου, όπως η παρουσίαση σύνθετων μαθηματικών/χημικών εξισώσεων ή η ανάλυση τυχαίων μεταβλητών, προκειμένου να προστατευθεί η μνήμη εργασίας των μαθητών/τριών (Kuhlmann et al., 2024; Abdelhamid & Katz, 2021). Αυτή η δυναμική εναλλαγή εξισορροπεί τις ανάγκες της διδασκαλίας με τους περιορισμούς της γνωστικής αρχιτεκτονικής του ανθρώπινου νου, αποτρέποντας παράλληλα το φαινόμενο της «αναστροφής της εμπειρογνωμοσύνης» σε διαφορετικά επίπεδα μαθητών/τριών (Gallardo-Williams et al., 2021; Fernández et al., 2023; Shoufan & Mohamed, 2022; Otchie et al., 2020).



Σχήμα 1.1 Διαγραμματική Απεικόνιση της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης (Cognitive Theory of Multimedia Learning - CTML) του Richard E. Mayer

1.4 Το Μοντέλο SECTIONS

Η ραγδαία εξέλιξη των ψηφιακών τεχνολογιών και η ολοένα αυξανόμενη ενσωμάτωση των πολυμέσων στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση καθιστούν την επιλογή του κατάλληλου εκπαιδευτικού μέσου μια σύνθετη παιδαγωγική πρόκληση (Παπαδημητρίου &

Σοφός, 2022). Ειδικότερα στις Θετικές Επιστήμες, όπου η κατανόηση αφηρημένων εννοιών (όπως τα χημικά φαινόμενα σε μοριακό επίπεδο) απαιτεί δυναμική οπτικοποίηση, η άκριτη χρήση ψηφιακών εργαλείων δεν εγγυάται τη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων (Mayer, 2009). Αντίθετα, η εκπαιδευτική τεχνολογία οφείλει να υπηρετεί σαφείς διδακτικούς στόχους και να προάγει τη γνωστική εμπλοκή. Στο πλαίσιο αυτό, το μοντέλο SECTIONS, που αναπτύχθηκε από τον Bates (2015), προσφέρει ένα ολοκληρωμένο, ερευνητικά τεκμηριωμένο πλαίσιο για την κριτική αξιολόγηση και επιλογή εκπαιδευτικών μέσων.

Το ακρωνύμιο SECTIONS αντιπροσωπεύει οκτώ θεμελιώδεις παραμέτρους: τους Μαθητές/τριες (Students), την Ευκολία χρήσης (Ease of use), το Κόστος (Costs), της Διδακτικές λειτουργίες (Teaching functions), τη Διαδραστικότητα (Interactivity), τα Οργανωτικά ζητήματα (Organizational issues), την Δικτύωση (Networking) και την Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα (Security and privacy). Η εστίαση στους μαθητές/τριες και την ευκολία χρήσης διασφαλίζει ότι η τεχνολογία λειτουργεί υποστηρικτικά, επιτρέποντας στον εκπαιδευόμενο να επικεντρωθεί στο αντικείμενο μελέτης. Παράλληλα, το κόστος και η ταχύτητα δεν αφορούν μόνο τους οικονομικούς πόρους, αλλά και τον χρόνο που απαιτείται για τον σχεδιασμό του υλικού. Για παράδειγμα, η αξιοποίηση ανοικτών πλατφορμών όπως το YouTube για τη διάδοση υλικού Θετικών Επιστημών (Lijo et al., 2024) ή η χρήση σύντομων, στοχευμένων εκπαιδευτικών βίντεο μειώνει τον χρόνο προετοιμασίας ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει την αφομοίωση της γνώσης (Hsin & Cigas, 2013).

Στον πυρήνα του μοντέλου βρίσκονται οι παράμετροι «Διδασκαλία και Μάθηση» και «Διαδραστικότητα». Στις Θετικές Επιστήμες, η χρήση πολυμέσων όπως τα βίντεο τύπου lightboard (Rojas, 2023) ή τα διαδραστικά βίντεο επίδειξης χημικών τεχνικών (Cresswell et al., 2019) ευθυγραμμίζεται απόλυτα με την ανάγκη μείωσης του εξωγενούς γνωστικού φορτίου (Brame, 2016). Η διαδραστικότητα, από την άλλη πλευρά, μετατρέπει την παθητική παρακολούθηση σε ενεργητική διαδικασία. Όπως διαπιστώνουν οι Giannakos et al. (2016), ο τρόπος με τον οποίο οι μαθητές/τριες αλληλεπιδρούν με το βίντεο συνδέεται άμεσα με τα επίπεδα εμπλοκής (engagement) τους, καθιστώντας απαραίτητο τον σχεδιασμό δραστηριοτήτων που απαιτούν αναστοχασμό και διερεύνηση.

Τέλος, τα οργανωτικά ζητήματα και η καινοτομία αναδεικνύουν την ανάγκη για νέες παιδαγωγικές προσεγγίσεις που υποστηρίζονται από τους εκπαιδευτικούς φορείς. Μια

τέτοια καινοτομία είναι η δημιουργία βίντεο από τους ίδιους τους εκπαιδευόμενους (student-generated videos). Η πρακτική αυτή μετασχηματίζει τον μαθητή από απλό καταναλωτή πληροφορίας σε δημιουργό περιεχομένου, ενισχύοντας σημαντικά την κατανόηση περίπλοκων εργαστηριακών εννοιών, όπως στην οργανική χημεία (Box et al., 2017). Το μοντέλο SECTIONS δεν αποτελεί απλώς μια τεχνική λίστα, αλλά έναν δυναμικό οδηγό. Η εφαρμογή του εξασφαλίζει ότι η τεχνολογία, η δυναμική οπτικοποίηση και η αφηγηματικότητα λειτουργούν συνδυαστικά για τη δημιουργία ενός αποδοτικού και παιδαγωγικά άρτιου εξ αποστάσεως περιβάλλοντος μάθησης στις Θετικές Επιστήμες.

1.4.1 Students (Μαθητές/τριες)

Η πρώτη και θεμελιώδης παράμετρος του μοντέλου SECTIONS, όπως διατυπώθηκε από τον Bates (2015), αφορά τους «Μαθητές/τριες» (Students). Η ορθολογική επιλογή και αξιοποίηση οποιουδήποτε εκπαιδευτικού μέσου, ιδιαίτερα στα σύγχρονα περιβάλλοντα εξ αποστάσεως εκπαίδευσης, οφείλει να εκκινεί από τη συστηματική χαρτογράφηση και κατανόηση του μαθησιακού κοινού. Τα χαρακτηριστικά αυτά εκτείνονται πέρα από τα στενά δημογραφικά στοιχεία και περιλαμβάνουν το επίπεδο του ψηφιακού γραμματισμού, την τεχνολογική υποδομή (όπως η χρήση κινητών συσκευών ή η ποιότητα της διαδικτυακής σύνδεσης), καθώς και τις προτιμήσεις ως προς τους τρόπους με τους οποίους οι εκπαιδευόμενοι προσεγγίζουν και οικοδομούν τη γνώση (Harrison, 2020). Ειδικότερα στο πλαίσιο των Θετικών Επιστημών, όπου η πολυπλοκότητα των θεωρητικών μοντέλων και η ανάγκη κατανόησης του μικρόκοσμου δημιουργούν εγγενείς δυσκολίες, η ενδεδειγμένη ανάλυση των μαθητικών αναγκών αποτελεί αδιαπραγμάτευτη προϋπόθεση για τον επιτυχή σχεδιασμό εκπαιδευτικών εργαλείων, όπως η δυναμική οπτικοποίηση και τα βίντεο.

Κεντρικός άξονας στην εξέταση της συγκεκριμένης παραμέτρου είναι η γνωστική ετοιμότητα και η διαχείριση της προϋπάρχουσας γνώσης των εκπαιδευομένων. Σύμφωνα με τους Kuhlmann et al. (2024), οι μαθητές/τριες συχνά δυσκολεύονται να εμπλακούν ουσιαστικά και να αντλήσουν βαθύτερο νόημα από τα εκπαιδευτικά βίντεο όταν ο σχεδιασμός τους δεν λαμβάνει υπόψη τους περιορισμούς της ανθρώπινης γνωστικής αρχιτεκτονικής. Κατά συνέπεια, η ανάπτυξη του εκπαιδευτικού υλικού πρέπει να εναρμονίζεται με τις αρχές της «μνήμης εργασίας», στοχεύοντας στην ελαχιστοποίηση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου (extraneous cognitive load), προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η αποτελεσματικότητα της μάθησης (Brame, 2016). Παράλληλα, πρέπει να αναγνωριστεί ότι η μάθηση είναι πρωτίστως μια βαθιά ατομική και αυτορρυθμιζόμενη διαδικασία. Οι μαθητές/τριες καλούνται να αξιολογήσουν τα δικά τους γνωστικά ελλείμματα και να αναζητήσουν στοχευμένα τις κατάλληλες πληροφορίες (Kerres, 2018), καθιστώντας απαραίτητη τη διαμόρφωση ευέλικτων εκπαιδευτικών πόρων που ενισχύουν την αυτονομία τους.

Εξίσου σημαντική είναι η διερεύνηση των στάσεων και των συνθηθειών θέασης των μαθητών/τριών απέναντι στα ψηφιακά μέσα. Ενώ συχνά επικρατεί η αντίληψη ότι η σύγχρονη γενιά (Net Generation) ανταποκρίνεται αυθόρμητα και ενεργητικά στα οπτικοακουστικά ερεθίσματα πλατφορμών όπως το YouTube (Mthembu & Roodt, 2017), τα ερευνητικά δεδομένα αποκαλύπτουν μια πιο σύνθετη πραγματικότητα. Ένα αξιοσημείωτο ποσοστό εκπαιδευομένων στην εξ αποστάσεως τριτοβάθμια εκπαίδευση ενδέχεται να μην παρακολουθεί συστηματικά τα διδακτικά βίντεο ή να τα προσεγγίζει με εντελώς παθητικό τρόπο (Harrison, 2020; Kuhlmann et al., 2024). Ως εκ τούτου, ο σχεδιασμός οφείλει να ενσωματώνει παιδαγωγικές στρατηγικές που στοχεύουν στη μετάβαση από την παθητική κατανάλωση πληροφορίας στην ενεργητική γνωστική εμπλοκή. Τέτοιες πρακτικές περιλαμβάνουν τον εμπλουτισμό των βίντεο με διαδραστικά στοιχεία ή ακόμη πιο ριζοσπαστικά, την ανάθεση της παραγωγής εκπαιδευτικών βίντεο στους ίδιους τους μαθητές/τριες (student-generated videos) ως μέσο αξιολόγησης και κατανόησης (Box et al., 2017). Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο σέβεται τους διαφορετικούς ρυθμούς μάθησης, αλλά εξοικειώνει τους εκπαιδευόμενους με τις ψηφιακές τεχνολογίες με τρόπο προσιτό, μετασχηματιστικό και ελκυστικό (Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

Εν κατακλείδι, η διεξοδική ανάλυση της παραμέτρου «Μαθητές/τριες» υπαγορεύει ρητά ότι η ενσωμάτωση της τεχνολογίας δεν πρέπει να καθοδηγείται από τις τεχνικές δυνατότητες του ίδιου του μέσου, αλλά από τις αναγνωρισμένες και διαφοροποιημένες ανάγκες του μαθητικού πληθυσμού. Ειδικότερα στον σχεδιασμό εκπαιδευτικού υλικού εξ αποστάσεως, η επιτυχής χρήση οπτικοακουστικών εργαλείων προϋποθέτει μια απολύτως μαθητοκεντρική προσέγγιση. Οι διδάσκοντες καλούνται να συνεκτιμούν τις ατομικές μαθησιακές διαφορές, το τεχνολογικό υπόβαθρο και τις προσδοκίες των μαθητών/τριών τους, εξασφαλίζοντας έτσι ισότιμη πρόσβαση στη γνώση, διατήρηση του υψηλού κινήτρου και, τελικά, την επίτευξη ουσιαστικών μαθησιακών αποτελεσμάτων.

1.4.2 Ease of Use (Ευκολία Χρήσης)

Η δεύτερη κρίσιμη παράμετρος του μοντέλου SECTIONS είναι η «Ευκολία Χρήσης» (Ease of Use). Σύμφωνα με τον Bates (2015), η εκπαιδευτική τεχνολογία πρέπει να είναι αξιόπιστη, διαισθητική και «διαφανής». Ο όρος διαφάνεια υποδηλώνει ότι το

τεχνολογικό μέσο δεν πρέπει να μονοπωλεί την προσοχή του χρήστη, αλλά να λειτουργεί αθόρυβα στο παρασκήνιο, επιτρέποντας την απόλυτη εστίαση στο γνωστικό αντικείμενο. Σε ένα εξ αποστάσεως περιβάλλον μάθησης, όπου η φυσική παρουσία και η άμεση τεχνική υποστήριξη απουσιάζουν, ένα πολύπλοκο ή δύσχρηστο ψηφιακό περιβάλλον μπορεί να λειτουργήσει ως ανυπέρβλητο εμπόδιο. Αυτό αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα στις Θετικές Επιστήμες, όπου η ίδια η φύση της πληροφορίας είναι εξαιρετικά απαιτητική. Εάν η πλοήγηση στο εκπαιδευτικό υλικό απαιτεί πρόσθετη νοητική προσπάθεια, αυξάνεται δραματικά το «εξωγενές γνωστικό φορτίο» (*extraneous cognitive load*), εις βάρος της ουσιαστικής επεξεργασίας και κατανόησης των επιστημονικών εννοιών (Brame, 2016; Mayer, 2009).

Η ευκολία χρήσης, ωστόσο, δεν αφορά αποκλειστικά τους εκπαιδευόμενους, αλλά επεκτείνεται και στους δημιουργούς του υλικού. Ο σχεδιασμός παιδαγωγικά άρτιου περιεχομένου, όπως η παραγωγή βίντεο με χρήση δυναμικής οπτικοποίησης, κινουμένων σχεδίων (*animations*) και γραφικών κίνησης (*motion graphics*) για την αναπαράσταση χημικών αντιδράσεων σε μοριακό επίπεδο, απαιτεί εξειδικευμένα εργαλεία. Οι εκπαιδευτικοί λειτουργούν πρωτίστως ως παιδαγωγοί και όχι ως προγραμματιστές ή επαγγελματίες παραγωγοί πολυμέσων. Επομένως, το λογισμικό ανάπτυξης του υλικού πρέπει να είναι προσιτό, με ομαλή καμπύλη εκμάθησης. Έρευνες δείχνουν ότι η χρήση οικείων, προσβάσιμων εργαλείων, όπως η βιντεοσκόπηση με έξυπνες κινητές συσκευές σε συνδυασμό με απλά λογισμικά επεξεργασίας, επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς να δημιουργήσουν υψηλής ποιότητας υλικό για εργαστηριακές τεχνικές, αποφεύγοντας τον τεχνικό εγκλωβισμό (Cresswell et al., 2019; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

Από την πλευρά των εκπαιδευόμενων, η «τεχνολογική αποδοχή» (*technology acceptance*) εξαρτάται άμεσα από τη φιλικότητα της διεπαφής - του περιβάλλοντος χρήσης (*interface*). Πλατφόρμες ευρείας κατανάλωσης, όπως το YouTube, υπερτερούν ακριβώς σε αυτό το σημείο: διαθέτουν μια εξαιρετικά οικεία δομή, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο προσαρμογής του μαθητή (Lijo et al., 2023). Αυτό επιτρέπει στον εκπαιδευόμενο να αξιοποιήσει άμεσα δυνατότητες όπως η παύση, η επανάληψη (*rewind*) και η προσαρμογή της ταχύτητας αναπαραγωγής, οι οποίες είναι θεμελιώδεις για τον αυτορρυθμιζόμενο ρυθμό μάθησης στις Θετικές Επιστήμες. Επιπλέον, όταν ενσωματώνονται διαδραστικά στοιχεία στα βίντεο (π.χ. αναδυόμενες ερωτήσεις αναστοχασμού), αυτά πρέπει να εμφανίζονται οργανικά μέσα στην αφήγηση του βίντεο, χωρίς να διακόπτουν απότομα τη ροή ή να

απαιτούν πολύπλοκους χειρισμούς που αποπροσανατολίζουν τον μαθητή (Giannakos et al., 2016).

Η Αρχή της Ευκολίας Χρήσης γίνεται ακόμη πιο επιτακτική κατά την εφαρμογή καινοτόμων παιδαγωγικών στρατηγικών, όπως η δημιουργία βίντεο από τους ίδιους τους μαθητές/τριες (student-generated videos). Όταν ζητείται από τους εκπαιδευόμενους να σχεδιάσουν, να οπτικοποιήσουν και να εξηγήσουν ένα χημικό φαινόμενο ή μια πειραματική διαδικασία, η προσοχή τους πρέπει να είναι στραμμένη αποκλειστικά στη μεταγνωστική διεργασία και την ακρίβεια της επιστημονικής αφήγησης (Box et al., 2017). Αν τα εργαλεία ψηφιακής αφήγησης (digital storytelling) και επεξεργασίας (μοντάζ) είναι περίπλοκα, ο τεχνικός φόρτος θα επισκιάσει τον διδακτικό στόχο, προκαλώντας απογοήτευση. Συνοψίζοντας, η επιτυχής ενσωμάτωση των τεχνολογιών οπτικοακουστικής έκφρασης στο μοντέλο SECTIONS προϋποθέτει εργαλεία των οποίων η χρηστικότητα θεωρείται δεδομένη. Μόνο τότε το μέσο παύει να αποτελεί εμπόδιο και μετασχηματίζεται σε έναν αόρατο αλλά πανίσχυρο αγωγό μετάδοσης και οικοδόμησης της επιστημονικής γνώσης.

1.4.3 Cost (Κόστος)

Η τρίτη παράμετρος του μοντέλου SECTIONS είναι το «Κόστος» (Costs). Όπως επισημαίνει ο Bates (2015), η αξιολόγηση του κόστους στην εκπαιδευτική τεχνολογία αποτελεί μια πολυδιάστατη διαδικασία, η οποία συχνά παρερμηνεύεται, καθώς περιορίζεται στενά στην αρχική δαπάνη για την αγορά υλικού (hardware) ή λογισμικού (software). Στο σύγχρονο εκπαιδευτικό περιβάλλον, και ιδιαίτερα στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση, το πραγματικό κόστος περιλαμβάνει κυρίως τις λειτουργικές δαπάνες, το κόστος υποδομής, την τεχνική υποστήριξη και, κυρίως, τον χρόνο του εκπαιδευτικού προσωπικού που απαιτείται για την ανάπτυξη, την επικαιροποίηση και τη διαχείριση του εκπαιδευτικού υλικού. Στο πλαίσιο των Θετικών Επιστημών, ο σχεδιασμός ποιοτικού οπτικοακουστικού υλικού, όπως η δυναμική οπτικοποίηση χημικών διεργασιών ή η δημιουργία κινουμένων σχεδίων για την αναπαράσταση του μοριακού κόσμου, συνεπάγεται μια σημαντική επένδυση σε χρόνο και πόρους, γεγονός που καθιστά τη συγκεκριμένη παράμετρο καθοριστική για τη βιωσιμότητα οποιουδήποτε εκπαιδευτικού εγχειρήματος.

Μια κρίσιμη διάκριση που εισάγεται κατά την ανάλυση του κόστους αφορά τη διαφορά μεταξύ του κόστους παραγωγής (production costs) και του κόστους διανομής ή φιλοξενίας (distribution and hosting costs). Παλαιότερα, η διανομή οπτικοακουστικού υλικού απαιτούσε ακριβές ιδιόκτητες υποδομές τεχνολογίας ή φυσικά μέσα. Σήμερα, η ανάδυση ανοικτών, δημόσιων πλατφορμών διαμοιρασμού βίντεο, με κυρίαρχο το YouTube, έχει σχεδόν εκμηδενίσει το κόστος διανομής και φιλοξενίας, προσφέροντας στις εκπαιδευτικές δομές μια δωρεάν και εξαιρετικά αξιόπιστη υποδομή (Lijo et al., 2024; Simo et al., 2010). Η δυνατότητα ενσωμάτωσης αυτών των βίντεο σε Συστήματα Διαχείρισης Μάθησης (LMS), όπως το Moodle, επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς φορείς να δημιουργούν πλούσια πολυμεσικά περιβάλλοντα χωρίς πρόσθετες οικονομικές επιβαρύνσεις για εύρος ζώνης (bandwidth) ή αποθηκευτικό χώρο, βελτιστοποιώντας έτσι τη σχέση κόστους-οφέλους (cost-benefit ratio).

Επιπρόσθετα, η οικονομική βιωσιμότητα της παραγωγής εκπαιδευτικού υλικού Θετικών Επιστημών συνδέεται άμεσα με τη «διάρκεια ζωής» (shelf-life) του περιεχομένου. Η υψηλή επένδυση σε χρόνο ή χρήμα για τη δημιουργία εξειδικευμένων και παιδαγωγικά άρτιων οπτικοποιήσεων μπορεί να δικαιολογηθεί απόλυτα όταν το υλικό καλύπτει θεμελιώδεις, αναλλοίωτες επιστημονικές αρχές και έννοιες που αποτελούν τον πυρήνα του προγράμματος σπουδών, εξασφαλίζοντας μακροπρόθεσμη εκπαιδευτική απόδοση (Asanpre et al., 2024). Για παράδειγμα, ένα βίντεο που επεξηγεί τους νόμους των αερίων, τους τύπους χημικών δεσμών ή βασικές εργαστηριακές τεχνικές στη Χημεία έχει μεγάλο εκπαιδευτικό ορίζοντα χρήσης, επιτρέποντας την επαναληπτική αξιοποίησή του από διαφορετικές σειρές μαθητών/τριών επί σειρά ετών, μειώνοντας έτσι δραστικά το μακροπρόθεσμο «κόστος ανά μαθητή».

Στον αντίποδα των παραγωγών υψηλού κόστους, η σύγχρονη βιβλιογραφία αναδεικνύει την αποτελεσματικότητα των μοντέλων παραγωγής χαμηλού κόστους (low-cost production). Η ευρεία διάδοση των έξυπνων κινητών συσκευών υψηλής ευκρίνειας και των δωρεάν ή οικονομικών λογισμικών επεξεργασίας επιτρέπει πλέον στους εκπαιδευτικούς να αναπτύσσουν εξαιρετικά στοχευμένα διδακτικά βίντεο (teacher-made videos) προσαρμοσμένα στις ακριβείς ανάγκες των μαθητών/τριών τους. Στο εργαστήριο, η λήψη βίντεο από πολλαπλές γωνίες θέασης με τη χρήση απλών κινητών τηλεφώνων έχει αποδειχθεί εξαιρετικά ακριβής και αποτελεσματική για τη διδασκαλία εργαστηριακών τεχνικών, αποφεύγοντας την ανάγκη για επαγγελματικά συνεργεία βιντεοσκόπησης

(Cresswell et al., 2019). Επιπλέον, η ανάθεση της παραγωγής βίντεο στους ίδιους τους μαθητές/τριες (student-generated videos) μεταφέρει το «κόστος» ανάπτυξης περιεχομένου σε μια δημιουργική, ενεργητική μαθησιακή δραστηριότητα, όπου η γνωστική εμπλοκή και η μεταγνωστική αξιολόγηση λειτουργούν ως το μέγιστο παιδαγωγικό κέρδος (Box et al., 2017). Η παράμετρος του κόστους στο μοντέλο SECTIONS υπαγορεύει μια στρατηγική ισορροπία: ο υπεύθυνος εκπαιδευτικού σχεδιασμού πρέπει να σταθμίζει τον απαιτούμενο χρόνο και τους διαθέσιμους πόρους, επιλέγοντας ευέλικτες, χαμηλού κόστους τεχνολογίες που δεν θυσιάζουν την παιδαγωγική ποιότητα, αλλά αντίθετα προάγουν την προσβασιμότητα και την ουσιαστική οικοδόμηση της γνώσης.

1.4.4 Teaching Functions (Διδακτικές Λειτουργίες)

Η τέταρτη και πολύ σημαντική παράμετρος του μοντέλου SECTIONS είναι οι Διδακτικές Λειτουργίες (teaching functions), την οποία συχνά προσεγγίζουμε και ως Διδασκαλία και Μάθηση (Teaching and Learning). Όπως υπογραμμίζει ο Bates (2015), η επιλογή ενός τεχνολογικού μέσου δεν πρέπει να εδράζεται στις εντυπωσιακές τεχνικές του προδιαγραφές, αλλά στις μοναδικές παιδαγωγικές του δυνατότητες (affordances) και στον βαθμό που αυτές εξυπηρετούν τους επιθυμητούς μαθησιακούς στόχους. Η εστίαση μετατοπίζεται από το ίδιο το μέσο στον τρόπο με τον οποίο αυτό υποστηρίζει συγκεκριμένες διδακτικές προσεγγίσεις. Στο πεδίο των Θετικών Επιστημών, η εκπαιδευτική πρόκληση είναι πολυεπίπεδη: ο διδάσκων καλείται να γεφυρώσει το μακροσκοπικό επίπεδο της εργαστηριακής παρατήρησης με το υποατομικό επίπεδο των μοριακών αλληλεπιδράσεων και το συμβολικό επίπεδο των χημικών εξισώσεων. Σε αυτό το εννοιολογικό τρίγωνο, η οπτικοακουστική τεχνολογία και τα εκπαιδευτικά βίντεο δεν λειτουργούν απλώς ως οπτικά βοηθήματα, αλλά ως αναντικατάστατοι γνωστικοί δίαυλοι που καθιστούν το αόρατο, ορατό.

Η Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης προσφέρει το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο για την αξιολόγηση της διδακτικής αποτελεσματικότητας αυτών των μέσων. Σύμφωνα με τον Mayer (2009), η μάθηση βελτιστοποιείται όταν οι πληροφορίες παρουσιάζονται συνδυαστικά μέσω οπτικών και ακουστικών καναλιών, υπό την αυστηρή προϋπόθεση ότι ο σχεδιασμός σέβεται τα όρια της ανθρώπινης μνήμης εργασίας. Οι διδακτικές λειτουργίες ενός βίντεο επομένως μεγιστοποιούνται όταν αξιοποιούνται

στρατηγικές όπως η «*τμηματοποίηση*» (*segmenting*) μιας πολύπλοκης χημικής αντίδρασης σε διακριτά βήματα, η «*σηματοδότηση*» (*signaling*) των κρίσιμων μορίων ή δεσμών και η αυστηρή αφαίρεση περιττών γραφικών στοιχείων (*weeding*) (Brame, 2016; Ibrahim et al., 2012). Μέσω της στοχευμένης δυναμικής οπτικοποίησης (*animations* και *motion graphics*), οι αφηρημένες χημικές έννοιες αποκτούν χωρική και χρονική υπόσταση, επιτρέποντας στους μαθητές/τριες να αναπτύξουν ακριβή νοητικά μοντέλα με μειωμένο εξωγενές γνωστικό φορτίο.

Ωστόσο, η υπέρτατη διδακτική λειτουργία ενός ψηφιακού μέσου δεν είναι η άρτια παρουσίαση της πληροφορίας, αλλά η υποστήριξη της ενεργητικής και διερευνητικής μάθησης. Η εκπαιδευτική έρευνα τονίζει ότι η απλή, παθητική θέαση ενός βίντεο συχνά οδηγεί σε επιφανειακή αφομοίωση (Kuhlmann et al., 2024). Η σύγχρονη εξ αποστάσεως εκπαίδευση επιτάσσει την ενσωμάτωση διαδραστικών στοιχείων, όπως ενσωματωμένα ερωτήματα, αναστοχαστικές παύσεις ή προσομοιώσεις εικονικών εργαστηρίων, τα οποία υποχρεώνουν τον μαθητή να αλληλεπιδράσει με το περιεχόμενο και να ελέγξει την κατανόησή του σε πραγματικό χρόνο (Giannakos et al., 2016). Ακόμη πιο ριζοσπαστικά, η δύναμη της τεχνολογίας ως διδακτικό εργαλείο αναδεικνύεται όταν η διαδικασία αντιστρέφεται και οι μαθητές/τριες αναλαμβάνουν τον ρόλο του δημιουργού περιεχομένου. Η πρακτική των βίντεο που δημιουργούνται από τους μαθητές/τριες (*student-generated videos*), όπου οι ίδιοι καλούνται να κινηματογραφήσουν, να σχολιάσουν και να εξηγήσουν επιστημονικά μια εργαστηριακή τεχνική (όπως συμβαίνει κατά κόρον στην οργανική χημεία), μετατρέπει την αξιολόγηση σε μια αυθεντική και δημιουργική πράξη μεταγνωστικής ανάπτυξης (Box et al., 2017).

Εν κατακλείδι, η εξέταση της παραμέτρου «Διδασκαλία και Μάθηση» αναδεικνύει την επιτακτική ανάγκη για απόλυτη ευθυγράμμιση μεταξύ του τεχνολογικού εργαλείου, του γνωστικού αντικειμένου και της επιλεγμένης διδακτικής μεθόδου. Ένα εκπαιδευτικό πολυμέσο θεωρείται επιτυχημένο μόνο εάν διευκολύνει δραστηριότητες που προάγουν την κριτική σκέψη, την επίλυση προβλημάτων και την επιστημονική συλλογιστική. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού-σχεδιαστή δεν περιορίζεται στην ψηφιοποίηση παραδοσιακών διαλέξεων, αλλά στην επιλογή εκείνων των διαδραστικών και οπτικοακουστικών εργαλείων που επεκτείνουν τα όρια της παιδαγωγικής πράξης, καθιστώντας το εξ αποστάσεως περιβάλλον εξίσου, αν όχι περισσότερο, πλούσιο και αναστοχαστικό με τη συμβατική σχολική τάξη.

1.4.5 Interaction (Αλληλεπίδραση)

Η πέμπτη παράμετρος του μοντέλου SECTIONS είναι η «Αλληλεπίδραση» (Interaction). Όπως επισημαίνει ο Bates (2015), η διαδραστικότητα στην εκπαιδευτική τεχνολογία διακρίνεται σε δύο βασικές μορφές: τη διαδραστικότητα με το περιεχόμενο (learning-by-content interaction) και την κοινωνική διαδραστικότητα (social interaction) μεταξύ μαθητών/τριών και εκπαιδευτικών ή μεταξύ των ίδιων των ομοτίμων. Στο πλαίσιο του σχεδιασμού εκπαιδευτικού υλικού για τις Θετικές Επιστήμες, η παράμετρος αυτή μετατοπίζει το ενδιαφέρον από την απλή, παθητική κατανάλωση πληροφοριών στην ενεργό νοητική επεξεργασία. Η στατική παρουσίαση επιστημονικών εννοιών ή η γραμμική παρακολούθηση μιας παραδοσιακής διάλεξης συχνά αποτυγχάνει να διατηρήσει την προσοχή των μαθητών/τριών στα σύγχρονα περιβάλλοντα εξ αποστάσεως εκπαίδευσης, καθιστώντας αναγκαία την ενσωμάτωση μέσων που προσφέρουν ευκαιρίες για άμεση αλληλεπίδραση, κριτική σκέψη και ανατροφοδότηση (Priyakanth et al., 2021).

Η σύγχρονη εκπαιδευτική έρευνα αναδεικνύει τη χρήση των διαδραστικών βίντεο ως ένα εξαιρετικά αποτελεσματικό μέσο για την καταπολέμηση της παθητικότητας και την κατακόρυφη αύξηση της εμπλοκής (engagement) των εκπαιδευομένων. Η ενσωμάτωση διαδραστικών στοιχείων, όπως αναδυόμενα κουίζ (quiz-based interactions), ενεργά σημεία επιλογής (clickable hotspots) και σενάρια διακλάδωσης (branching scenarios), επιφέρει σημαντική αύξηση στους ρυθμούς αλληλεπίδρασης και στους χρόνους θέασης του υλικού. Όταν το ψηφιακό περιεχόμενο εμπλουτίζεται με τέτοιου είδους «έξυπνες» αλληλεπιδράσεις, συχνά μέσω ανοικτών εργαλείων όπως το H5P ενσωματωμένο σε Συστήματα Διαχείρισης Μάθησης (LMS) όπως το Moodle, ο μαθητής μετατρέπεται από παθητικός δέκτης σε ενεργό συμμετέχο, ο οποίος υποχρεούται να ολοκληρώσει μια δραστηριότητα για να προχωρήσει η ροή του μαθήματος (Giannakos et al., 2016). Αυτή η συνεχής γνωστική διέγερση συνδέεται άμεσα με τη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων και την οικοδόμηση της γνώσης.

Από παιδαγωγική σκοπιά, η διαδραστικότητα με το περιεχόμενο αποτελεί τη βάση για την ανάπτυξη ανώτερων γνωστικών δεξιοτήτων (κατά Bloom). Οι ενσωματωμένες ερωτήσεις και οι αναστοχαστικές παύσεις αναγκάζουν τον μαθητή να σταματήσει, να

αναλύσει τις πληροφορίες που μόλις έλαβε και να σκεφτεί δημιουργικά ή κριτικά πριν απαντήσει (Gedera & Zalipour 2018). Στη διδασκαλία της Χημείας και των υπόλοιπων Θετικών Επιστημών, η διαδραστικότητα αυτή μπορεί να λάβει τη μορφή εικονικών εργαστηρίων (virtual laboratories) ή διαδραστικών βίντεο επίδειξης χημικών τεχνικών (Cresswell et al., 2019). Σε αυτά τα περιβάλλοντα, οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να πειραματιστούν με ασφάλεια, να μεταβάλουν μεταβλητές, να αντιμετωπίσουν υποθέσεις σφαλμάτων και να λάβουν άμεση, διαμορφωτική ανατροφοδότηση (formative feedback). Αυτή η δυναμική προσέγγιση επιτρέπει τη σύνδεση της θεωρητικής έννοιας με την πρακτική της εφαρμογή, ενισχύοντας τις μεταγνωστικές δεξιότητες των μαθητών/τριών.

Παράλληλα, το μοντέλο SECTIONS υπογραμμίζει τη σημασία της κοινωνικής διαδραστικότητας που μπορεί να διευκολύνει ή να εμποδίσει ένα μέσο. Στο ψηφιακό περιβάλλον, η μάθηση μεγιστοποιείται όταν οι μαθητές/τριες περνούν από την απλή ενεργητική δράση στην εποικοδομητική και, τελικά, στη διαδραστική συνεργασία με τους συμμαθητές/τριες τους (Chi et al., 2018). Όταν οι εκπαιδευτικοί αξιοποιούν πλατφόρμες όπως το YouTube, η διαδραστικότητα δεν περιορίζεται στη θέαση, αλλά επεκτείνεται στον σχολιασμό, στη συζήτηση εντός των φόρουμ και στην κοινή επίλυση προβλημάτων. Δραστηριότητες όπως η ομαδική κατασκευή εννοιολογικών χαρτών (concept maps) με βάση ένα εκπαιδευτικό βίντεο ή η ανταλλαγή σχολίων και ανατροφοδότησης από ομοτίμους (peer feedback) προσδίδουν κοινωνική διάσταση στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση. Συμπερασματικά, η εξέταση της παραμέτρου «Διαδραστικότητα» αποδεικνύει ότι τα επιλεγμένα μέσα πρέπει να ευνοούν τεχνολογίες που προάγουν τον συνεχή διάλογο του μαθητή τόσο με το γνωστικό περιεχόμενο όσο και με την υπόλοιπη εκπαιδευτική κοινότητα, μετατρέποντας την εξ αποστάσεως διδασκαλία σε μια ζωντανή, συνεργατική και αναστοχαστική εμπειρία.

1.4.6 Organizational Issues (Οργανωτικά Θέματα)

Η έκτη παράμετρος του μοντέλου SECTIONS, τα «Οργανωτικά Ζητήματα» (Organizational Issues), μετατοπίζει το πρίσμα της ανάλυσης από τα χαρακτηριστικά του ίδιου του τεχνολογικού εργαλείου στο ευρύτερο θεσμικό και διοικητικό περιβάλλον εντός του οποίου αυτό καλείται να λειτουργήσει. Σύμφωνα με τον Bates (2015), ακόμη και εάν

ένα εκπαιδευτικό μέσο είναι παιδαγωγικά άρτιο, φιλικό προς τον χρήστη και οικονομικά προσιτό, η ενσωμάτωσή του είναι καταδικασμένη σε αποτυχία εάν δεν υποστηρίζεται από την οργανωτική δομή και κουλτούρα του εκπαιδευτικού ιδρύματος. Στο απαιτητικό πλαίσιο των Θετικών Επιστημών, όπου συχνά απαιτείται η χρήση προηγμένων συστημάτων δυναμικής οπτικοποίησης ή εικονικών εργαστηρίων για την κατανόηση περίπλοκων χημικών και φυσικών φαινομένων, η ύπαρξη μιας σταθερής, κεντρικά υποστηριζόμενης ψηφιακής υποδομής (όπως ένα Σύστημα Διαχείρισης Μάθησης - LMS) αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης.

Κεντρικό ζήτημα σε αυτή την παράμετρο αποτελεί ο σαφής διαχωρισμός των ρόλων μεταξύ της παιδαγωγικής καθοδήγησης και της τεχνικής υλοποίησης. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι αμιγώς παιδαγωγικός· εστιάζει στον διδακτικό σχεδιασμό, τη διευκόλυνση της μάθησης και την αξιολόγηση των μαθητών/τριών, και δεν νοείται να συγχέεται με τον ρόλο του τεχνικού υποστήριξης ή του προγραμματιστή εφαρμογών. Για να μπορέσει ένας εκπαιδευτικός να ενσωματώσει καινοτόμες πρακτικές, όπως τα διαδραστικά βίντεο ή η καθοδήγηση των μαθητών/τριών στη δημιουργία δικού τους οπτικοακουστικού υλικού (student-generated videos), ο εκπαιδευτικός οργανισμός οφείλει να παρέχει άμεση τεχνική αρωγή (helpdesk), τυποποιημένες διαδικασίες και αξιόπιστο εξοπλισμό (Simo et al., 2010). Εάν ο διδάσκων αναλώνει τον χρόνο του στην επίλυση τεχνικών προβλημάτων, η εκπαιδευτική διαδικασία αποδυναμώνεται και ο κίνδυνος επαγγελματικής εξουθένωσης (burnout) αυξάνεται ραγδαία.

Επιπλέον, τα οργανωτικά ζητήματα υπαγορεύουν την ανάγκη για συστηματική επαγγελματική ανάπτυξη (professional development) και συνεχή επιμόρφωση των εκπαιδευτικών. Οι Παπαδημητρίου και Σοφός (2022) υπογραμμίζουν ότι η ψηφιακή ετοιμότητα των εκπαιδευτικών δεν προκύπτει αυθόρμητα, αλλά καλλιεργείται μέσω θεσμοθετημένων δράσεων. Ο εκπαιδευτικός φορέας πρέπει να ενθαρρύνει τη δημιουργία «κοινοτήτων πρακτικής» (communities of practice) εντός του σχολικού ή ακαδημαϊκού περιβάλλοντος, όπου οι διδάσκοντες μπορούν να ανταλλάσσουν καλές πρακτικές, εκπαιδευτικά βίντεο και τεχνογνωσία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα οργανωτικής προσαρμοστικότητας είναι η ενθάρρυνση από τα ιδρύματα να αξιοποιούνται δημόσιες πλατφόρμες όπως το YouTube, παρακάμπτοντας τα εμπόδια φιλοξενίας δεδομένων στους ιδρυματικούς διακομιστές, εφόσον φυσικά διασφαλίζονται τα πνευματικά δικαιώματα και τα προσωπικά δεδομένα των μαθητών/τριών (Lijo et al., 2024).

Η επιτυχής λειτουργία ενός ψηφιακού μέσου προϋποθέτει μια βαθιά οργανωτική αναδιάρθρωση. Η διοίκηση των σχολικών μονάδων και των πανεπιστημίων πρέπει να ευθυγραμμίσει το εκπαιδευτικό όραμα με τις υλικοτεχνικές παροχές. Όταν ένας οργανισμός προσφέρει τον απαραίτητο χώρο, χρόνο και τεχνική διασφάλιση, οι εκπαιδευτικοί απελευθερώνονται από τους λειτουργικούς περιορισμούς και μπορούν να επικεντρωθούν απρόσκοπτα στο ουσιαστικό τους έργο: τον σχεδιασμό πλούσιων, διαδραστικών και εννοιολογικά άρτιων μαθησιακών εμπειριών που μετασχηματίζουν τη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών στην ψηφιακή εποχή.

1.4.7 Networking (Δικτύωση)

Στο σύγχρονο ψηφιακό οικοσύστημα, η παράμετρος της «Δικτύωσης» (Networking) αναδεικνύεται σε μια εξαιρετικά ζωτική διάσταση κατά την αξιολόγηση και επιλογή εκπαιδευτικών μέσων μέσω του μοντέλου SECTIONS. Αν και στην αρχική του διατύπωση το γράμμα 'N' αντιπροσώπευε την Καινοτομία (Novelty) (Bates, 2015), η εξέλιξη των Μέσων Κοινωνικής Δικτύωσης – 2^η και 3^η γενιά του Παγκόσμιου Ιστού επιτάσσει την επέκταση του όρου ώστε να περιλάβει τη δυνατότητα ενός μέσου να συνδέει τους εκπαιδευόμενους μεταξύ τους, με τον εκπαιδευτικό, καθώς και με ευρύτερες παγκόσμιες κοινότητες πρακτικής και μάθησης. Στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση των Θετικών Επιστημών, η δικτύωση μετατοπίζει το παιδαγωγικό παράδειγμα από την απομονωμένη μελέτη στατικών συγγραμμάτων στη δυναμική, συνεργατική οικοδόμηση της γνώσης, όπου οι ψηφιακές πλατφόρμες λειτουργούν ως ανοικτά κανάλια επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης.

Κεντρικό ρόλο σε αυτή την κατεύθυνση διαδραματίζει η ενσωμάτωση των δημοφιλών μέσων κοινωνικής δικτύωσης στις εκπαιδευτικές στρατηγικές, γεγονός που έχει αλλάξει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο οι νέες γενιές φοιτητών/τριών και μαθητών/τριών προσεγγίζουν τη μάθηση (Kaplan & Haenlein, 2016). Πλατφόρμες που αρχικά σχεδιάστηκαν για ψυχαγωγικούς σκοπούς, όπως το TikTok και το YouTube, επαναπροσδιορίζονται πλέον ως ισχυρά δίκτυα άτυπης και τυπικής εκπαίδευσης. Η ανάδυση της «μικρομάθησης» (microlearning) μέσω σύντομων, στοχευμένων εκπαιδευτικών βίντεο σε αυτά τα δίκτυα επιτρέπει την άμεση πρόσβαση στη γνώση, ενισχύοντας την αυτονομία του εκπαιδευομένου και την κριτική του σκέψη (Conde-

Caballero et al., 2019). Η δυνατότητα των χρηστών να αλληλεπιδρούν μέσω σχολίων, να διαμοιράζονται περιεχόμενο και να συμμετέχουν σε κοινότητες (π.χ. εκπαιδευτικά hashtags ή video clubs) μετατρέπει τη μάθηση σε μια κοινωνικά δικτυωμένη εμπειρία, καταρρίπτοντας τα γεωγραφικά και θεσμικά εμπόδια των παραδοσιακών τάξεων.

Ειδικότερα στο πεδίο των Θετικών Επιστημών, η παράμετρος της δικτύωσης συνδέεται άμεσα με τη διπλή λειτουργία των εκπαιδευτικών μέσων: τη διδασκαλία και την επιστημονική διάχυση (dissemination). Όπως επισημαίνουν οι Lijo et al. (2024), η δημιουργία και ο διαμοιρασμός οπτικοακουστικού υλικού σε ανοικτά δίκτυα όπως το YouTube δεν εξυπηρετεί μόνο τις ανάγκες ενός συγκεκριμένου πανεπιστημιακού μαθήματος ή μιας σχολικής τάξης, αλλά τροφοδοτεί ένα παγκόσμιο δίκτυο ελεύθερης πρόσβασης. Οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να πλοηγηθούν σε κανάλια εξειδικευμένων δημιουργών (edutubers), να συγκρίνουν διαφορετικές επεξηγήσεις για το ίδιο χημικό φαινόμενο ή την ίδια εργαστηριακή τεχνική, και να συμμετάσχουν σε διεθνή φόρουμ συζητήσεων. Αυτή η δικτυακή προσέγγιση ενισχύει τη μεταγνωστική τους ανάπτυξη, καθώς τους φέρνει σε επαφή με ποικίλες επιστημονικές οπτικές γωνίες και αυθεντικά προβλήματα του πραγματικού κόσμου.

Η εξέταση της παραμέτρου «Δικτύωση» στο μοντέλο SECTIONS υπαγορεύει ότι η επιλογή της εκπαιδευτικής τεχνολογίας πρέπει να ευνοεί μέσα που υποστηρίζουν την εξωστρέφεια, τη συνδεσιμότητα και την ανοικτότητα. Οι υπεύθυνοι εκπαιδευτικού σχεδιασμού δεν πρέπει να αντιμετωπίζουν τα ψηφιακά εργαλεία ως απομονωμένες νησίδες πληροφοριών, αλλά ως κόμβους ενός ευρύτερου δικτύου μάθησης. Όταν το εκπαιδευτικό υλικό αναπτύσσεται με γνώμονα τη δικτυακή του δυναμική —συνδέοντας τη σχολική γνώση με τα Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης και την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα, η εξ αποστάσεως εκπαίδευση Θετικών Επιστημών αποκτά αυθεντικό νόημα, καλλιεργώντας στους εκπαιδευόμενους τις δεξιότητες του 21ου αιώνα και την ανάγκη για δια βίου μάθηση.

1.4.8 Security and Privacy (Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα)

Η τελική παράμετρος του ακρωνυμίου SECTIONS αφορά την «Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα» (Security and Privacy), μια διάσταση που αντικατέστησε ή ενσωματώθηκε στην αρχική παράμετρο της «Ταχύτητας» (Speed), αντανakλώντας τις σύγχρονες

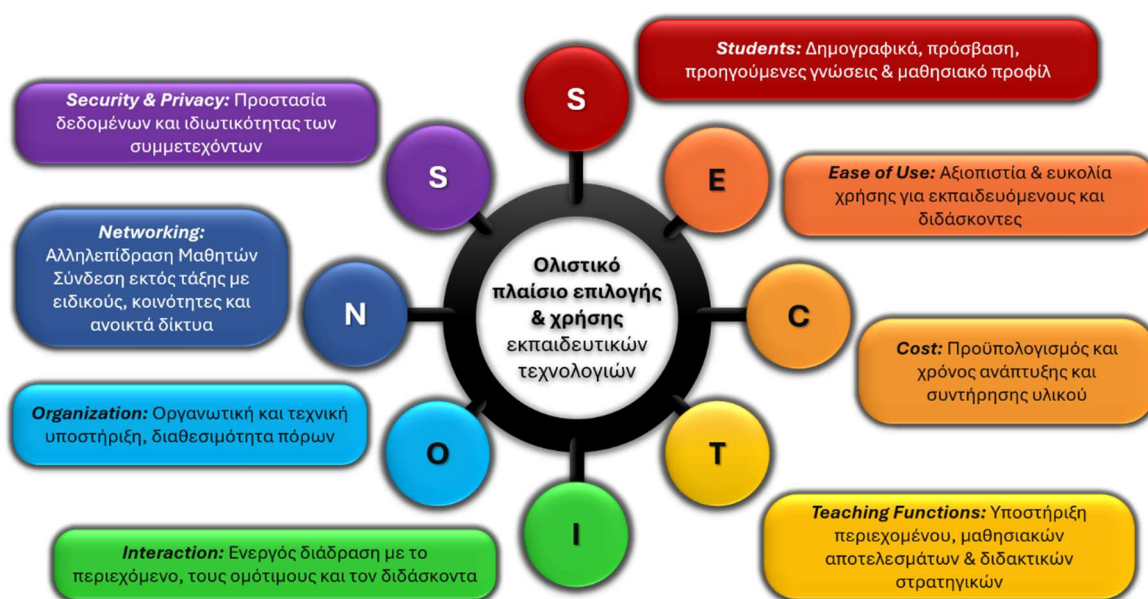
προκλήσεις της ψηφιακής εποχής (Bates, 2015). Η ραγδαία στροφή προς τα υπολογιστικά νέφη (cloud computing) και η εκτεταμένη χρήση ανοικτών κοινωνικών δικτύων για εκπαιδευτικούς σκοπούς καθιστούν την προστασία των προσωπικών δεδομένων κεντρικό πυλώνα του διδακτικού σχεδιασμού. Στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση, τα ψηφιακά ίχνη των μαθητών/τριών, όπως στην ανάλυση των μαθησιακών δεδομένων, ο χρόνος παρακολούθησης των βίντεο και οι αλληλεπιδράσεις τους με το ψηφιακό υλικό καταγράφονται συνεχώς. Μολονότι τα δεδομένα αυτά προσφέρουν πολύτιμη ανατροφοδότηση στον εκπαιδευτικό για τον βαθμό εμπλοκής των εκπαιδευομένων (Giannakos et al., 2016), η συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία τους εγείρει κρίσιμα νομικά και ηθικά ζητήματα, επιβάλλοντας την αυστηρή συμμόρφωση με θεσμικά πλαίσια (π.χ. GDPR) και τις πολιτικές ασφαλείας των ακαδημαϊκών ιδρυμάτων.

Ιδιαίτερη έμφαση απαιτείται κατά την εφαρμογή καινοτόμων παιδαγωγικών στρατηγικών, όπως η παραγωγή βίντεο από τους ίδιους τους μαθητές/τριες (student-generated videos), η οποία συναντάται ευρέως στα εργαστήρια Θετικών Επιστημών. Όταν οι φοιτητές καλούνται να βιντεοσκοπήσουν τον εαυτό τους εκτελώντας μια εργαστηριακή τεχνική ή αναλύοντας ένα πείραμα (Box et al., 2017), εκθέτουν βιομετρικά δεδομένα (εικόνα, φωνή) και πνευματική εργασία. Η ανάρτηση αυτού του υλικού σε ανοικτές πλατφόρμες όπως το YouTube ή το TikTok ελλοχεύει κινδύνους απώλειας ελέγχου της ιδιωτικότητας. Για την άμβλυνση αυτών των κινδύνων, η Παπαδημητρίου και ο Σοφός (2022) προκρίνουν τον ψηφιακό γραμματισμό των συμμετεχόντων και την αξιοποίηση κλειστών συστημάτων διαχείρισης μάθησης των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων ή σχολείων ή εναλλακτικά τη χρήση ρυθμίσεων ιδιωτικότητας (π.χ. «μη καταχωρισμένα» βίντεο), διασφαλίζοντας ότι η μαθησιακή διαδικασία παραμένει ένας ασφαλής χώρος πειραματισμού και έκφρασης.

Παράλληλα, η διάσταση της ασφάλειας αγγίζει και τα ζητήματα πνευματικής ιδιοκτησίας (copyrights) και ακαδημαϊκής ακεραιότητας, τόσο για τους εκπαιδευόμενους όσο και για τους διδάσκοντες. Ένας εκπαιδευτικός που επενδύει πολύτιμο χρόνο στη δημιουργία διδακτικών βίντεο με χρήση δυναμικής οπτικοποίησης και λογισμικών προσομοίωσης πρέπει να διασφαλίζει τα δικαιώματα της πνευματικής του δημιουργίας, ιδίως όταν το υλικό διαμοιράζεται ανοικτά σε δίκτυα για την επιστημονική διάχυση του Θετικών Επιστημών (Lijo et al., 2024). Ταυτόχρονα, η ενσωμάτωση γραφικών, μουσικής ή εικόνων τρίτων δημιουργών στα εκπαιδευτικά βίντεο οφείλει να υπακούει στους κανόνες

της θεμιτής χρήσης (fair use) και της ανοικτής αδειοδότησης (όπως οι άδειες Creative Commons), προάγοντας μια κουλτούρα νομικής και ηθικής υπευθυνότητας.

Η ενσωμάτωση της παραμέτρου «Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα» λειτουργεί ως ο τελικός ρυθμιστικός έλεγχος του μοντέλου SECTIONS, ολοκληρώνοντας την ολιστική αξιολόγηση των εκπαιδευτικών μέσων. Καθιστά σαφές ότι η ανοιχτότητα, η διαδραστικότητα και η δυναμική του Web 2.0 δεν επιτρέπεται να επιτυγχάνονται εις βάρος της ιδιωτικής σφαίρας του μαθητή. Μόνο μέσω της ισορροπίας μεταξύ της τεχνολογικής καινοτομίας και της αυστηρής ψηφιακής ηθικής μπορεί ένα εξ αποστάσεως περιβάλλον να οικοδομήσει σχέσεις εμπιστοσύνης, επιτρέποντας στα ψηφιακά εργαλεία να μεγιστοποιήσουν την παιδαγωγική τους αξία χωρίς να υπονομεύουν την ασφάλεια των χρηστών τους.



Σχήμα 1.2 Διαγραμματική Απεικόνιση του μοντέλου SECTIONS του Bates.

1.5 Η Δυναμική του Βίντεο στην εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση

1.5.1 Η Παιδαγωγική Αξία του Βίντεο στην εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση

Οι παιδαγωγικές δυνατότητες του εκπαιδευτικού βίντεο στο πλαίσιο της σύγχρονης εξ αποστάσεως εκπαίδευσης είναι πολυδιάστατες και αγγίζουν τόσο τη γνωστική όσο και τη συναισθηματική σφαίρα του μαθητή. Μία από τις σημαντικότερες δυνατότητες του

μέσου είναι η ικανότητά του να οπτικοποιεί εξαιρετικά αφηρημένες, μικροσκοπικές / υποατομικές ή μακροσκοπικές έννοιες που είναι αδύνατον να παρατηρηθούν με γυμνό μάτι. Στο πεδίο των Θετικών Επιστημών, για παράδειγμα, η δυναμική αναπαράσταση ενός χημικού δεσμού, η κίνηση των μορίων σε ένα αέριο ή η εξέλιξη ενός φυσικού φαινομένου μέσω τρισδιάστατων γραφικών και κινουμένων σχεδίων επιτρέπει στους μαθητές/τριες να διαμορφώσουν ακριβή νοητικά είδωλα (Lijo et al., 2024). Αυτή η οπτικοποίηση μειώνει τις παρανοήσεις και τις εναλλακτικές ιδέες που συχνά αναπτύσσουν οι μαθητές/τριες όταν έρχονται σε επαφή μόνο με στατικά σχολικά εγχειρίδια.

Το βίντεο προσφέρει μια ασφαλή και οικονομικά βιώσιμη εναλλακτική λύση για την παρουσίαση εργαστηριακών πειραμάτων. Σε συνθήκες ψηφιακής και εξ αποστάσεως εκπαίδευσης, όπου η πρόσβαση στο φυσικό σχολικό εργαστήριο μπορεί να είναι περιορισμένη ή ανέφικτη, η προβολή βίντεο που απεικονίζουν πειραματικές διαδικασίες επιτρέπει στους μαθητές/τριες να έρθουν σε επαφή με την επιστημονική μεθοδολογία (Cresswell et al., 2020). Η χρήση αυτή προστατεύει τους μαθητές/τριες από τους κινδύνους που ενέχει η διαχείριση επικίνδυνων χημικών αντιδραστηρίων χωρίς άμεση επίβλεψη, ενώ παράλληλα επιτρέπει την παρακολούθηση πειραμάτων που απαιτούν εξαιρετικά ακριβό ή μη διαθέσιμο επιστημονικό εξοπλισμό, όπως φασματογράφοι ή διατάξεις υψηλής τεχνολογίας (Lijo et al., 2024). Μέσα από τη λήψη κοντινών πλάνων και τη χρήση πολλαπλών γωνιών κινηματογράφησης, οι μαθητές/τριες αποκτούν μια σαφή και λεπτομερή εικόνα των πειραματικών τεχνικών (Cresswell et al., 2020).

Σε επίπεδο αυτονομίας, το εκπαιδευτικό βίντεο μεταφέρει τον έλεγχο της μαθησιακής διαδικασίας απευθείας στα χέρια του μαθητή, μια παράμετρος που θεωρείται θεμελιώδης για την επιτυχία στα σύγχρονα περιβάλλοντα μάθησης (Kay & Mann, 2022). Η δυνατότητα παύσης, επαναφοράς και επανάληψης του βίντεο επιτρέπει στους μαθητές/τριες να ρυθμίζουν τον ρυθμό αφομοίωσης της πληροφορίας ανάλογα με το προσωπικό τους γνωστικό προφίλ (Beheshti, 2018). Μαθητές/τριες που αντιμετωπίζουν δυσκολίες κατανόησης ή παρουσιάζουν διαφορετικούς ρυθμούς μάθησης μπορούν να παρακολουθήσουν μια σύνθετη επεξήγηση όσες φορές επιθυμούν, χωρίς το αίσθημα της κοινωνικής πίεσης ή της ντροπής που ενδέχεται να βιώσουν μέσα στην παραδοσιακή τάξη. Αυτή η εξατομίκευση της μελέτης ενισχύει την αυτοπεποίθηση των μαθητών/τριών και προάγει τις δεξιότητες αυτορρυθμιζόμενης μάθησης (Beheshti, 2018).

Όταν εξετάζεται το βίντεο, δεν πρέπει να παραβλέπεται η συναισθηματική και παρακινητική αξία του οπτικοακουστικού υλικού. Το βίντεο διαθέτει μια εγγενή ελκυστικότητα για τη σύγχρονη γενιά των μαθητών/τριών, οι οποίοι είναι πλήρως εξοικειωμένοι με την κατανάλωση ψηφιακού περιεχομένου (Smith, 2013). Η χρήση αφηγηματικών τεχνικών, η ρεαλιστική πλαίσισωση και η σύνδεση της επιστήμης με καθημερινά φαινόμενα λειτουργούν ως ισχυρά εσωτερικά κίνητρα για τους μαθητές/τριες (Otchie et al., , 2020). Έχει διαπιστωθεί ότι η ενσωμάτωση ποιοτικών βίντεο συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του ακαδημαϊκού άγχους και στην καταπολέμηση αρνητικών προκαταλήψεων, όπως ο φόβος για τις Θετικές Επιστήμες (Lijo et al., 2024). Όταν ένας/μία μαθητής/τρια αντιλαμβάνεται ότι η επιστήμη δεν είναι μια στείρα απομνημόνευση αλλά μια ζωντανή διαδικασία που εξηγεί τον κόσμο γύρω του, η στάση του απέναντι στο μάθημα μεταβάλλεται ριζικά, γεγονός που αντανακλάται θετικά και στις τελικές επιδόσεις (Otchie et al., 2020).

Η απλή παροχή συνδέσμων βίντεο στους μαθητές/τριες κατά την εξ αποστάσεως εκπαίδευση, βέβαια, δεν εγγυάται από μόνη της την κατανόηση εις βάθος. Η πραγματική αξία του εργαλείου αναδεικνύεται όταν αυτό εντάσσεται μέσα σε ένα σαφώς δομημένο και καινοτόμο παιδαγωγικό πλαίσιο, με κυριότερο παράδειγμα το μοντέλο της Ανεστραμμένης Τάξης (Large et al., 2000). Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, η παραδοσιακή δομή της διδασκαλίας αντιστρέφεται πλήρως. Η μετάδοση της νέας πληροφορίας και η άμεση διδασκαλία μεταφέρονται εκτός του κοινού σχολικού χώρου και πραγματοποιούνται στον ατομικό χρόνο του μαθητή μέσω της μελέτης σύντομων, εξειδικευμένων εκπαιδευτικών βίντεο (Seery, 2015). Με τον τρόπο αυτό, ο πολύτιμος και περιορισμένος χρόνος της σύγχρονης τηλεεκπαίδευσης απελευθερώνεται από την παθητική διάλεξη και μετατρέπεται σε ένα δυναμικό, διαδραστικό περιβάλλον μάθησης (Reid 2016).

Κατά τη διάρκεια των σύγχρονων εξ αποστάσεως συναντήσεων, ο εκπαιδευτικός δεν αναλώνεται στην επανάληψη της θεωρίας, αλλά λειτουργεί ως καθοδηγητής και διευκολυντής, οργανώνοντας δραστηριότητες ανώτερης γνωστικής βαθμίδας (Bates, 2019). Οι μαθητές/τριες, έχοντας ήδη αποκτήσει το βασικό υπόβαθρο από το βίντεο, εμπλέκονται σε διαδικασίες κριτικής σκέψης, επίλυσης σύνθετων ασκήσεων, συζήτησης αντεπιχειρημάτων και συνεργατικής μάθησης (Large et al., 2000). Το μοντέλο αυτό ενισχύει την ενεργό συμμετοχή και επιτρέπει στον εκπαιδευτικό να παρέχει άμεση, εξατομικευμένη ανατροφοδότηση και να αντιμετωπίζει στοχευμένα τις παρανοήσεις των

μαθητών/τριών, βελτιώνοντας σημαντικά τα μαθησιακά αποτελέσματα και μετατρέποντας την εκπαιδευτική διαδικασία σε μια βαθιά μαθητοκεντρική εμπειρία.

Μια άλλη σημαντική εξέλιξη στη χρήση του μέσου είναι η μετάβαση από το παθητικό εκπαιδευτικό βίντεο στο διαδραστικό βίντεο, η οποία επιτυγχάνεται μέσω ψηφιακών εργαλείων. Τα εργαλεία αυτά επιτρέπουν στον εκπαιδευτικό να ενσωματώνει ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, σύντομα κουίζ, δημοσκοπήσεις και επεξηγηματικές σημειώσεις απευθείας πάνω στη ροή του βίντεο (Cresswell et al., 2020). Η προσθήκη αυτών των στοιχείων αλλάζει ριζικά τη συμπεριφορά του μαθητή, καθώς διακόπτει την παθητική παρακολούθηση και απαιτεί τη συνεχή νοητική του εγρήγορση. Ο μαθητής δεν μπορεί απλώς να αφήσει το βίντεο να παίζει στο παρασκήνιο, αλλά πρέπει να ανακαλέσει τη γνώση που μόλις παρουσιάστηκε, να απαντήσει στην ερώτηση και να λάβει άμεση ανατροφοδότηση για την ορθότητα της σκέψης του (Cresswell et al., 2020). Έρευνες δείχνουν ότι τα διαδραστικά βίντεο οδηγούν σε σημαντικά υψηλότερα ποσοστά αλληλεπίδρασης, μεγαλύτερο χρόνο παρακολούθησης και αισθητή βελτίωση στις τελικές επιδόσεις των μαθητών/τριών σε σχέση με τα συμβατικά, γραμμικά βίντεο.

Στο υψηλότερο επίπεδο του εποικοδομισμού συναντάται η στρατηγική των Βίντεο Παραγόμενων από τους ίδιους τους μαθητές/τριες (Fernández et al., 2001). Στο πλαίσιο αυτό, οι μαθητές/τριες παύουν να είναι απλοί καταναλωτές ψηφιακού υλικού και μετατρέπονται σε ενεργούς δημιουργούς. Ο εκπαιδευτικός αναθέτει στους μαθητές/τριες, είτε ατομικά είτε σε μικρές ομάδες, να δημιουργήσουν ένα σύντομο βίντεο προκειμένου να εξηγήσουν έναν επιστημονικό νόμο, να παρουσιάσουν μια μαθηματική διαδικασία ή να αναλύσουν ένα φαινόμενο (Smith., 2013). Η διαδικασία αυτή απαιτεί την ενεργοποίηση ανώτερων μεταγνωστικών δεξιοτήτων. Για να δημιουργήσουν το βίντεο, οι μαθητές/τριες πρέπει να κατανοήσουν βαθιά το περιεχόμενο, να συγγράψουν ένα σαφές σενάριο, να σχεδιάσουν την οπτική παρουσίαση και να επιλέξουν τα κατάλληλα μέσα (Fernández et al., 2001). Η κοινοποίηση αυτών των βίντεο σε ψηφιακούς συνεργατικούς τοίχους (π.χ. στο padlet) δημιουργεί μια ζωντανή διαδικτυακή κοινότητα μάθησης, όπου οι μαθητές/τριες αξιολογούν ομότιμα τις εργασίες των συμμαθητών/τριών τους, αναπτύσσουν δεξιότητες ψηφιακού γραμματισμού και βιώνουν τη χαρά της δημιουργίας, ενισχύοντας την εσωτερική τους παρακίνηση.

Παρά τα αδιαμφισβήτητα πλεονεκτήματα, μια αντικειμενική και ισορροπημένη ακαδημαϊκή προσέγγιση επιβάλλει την εξέταση των σημαντικών προκλήσεων και

περιορισμών που συνοδεύουν την ενσωμάτωση του βίντεο στη σύγχρονη εκπαίδευση. Η πρώτη μεγάλη πρόκληση αφορά τον κίνδυνο της γνωστικής υπερφόρτωσης όταν τα βίντεο δεν σχεδιάζονται με βάση τις προαναφερθείσες πολυμεσικές αρχές (Mayer, 2009). Πολλά εκπαιδευτικά βίντεο που είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο χαρακτηρίζονται από υπερβολική πληροφορία, γρήγορο ρυθμό παρουσίασης, κακή ποιότητα ήχου ή ενοχλητικά οπτικά εφέ, στοιχεία που εξαντλούν τους περιορισμένους πόρους της «μνήμης εργασίας» των μαθητών/τριών και οδηγούν σε απογοήτευση (Brame, 2016). Επιπλέον, υφίσταται πάντοτε το ψηφιακό χάσμα και οι κοινωνικοοικονομικές ανισότητες, καθώς η πρόσβαση σε ποιοτικό οπτικοακουστικό υλικό προϋποθέτει σταθερή σύνδεση υψηλής ταχύτητας στο διαδίκτυο και σύγχρονες ηλεκτρονικές συσκευές, στοιχεία που δεν είναι αυτονόητα για όλους τους μαθητές/τριες.

Μια άλλη κρίσιμη παράμετρος είναι η διάκριση ανάμεσα στα βίντεο επικοινωνίας της επιστήμης και στα καθαρά εκπαιδευτικά βίντεο (Lijo et al., 2024). Οι σύγχρονες ψηφιακές πλατφόρμες κατακλύζονται από βίντεο εκλαϊκευμένης επιστήμης, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλή δημοφιλία, εντυπωσιακά γραφικά και γρήγορο ρυθμό στο μοντάζ. Ωστόσο, οι εκπαιδευτικοί πρέπει να είναι εξαιρετικά προσεκτικοί κατά την επιλογή τους, καθώς η υψηλή δημοφιλία ή ο ψυχαγωγικός χαρακτήρας ενός βίντεο δεν συνεπάγεται αυτόματα και παιδαγωγική αποτελεσματικότητα (Lijo et al., 2024). Πολλά από αυτά τα βίντεο λειτουργούν ως απομονωμένα κομμάτια πληροφορίας που ικανοποιούν την επιφανειακή περιέργεια, αλλά στερούνται της απαραίτητης εννοιολογικής βάσης, της αυστηρής ευθυγράμμισης με τα αναλυτικά προγράμματα σπουδών (ΑΠΣ) και της γνωστικής εμβάθυνσης που απαιτείται για την επίτευξη των αντίστοιχων μαθησιακών στόχων του ΑΠΣ της τάξης. Η επιλογή του οπτικοακουστικού υλικού απαιτεί, επομένως, αυστηρά ερευνητικά κριτήρια και συστηματική αξιολόγηση από την πλευρά του δασκάλου.

Οι δυσκολίες αυτές αναδεικνύουν τον αναντικατάστατο ρόλο του εκπαιδευτικού, ο οποίος σε καμία περίπτωση δεν υποκαθίσταται από την τεχνολογία, αλλά αναβαθμίζεται σε αρχιτέκτονα του ψηφιακού μαθησιακού περιβάλλοντος (Reid, 2016). Η παραγωγή ή η επιμέλεια εκπαιδευτικών βίντεο αποτελεί μια σύνθετη και εξαιρετικά χρονοβόρα διαδικασία που απαιτεί από τον εκπαιδευτικό όχι μόνο βαθιά γνώση του αντικειμένου του, αλλά και υψηλό επίπεδο ψηφιακού και οπτικοακουστικού γραμματισμού (Reid, 2016). Πολλοί μάχιμοι εκπαιδευτικοί αντιμετωπίζουν σοβαρά εμπόδια, όπως η έλλειψη κατάλληλου λογισμικού και υλικού, η χαμηλή αυτοπεποίθηση στις τεχνικές δεξιότητες

επεξεργασίας βίντεο και ο περιορισμένος χρόνος εργασίας. Για τον λόγο αυτό, είναι απολύτως αναγκαία η θεσμική υποστήριξη των εκπαιδευτικών μέσα από οργανωμένα προγράμματα επιμόρφωσης, τη δημιουργία οδηγών περιεχομένου και την παροχή έτοιμων, ανοικτών και αξιολογημένων ψηφιακών αποθετηρίων, ώστε να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητά τους και να διασφαλιστεί η ποιοτική ενσωμάτωση των οπτικοακουστικών μέσων στη σχολική πράξη.

1.5.2 Η Σημασία της Οπτικοποίησης στις Θετικές Επιστήμες

Στο πλαίσιο της σύγχρονης εκπαίδευσης, η διδασκαλία των γνωστικών αντικειμένων που συνθέτουν το πεδίο των Θετικών Επιστημών έρχεται αντιμέτωπη με σημαντικές προκλήσεις, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με τη φθίνουσα τάση του ενδιαφέροντος των μαθητών/τριών και τη δυσκολία κατανόησης εννοιών υψηλού βαθμού αφαιρετικότητας (Otchie et al., 2020). Παραδοσιακά, τα μαθήματα αυτά βασίζονταν σε μια προσέγγιση κεντραρισμένη σε θεωρίες, μαθηματικούς τύπους και στατικές αναπαραστάσεις των σχολικών εγχειριδίων, γεγονός που συχνά δημιουργούσε ένα χάσμα ανάμεσα στην επιστημονική γνώση και την ικανότητα των μαθητών/τριών να τη συνδέσουν με τον πραγματικό κόσμο (Kay & Mann 2022). Η σύγχρονη παιδαγωγική υπογραμμίζει ότι η αποτελεσματική εκπαίδευση στις Θετικές Επιστήμες απαιτεί τη μετάβαση από την παθητική απομνημόνευση στην ενεργό διερεύνηση, όπου η οπτικοποίηση (visualization) διαδραματίζει καταλυτικό ρόλο ως βοηθητική και διδακτική γέφυρα (Lijo et al., 2024).

Η οπτικοποίηση δεν αποτελεί απλώς ένα συμπληρωματικό εργαλείο ή μια διακοσμητική προσθήκη στη διδακτική διαδικασία, αλλά συνιστά μια θεμελιώδη γνωστική λειτουργία που επιτρέπει την εξωτερική αναπαράσταση εσωτερικών νοητικών μοντέλων. Μέσω της χρήσης δυναμικών οπτικών μέσων, όπως οι προσομοιώσεις, τα animations, τα διαδραστικά βίντεο και τα τρισδιάστατα γραφικά, οι μαθητές/τριες αποκτούν τη δυνατότητα να «δουν» διαδικασίες και φαινόμενα που υπό φυσικές συνθήκες είναι αόρατα (Cresswell, 2020). Αυτή η οπτική προσέγγιση είναι ζωτικής σημασίας για τη σχολική εκπαίδευση, καθώς βοηθά στη διατήρηση της προσοχής, στην καλλιέργεια της επιστημονικής φαντασίας και στην ανάπτυξη φυσικών στάσεων απέναντι στα αντικείμενα των Θετικών Επιστημών, περιορίζοντας φαινόμενα όπως η φοβία για την επιστήμη ή το άγχος των μαθηματικών

(Smith, 2013). Η παρούσα εργασία αναλύει σε βάθος τη σημασία της οπτικοποίησης στις Θετικές Επιστήμες, εξετάζοντας τα θεωρητικά μοντέλα που τεκμηριώνουν την αξία της, τον τρόπο με τον οποίο μετασχηματίζει την κατανόηση του μικρόκοσμου και του μακρόκοσμου, καθώς και τις προϋποθέσεις για την ορθή παιδαγωγική της αξιοποίηση.

Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα της οπτικοποίησης περιορίζεται αυστηρά από τη χωρητικότητα της μνήμης των θεατών. Κατά τη μελέτη σύνθετων επιστημονικών εννοιών, οι μαθητές/τριες έρχονται αντιμέτωποι με υψηλό εγγενές γνωστικό φορτίο λόγω της πολυπλοκότητας των δεδομένων. Εάν η οπτική παρουσίαση είναι κακώς σχεδιασμένη, περιλαμβάνει περιττά γραφικά ή ασύνδετα στοιχεία, δημιουργείται εξωγενές γνωστικό φορτίο που παρεμποδίζει τη μάθηση (Brame, 2016). Αντίθετα, μια στρατηγικά δομημένη οπτικοποίηση, η οποία ακολουθεί τις αρχές της συνοχής, της σηματοδότησης και της χρονικής εγγύτητας, μειώνει την περιττή νοητική προσπάθεια και απελευθερώνει γνωστικούς πόρους για το σχετικό φορτίο, το οποίο είναι απαραίτητο για τη βαθιά εννοιολογική κατανόηση και την ενεργό επεξεργασία (Mayer, 2009). Έτσι, η οπτικοποίηση λειτουργεί ως ένας εξωτερικός γνωστικός υποστηρικτικός μηχανισμός (cognitive scaffold) που βοηθά στη διαχείριση της περιορισμένης ανθρώπινης μνήμης.

Στις Θετικές Επιστήμες, και ιδιαίτερα στη Χημεία και τη Φυσική, η γνώση δομείται σε τρία διαφορετικά επίπεδα αναπαράστασης: το μακροσκοπικό (φαινόμενα που παρατηρούνται άμεσα στην καθημερινή ζωή), το μικροσκοπικό ή υποατομικό (άτομα, μόρια, ιόντα και υποατομικά σωματίδια) και το συμβολικό (χημικές εξισώσεις, μαθηματικοί τύποι, γραφήματα) (Fernández et al., 2023). Η μεγαλύτερη δυσκολία για τους μαθητές/τριες εντοπίζεται στην αδυναμία τους να συνδέσουν αυτά τα τρία επίπεδα, καθώς καλούνται συχνά να ερμηνεύσουν μακροσκοπικά φαινόμενα χρησιμοποιώντας αφηρημένα σύμβολα, χωρίς να έχουν σαφή εικόνα για το τι συμβαίνει σε σωματιδιακό επίπεδο (Otchie et al., 2020). Η δυναμική οπτικοποίηση προσφέρει τη λύση σε αυτό το πρόβλημα, καθώς επιτρέπει την άμεση προσομοίωση και κίνηση του μικρόκοσμου.

Όταν οι μαθητές/τριες παρακολουθούν animations ή αλληλεπιδρούν με ψηφιακά μοντέλα που αναπαριστούν, για παράδειγμα, τη διάλυση ενός κρυστάλλου άλατος στο νερό, τη μεταφορά θερμότητας σε ένα στερεό ή την κίνηση των ηλεκτρονίων σε ένα κύκλωμα, μετατρέπουν τις αφηρημένες θεωρίες σε συγκεκριμένες οπτικές εμπειρίες (Lijo et al., 2024). Η διαδικασία αυτή συμβάλλει καθοριστικά στην αποδόμηση των εναλλακτικών ιδεών και των παρανοήσεων, οι οποίες τείνουν να παγιώνονται όταν η διδασκαλία παραμένει

αποκλειστικά λεκτική ή στατική. Η οπτικοποίηση επιτρέπει στον μαθητή να αναπτύξει ένα λειτουργικό εσωτερικό νοητικό μοντέλο, το οποίο μπορεί στη συνέχεια να ανακαλέσει και να εφαρμόσει για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων ή την ερμηνεία νέων επιστημονικών φαινομένων (Kuhlmann et al., 2024).

Η εξέλιξη των ΤΠΕ έχει προσφέρει στην εκπαιδευτική κοινότητα μια ευρεία συλλογή εργαλείων που απογειώνουν τις δυνατότητες της οπτικοποίησης. Τα εκπαιδευτικά βίντεο, οι διαδραστικές προσομοιώσεις (όπως το PhET Interactive Simulations) και τα λογισμικά whiteboard animation αποτελούν πλέον αναπόσπαστα στοιχεία της σύγχρονης διδακτικής των Θετικών Επιστημών (Taher & Öncü, 2026). Τα μέσα αυτά επιτρέπουν τη δημιουργία περιβαλλόντων όπου ο μαθητής μπορεί να πειραματιστεί με ασφάλεια, να μεταβάλει μεγέθη (π.χ. πίεση, θερμοκρασία, συγκέντρωση) και να παρατηρήσει άμεσα το οπτικό αποτέλεσμα των επιλογών του, ενισχύοντας την ανακαλυπτική μάθηση (Bruner, 1960; Beheshti et al., 2018).

Ειδικότερα στη σχολική εκπαίδευση, όπου οι ώρες διδασκαλίας είναι περιορισμένες και η πρόσβαση σε εξειδικευμένο εργαστηριακό εξοπλισμό μπορεί να είναι ανέφικτη, η οπτικοποίηση μέσω ψηφιακών μέσων προσφέρει μια εξαιρετική εναλλακτική λύση. Επιτρέπει την παρουσίαση επικίνδυνων, εξαιρετικά γρήγορων ή ακριβών πειραμάτων, διασφαλίζοντας την ασφάλεια των μαθητών/τριών και μειώνοντας το κόστος (Cresswell et al., 2020). Μέσα από τεχνικές όπως η επιβράδυνση του χρόνου (slow motion), τα κοντινά πλάνα και τα διαγράμματα που επικαλύπτουν τη φυσική εικόνα, οι μαθητές/τριες αποκτούν μια καθαρή εικόνα της επιστημονικής μεθοδολογίας, η οποία συχνά υπερτερεί σε σαφήνεια έναντι μιας παραδοσιακής επίδειξης στον πίνακα της τάξης (Lijo et al., 2024). Επιπλέον, η ενσωμάτωση διαδραστικών στοιχείων (όπως clickable hotspots και ενσωματωμένα κουίζ) μετατρέπει την οπτικοποίηση από μια παθητική θεατρική εμπειρία σε μια δυναμική διαδικασία ενεργού γνωστικής εμπλοκής (Cresswell et al., 2020).

Οι περιορισμοί αυτοί αναδεικνύουν τον κρίσιμο και αναντικατάστατο ρόλο του εκπαιδευτικού, ο οποίος λειτουργεί ως διαμεσολαβητής και αρχιτέκτονας οπτικού γραμματισμού (Papadimitriou & Sofos, 2022). Ο εκπαιδευτικός οφείλει να επιλέγει, να αξιολογεί και να πλαισιώνει το οπτικό υλικό με βάση αυστηρά παιδαγωγικά κριτήρια, διασφαλίζοντας την ευθυγράμμισή του με τους διδακτικούς στόχους (Lijo et al., 2024). Επιπλέον, κατά τη δημιουργία εκπαιδευτικών βίντεο, είναι απαραίτητο να καθοδηγεί το βλέμμα των μαθητών/τριών μέσω της σηματοδότησης και να ενσωματώνει κατάλληλες

γνωστικές προτροπές (learning prompts) που αναγκάζουν τον μαθητή να αναλογιστεί αυτό που βλέπει (Kuhlmann et al., 2024). Η ανάπτυξη του οπτικοακουστικού και ψηφιακού γραμματισμού των ίδιων των εκπαιδευτικών αποτελεί βασική προϋπόθεση, η οποία απαιτεί συνεχή θεσμική επιμόρφωση και υποστήριξη, ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του σύγχρονου σχολείου στην ψηφιακή εποχή (Papadimitriou & Sofos, 2022).

Η οπτικοποίηση αποτελεί έναν από τους ισχυρότερους πυλώνες για την αναβάθμιση της διδασκαλίας των Θετικών Επιστημών στη σύγχρονη σχολική πραγματικότητα. Όπως αναλύθηκε, η σημασία της εκτείνεται πέρα από την απλή οπτική αναπαράσταση, καθώς παρεμβαίνει άμεσα στις γνωστικές διεργασίες του μαθητή, διευκολύνει τη διαχείριση του γνωστικού φορτίου και επιτρέπει τη νοητική σύνδεση ανάμεσα στον άορατο μικρόκοσμο και τα συμβολικά συστήματα (Mayer, 2009). Η αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων και η υιοθέτηση μαθητοκεντρικών προσεγγίσεων παραγωγής υλικού μετατρέπουν τις Θετικές Επιστήμες σε ένα ζωντανό, ελκυστικό και προσβάσιμο πεδίο για όλους τους μαθητές/τριες, καλλιεργώντας δεξιότητες που είναι απαραίτητες για τον εικοστό πρώτο αιώνα (Fernández et al., 2023).

Για το μέλλον, είναι αναγκαίο η εκπαιδευτική έρευνα να εστιάσει στη δημιουργία ακόμη πιο ολοκληρωμένων και προσβάσιμων ψηφιακών αποθετηρίων οπτικοποίησης, προσαρμοσμένων στα σχολικά αναλυτικά προγράμματα (Bates, 2019). Παράλληλα, η επένδυση στην ανάπτυξη της αποτελεσματικότητας των εκπαιδευτικών σε ψηφιακά περιβάλλοντα και η εξάλειψη των τεχνολογικών ανισοτήτων μεταξύ των σχολικών μονάδων αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για τη διασφάλιση της ισότιμης συμμετοχής όλων των μαθητών/τριών. Μόνο μέσα από έναν συνειδητό, επιστημονικά τεκμηριωμένο και παιδαγωγικά ορθό σχεδιασμό μπορεί η οπτικοποίηση να ξεδιπλώσει το πλήρες δυναμικό της, μεταμορφώνοντας τη σχολική τάξη σε ένα περιβάλλον ουσιαστικής, βαθιάς και βιώσιμης οικοδόμησης της επιστημονικής γνώσης (Papadimitriou & Sofos, 2022).

1.5.3 Το YouTube και τα Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης ως Μέσα Επικοινωνίας της Επιστήμης

Στη σύγχρονη κοινωνία της πληροφορίας, η επικοινωνία της επιστήμης (science communication) και η διάχυση της επιστημονικής γνώσης (scientific dissemination)

υφίστανται έναν ριζικό μετασχηματισμό, ο οποίος καθοδηγείται από τη ραγδαία εξέλιξη των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας και την κυριαρχία του Web 2.0 (Allchin, 2017). Παραδοσιακά, η μεταφορά της επιστημονικής γνώσης από την ακαδημαϊκή κοινότητα προς το ευρύ κοινό πραγματοποιούνταν μέσα από γραμμικά και αυστηρά ελεγχόμενα κανάλια, όπως τα έντυπα εκλαϊκευμένα περιοδικά, τα βιβλία, τις εγκυκλοπαίδειες, τα μεγάλα μουσεία φυσικής ιστορίας και τις τηλεοπτικές ή ραδιοφωνικές εκπομπές επιστημονικού περιεχομένου (Beheshti et al., 2018). Αν και τα μέσα αυτά προσέφεραν υψηλά επίπεδα εγκυρότητας, χαρακτηρίζονταν από μια μονοδιάστατη, κάθετη ροή πληροφορίας, όπου ο δέκτης παρέμενε ένας παθητικός καταναλωτής, χωρίς δυνατότητα άμεσης αλληλεπίδρασης, σχολιασμού ή ανατροφοδότησης.

Η εμφάνιση και η καθολική επικράτηση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης, όπως η πλατφόρμα του YouTube, καθώς και νεότερων εφαρμογών όπως το TikTok, ανέτρεψαν πλήρως αυτό το παραδοσιακό ιεραρχικό μοντέλο, «εκδημοκρατίζοντας» την πρόσβαση στην επιστήμη (Fiallos, 2021). Σήμερα, η επικοινωνία της επιστήμης δεν περιορίζεται στα στενά όρια των πανεπιστημιακών αμφιθεάτρων ή των εξειδικευμένων επιστημονικών εντύπων, αλλά διαχέεται ελεύθερα σε παγκόσμιο επίπεδο, επιτρέποντας σε ερευνητές, εκπαιδευτικούς αλλά και ανεξάρτητους δημιουργούς περιεχομένου να απευθυνθούν άμεσα σε ένα διεθνές και εξαιρετικά ανομοιογενές ακροατήριο (Smith, 2013). Αυτή η μετάβαση δημιουργεί ένα νέο ψηφιακό οικοσύστημα «άτυπης μάθησης κατ' απαίτηση» (*informal learning on demand*), όπου οι χρήστες αναζητούν οπτικοακουστικό υλικό για να ικανοποιήσουν την προσωπική τους περιέργεια, να επιλύσουν μαθησιακές απορίες ή να κατανοήσουν σύνθετα φαινόμενα της καθημερινότητάς τους (Kohler & Dietrich, 2021). Το εκπαιδευτικό βίντεο και οι ψηφιακές αναπαραστάσεις αναδεικνύονται έτσι σε κεντρικούς πυλώνες αυτής της νέας πραγματικότητας, προσφέροντας πρωτόγνωρες ευκαιρίες αλλά και θέτοντας σοβαρές προκλήσεις αναφορικά με την ποιότητα, την παιδαγωγική καταλληλότητα και την εγκυρότητα της διαμοιραζόμενης πληροφορίας.

Το YouTube αποτελεί σήμερα τη δεύτερη σε επισκεψιμότητα ιστοσελίδα στον πλανήτη, έχοντας εξελιχθεί σε μια γιγαντιαία ελεύθερη βιβλιοθήκη γνώσης και ένα ισχυρό εναλλακτικό περιβάλλον εκπαίδευσης (Taher & Öncü, 2026). Η επιτυχία της πλατφόρμας ως μέσου επικοινωνίας της επιστήμης βασίζεται στην εγγενή ικανότητά της να συνδυάζει τον οπτικοακουστικό λόγο με τη διαδραστικότητα και την κοινωνική δικτύωση. Μέσα από τη δράση επιτυχημένων δημιουργών, γνωστών στη διεθνή βιβλιογραφία ως 'Edutubers',

σύνθετα επιστημονικά όπως η Κβαντική Φυσική, η Οργανική Χημεία, η Μοριακή Βιολογία και τα Ανώτερα Μαθηματικά μετασχηματίζονται σε εξαιρετικά ελκυστικά και κατανοητά ψηφιακά αφηγήματα (Pattier, 2021). Οι δημιουργοί αυτοί αξιοποιούν προηγμένες τεχνικές κινηματογράφησης, τρισδιάστατα γραφικά (3D animations), ιστορίες επιστημονικής φαντασίας και χιούμορ, καταφέρνοντας να προσελκύσουν εκατομμύρια συνδρομητές και να ανατρέψουν την παλαιά αντίληψη ότι οι Θετικές Επιστήμες είναι ανιαρές ή απρόσιτες (Otchie et al., 2020).

Από γνωστική άποψη, η αποτελεσματικότητα των βίντεο του YouTube εξηγείται μέσω της ενεργοποίησης πολλαπλών αισθήσεων των χρηστών. Ο συνδυασμός δυναμικής εικόνας, προφορικής αφήγησης και γραφικών επιτρέπει τη διπλή κωδικοποίηση της πληροφορίας στον ανθρώπινο εγκέφαλο, διευκολύνοντας τη μακροπρόθεσμη οικοδόμηση βαθύτερων νοητικών σχημάτων (Mayer, 2009). Επιπλέον, η πλατφόρμα υποστηρίζει την «κατά απαίτηση» προβολή (on demand / just-in-time learning), επιτρέποντας στους χρήστες να ελέγχουν πλήρως τη ροή, να επαναλαμβάνουν δύσκολα αποσπάσματα και να προσαρμόζουν τη μελέτη στους δικούς τους ρυθμούς (Brame, 2016). Αυτή η ευελιξία καθιστά το YouTube ένα πολύτιμο συμπληρωματικό εργαλείο και για την επίσημη σχολική εκπαίδευση, καθώς οι μαθητές/τριες καταφεύγουν συστηματικά σε αυτό για να προετοιμαστούν για τις εξετάσεις τους ή να κατανοήσουν έννοιες που δεν αφομοίωσαν πλήρως μέσα στη σχολική αίθουσα (Rahmatika et al., 2021). Η αλληλεπίδραση που προσφέρει η πλατφόρμα μέσω των κοινοποιήσεων, των likes και των σχολίων επιτρέπει τη δημιουργία παγκόσμιων ψηφιακών κοινοτήτων, όπου οι χρήστες μπορούν να θέσουν ερωτήματα, να συζητήσουν επιστημονικά αντεπιχειρήματα και να συνδιαμορφώσουν τη γνώση (Dubovi & Tabak, 2020).

Τα τελευταία χρόνια, το τοπίο των μέσων κοινωνικής δικτύωσης έχει υποστεί μια νέα δομική αλλαγή με τη ραγδαία άνοδο πλατφορμών σύντομης μορφής (short-form video), με κυριότερο εκπρόσωπο το TikTok, καθώς και τις αντίστοιχες λειτουργίες YouTube Shorts και Instagram Reels (Fiallos, 2021). Η τάση αυτή εισάγει την έννοια της μικρομάθησης (microlearning) στην επικοινωνία της επιστήμης, όπου η πληροφορία πρέπει να συμπυκνωθεί, να απλοποιηθεί και να παρουσιαστεί μέσα σε ένα εξαιρετικά περιορισμένο χρονικό πλαίσιο, που κυμαίνεται από λίγα δευτερόλεπτα έως ελάχιστα λεπτά. Αν και αρχικά το TikTok θεωρήθηκε μια πλατφόρμα αποκλειστικά ψυχαγωγικού χαρακτήρα για τη νεολαία, πλέον φιλοξενεί τεράστιες εκπαιδευτικές εκστρατείες (όπως το #LearnOnTikTok),

συγκεντρώνοντας δισεκατομμύρια προβολές σε βίντεο που σχετίζονται με τα πεδία των Θετικών Επιστημών (Lijo, et al. 2024).

Η δυναμική του TikTok ως μέσου διάχυσης επιστημονικού περιεχομένου έγκειται στην αμεσότητα, την αυθεντικότητα και την ταχύτητα μετάδοσης του μηνύματος. Οι επιστήμονες και οι εκπαιδευτικοί που χρησιμοποιούν την πλατφόρμα αναγκάζονται να αποβάλουν την ακαδημαϊκή ξύλινη γλώσσα και να εστιάσουν στην ουσία του φαινομένου, χρησιμοποιώντας έξυπνα οπτικά εφέ, γρήγορο μοντάζ, μουσική υπόκρουση και κείμενο επί της οθόνης (Fiallos, 2021). Η προσέγγιση αυτή είναι εξαιρετικά αποτελεσματική για την προσέγγιση των νεότερων ηλικιακά ομάδων, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μικρότερο εύρος προσοχής και προτιμούν την άμεση, οπτική και δυναμική πληροφορία. Το σύντομο βίντεο λειτουργεί ως ένα ισχυρό έναυσμα (trigger) που κεντρίζει την περιέργεια του χρήστη, παρακινώντας τον να αναζητήσει στη συνέχεια περισσότερες και βαθύτερες πληροφορίες σε εκτενέστερες πηγές ή βιβλιογραφικές αναφορές, γεφυρώνοντας έτσι το χάσμα ανάμεσα στην καθημερινή ψηφιακή ζωή και την επιστημονική ανακάλυψη.

Από ακαδημαϊκή άποψη, είναι απολύτως αναγκαίο να γίνει μια σαφής διάκριση ανάμεσα στα καθαρά εκπαιδευτικά βίντεο (educational videos) και στα βίντεο επιστημονικής διάχυσης ή εκλαΐκευσης (dissemination videos), καθώς ανταποκρίνονται σε διαφορετικές ανάγκες και διέπονται από διαφορετική παιδαγωγική στοχοθεσία (Lijo et al., 2024). Τα εκπαιδευτικά βίντεο σχεδιάζονται με βάση συγκεκριμένα αναλυτικά προγράμματα σπουδών και έχουν ως πρωτεύοντα στόχο την επίτευξη σαφών μαθησιακών αποτελεσμάτων, τη διδασκαλία συγκεκριμένων μεθοδολογιών ή την προετοιμασία των μαθητών/τριών για εργαστηριακές ασκήσεις (Gallardo-Williams et al., 2021). Η δομή τους είναι συνήθως γραμμική, συστηματική και δίνει ιδιαίτερη προσοχή στη διαχείριση του «γνωστικού φορτίου», ακολουθώντας αυστηρά τις πολυμεσικές αρχές του Mayer για την αποφυγή της «γνωστικής υπερφόρτωσης» των αρχάριων μαθητών/τριών.

Αντίθετα, τα βίντεο επιστημονικής διάχυσης, τα οποία κυριαρχούν στα Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης, έχουν ως κύριο στόχο την καλλιέργεια της ευρύτερης επιστημονικής περιέργειας, την ενημέρωση του κοινού για σύγχρονες ανακαλύψεις ή κοινωνικό-επιστημονικά ζητήματα (όπως η κλιματική αλλαγή ή η βιοτεχνολογία) και την καταπολέμηση του επιστημονικού αναλφαριθτισμού (Allchin, 2017). Τα βίντεο αυτά δίνουν τεράστια έμφαση στην ψυχαγωγία, την αισθητική ποιότητα, την ταχύτητα της αφήγησης και τον εντυπωσιασμό του θεατή (Lijo et al., 2024). Ωστόσο, οι σύγχρονες έρευνες

αναδεικνύουν ένα φαινόμενο διπλής χρήσης (dual use), καθώς πολλά βίντεο εκλαϊκευμένης επιστήμης ενσωματώνονται πλέον από τους εκπαιδευτικούς μέσα στην επίσημη σχολική τάξη ως εργαλεία εναύσματος ενδιαφέροντος (motivation anchors), ενώ ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται από το ευρύ κοινό για άτυπη αυτομόρφωση (Lijo et al., 2024). Η σύγκλιση αυτή υπογραμμίζει την ανάγκη για βαθύτερη κατανόηση των μηχανισμών παραγωγής και κατανάλωσης του ψηφιακού οπτικοακουστικού υλικού.

Παρά τις τεράστιες προοπτικές, μια ισορροπημένη και κριτική ανάλυση επιβάλλει την εξέταση των σοβαρών κινδύνων και των περιορισμών που ενέχει η επικοινωνία της επιστήμης μέσω των Μέσων Κοινωνικής Δικτύωσης. Η πρώτη μεγάλη πρόκληση σχετίζεται με το γεγονός ότι η δημοφιλία ενός ψηφιακού οπτικοακουστικού πόρου δεν αποτελεί σε καμία περίπτωση εγγύηση για την επιστημονική του εγκυρότητα ή την παιδαγωγική του ποιότητα (Taher & Öncü, 2026). Οι αλγόριθμοι των πλατφορμών όπως το YouTube και το TikTok είναι σχεδιασμένοι με σκοπό τη μεγιστοποίηση του χρόνου παραμονής του χρήστη στην οθόνη (user engagement) και την παραγωγή διαφημιστικών εσόδων, γεγονός που ευνοεί περιεχόμενο με εντυπωσιοθηρικούς τίτλους (clickbait), υπερβολικά οπτικά εφέ και δραματοποιημένες αφηγήσεις, εις βάρος της επιστημονικής ακρίβειας και του βάθους της ανάλυσης (Lijo et al., 2024).

Το περιβάλλον αυτό εγκυμονεί τον κίνδυνο της υπεραπλούστευσης σύνθετων επιστημονικών εννοιών. Στην προσπάθειά τους να κάνουν ένα θέμα κατανοητό μέσα σε λίγα λεπτά ή δευτερόλεπτα, ορισμένοι δημιουργοί παραλείπουν κρίσιμες παραμέτρους, επιστημονικές επιφυλάξεις ή τις μεθοδολογικές λεπτομέρειες της έρευνας, οδηγώντας το κοινό σε σοβαρές παρανοήσεις ή σε μια ψευδαίσθηση γνώσης. Ακόμη πιο ανησυχητική είναι η ανεξέλεγκτη διάδοση της ψευδοεπιστήμης, των θεωριών συνωμοσίας και της εσκεμμένης παραπληροφόρησης (*misinformation*) (Kohler & Dietrich, 2021). Καθώς στα Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης δεν υφίσταται ο παραδοσιακός μηχανισμός της κρίσης από ομότιμους (peer review), όπως στις επιστημονικές δημοσιεύσεις, οποιοσδήποτε χρήστης μπορεί να δημοσιεύσει περιεχόμενο που παρουσιάζεται ως επιστημονικό, εκμεταλλευόμενος την έλλειψη κριτικής σκέψης του κοινού. Οι ενότητες των σχολίων, αντί να λειτουργούν ως χώροι γόνιμου διαλόγου, συχνά μετατρέπονται σε πεδία αντιπαραθέσεων ή σε 'θαλάμους αντήχησης' (*echo chambers*) που παγιώνουν αντιεπιστημονικές πεποιθήσεις (Duboni & Tabak, 2020).

Επιπλέον, η παραγωγή ποιοτικού επιστημονικού περιεχομένου για τα Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης αποτελεί μια εξαιρετικά επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία, η οποία απαιτεί από τους δημιουργούς και τους εκπαιδευτικούς υψηλά επίπεδα ψηφιακού, οπτικοακουστικού και επιστημονικού γραμματισμού (Pattier, 2021). Πολλοί επιστήμονες που επιθυμούν να διαχύσουν το έργο τους έρχονται αντιμέτωποι με σοβαρά εμπόδια, όπως η έλλειψη επαγγελματικού εξοπλισμού, η άγνοια των τεχνικών επεξεργασίας βίντεο και μοντάζ, καθώς και η δυσκολία προσαρμογής της σκέψης τους στους γρήγορους ρυθμούς των Μέσων Κοινωνικής Δικτύωσης. Χωρίς την ύπαρξη κατάλληλων οδηγών περιεχομένου, θεσμικής υποστήριξης από τα πανεπιστήμια και οργανωμένων προγραμμάτων επιμόρφωσης, η επικοινωνία της επιστήμης κινδυνεύει να παραμείνει στα χέρια ερασιτεχνών, περιορίζοντας τη δυνατότητα του ευρύτερου κοινωνικού συνόλου να επωφεληθεί από την έγκυρη επιστημονική γνώση.

Τα Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης και το YouTube έχουν φέρει την επανάσταση στην επικοινωνία της επιστήμης, καθιστώντας την πιο άμεση, ελκυστική και προσβάσιμη από ποτέ. Η ικανότητά τους να μετατρέπουν τον αφηρημένο επιστημονικό λόγο σε δυναμική οπτικοακουστική εμπειρία προσφέρει ανεκτίμητες υπηρεσίες στην άτυπη μάθηση και συμβάλλει καταλυτικά στην ενίσχυση του ενδιαφέροντος της νέας γενιάς για τις Θετικές Επιστήμες (Otchie et al., 2020). Ωστόσο, η αποτελεσματική και ασφαλής αξιοποίηση αυτών των μέσων προϋποθέτει την ανάπτυξη του ψηφιακού και επιστημονικού γραμματισμού των ίδιων των πολιτών, ώστε να είναι σε θέση να αξιολογούν κριτικά τις πηγές, να αναγνωρίζουν την παραπληροφόρηση και να διακρίνουν την έγκυρη γνώση από τον επιφανειακό εντυπωσιασμό (Taher & Öncü, 2026).

Η μελλοντική έρευνα οφείλει να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων πλαισίων και εργαλείων αξιολόγησης της ποιότητας του επιστημονικού περιεχομένου στο διαδίκτυο, καθώς και στη μελέτη των αλγοριθμικών επιδράσεων στη διαμόρφωση της κοινής γνώμης για επιστημονικά θέματα (Lijo et al., 2024). Παράλληλα, είναι απολύτως αναγκαία η συστηματική συνεργασία ανάμεσα στην ακαδημαϊκή κοινότητα, τους επαγγελματίες δημιουργούς περιεχομένου και τους εκπαιδευτικούς φορείς για τη δημιουργία έγκυρων, ανοικτών ψηφιακών αποθετηρίων. Η επένδυση στην εκπαίδευση των επιστημόνων ως ψηφιακών εκπαιδευτών αποτελεί το κλειδί προκειμένου η σύγχρονη κοινωνία να εκμεταλλευτεί πλήρως τη δυναμική των Μέσων Κοινωνικής Δικτύωσης,

μετατρέποντας τον ψηφιακό χώρο από ένα πεδίο θορύβου και παραπληροφόρησης σε ένα ζωντανό, παγκόσμιο εργαστήριο οικοδόμησης της επιστημονικής γνώσης (Pattier, 2021).

1.5.4 Διάχυση και αξιοποίηση βίντεο μέσω YouTube στις Θετικές Επιστήμες

Η ραγδαία εξέλιξη των ψηφιακών τεχνολογιών και του Web 2.0 έχει επιφέρει ριζικές αλλαγές στον τρόπο διανομής και πρόσβασης στην πληροφορία, με την πλατφόρμα του YouTube να αποτελεί το πληρέστερο παράδειγμα παγκόσμιας διάχυσης οπτικοακουστικού υλικού. Στο πεδίο των Θετικών Επιστημών, η ανάγκη για δυναμικές οπτικοποιήσεις καθιστά το YouTube μια πολύτιμη, ανοικτή δεξαμενή γνώσεων. Όπως τεκμηριώνουν οι ερευνητές Agustian και Seery (2017), καθώς και ο Alksne (2016), η ενσωμάτωση οπτικών πόρων μετασχηματίζουν τα παραδοσιακά περιβάλλοντα, ενισχύοντας τη γνωστική ετοιμότητα των μαθητών/τριών. Οι Benedict και Pence (2012), υπογραμμίζουν ότι οι τεχνολογικά ενισχυμένες αναπαραστάσεις βοηθούν τους εκπαιδευόμενους να συνδέσουν τις θεωρητικές επιστημονικές αφαιρέσεις με παραστατικά νοητικά μοντέλα, προάγοντας τον επιστημονικό γραμματισμό.

Το YouTube, λόγω της ευρείας διείσδυσής του στην καθημερινότητα των μαθητών/τριών, προσφέρει μια μοναδική ευκαιρία εκδημοκρατισμού της γνώσης, επιτρέποντας την πρόσβαση σε υψηλού επιπέδου επιστημονικό περιεχόμενο εκτός των στενών ορίων της σχολικής αίθουσας. Η πλατφόρμα λειτουργεί ως ένας άτυπος χώρος μάθησης, όπου οι μαθητές/τριες αναζητούν αυτόνομα απαντήσεις σε σύνθετα επιστημονικά ερωτήματα, γεγονός που απαιτεί από την εκπαιδευτική κοινότητα να κατανοήσει τις παιδαγωγικές παραμέτρους και τους μηχανισμούς λειτουργίας της. Η σωστή ένταξη αυτού του οπτικοακουστικού υλικού σε δομημένα εκπαιδευτικά πλαίσια αποτελεί την κεντρική πρόκληση για τον σύγχρονο παιδαγωγό, ο οποίος καλείται να μετατρέψει την παθητική θέαση σε μια ενεργή, διερευνητική και ουσιαστική διαδικασία οικοδόμησης της επιστημονικής γνώσης.

Η θεωρητική θεμελίωση της αξιοποίησης του YouTube ως αυτόνομου εκπαιδευτικού υλικού βασίζεται συστηματικά στο πρωτοποριακό έργο του A. W. Bates (1995) σχετικά με την επιλογή και την αξιολόγηση των εκπαιδευτικών τεχνολογιών στην

ανοικτή και εξ αποστάσεως εκπαίδευση. Σύμφωνα με την προσέγγισή του Bates (1995), η πλατφόρμα του YouTube προσφέρει εξαιρετικά πλεονεκτήματα λόγω του μηδενικού κόστους πρόσβασης, της ευκολίας χρήσης και της παγκόσμιας διαθεσιμότητας. Όπως συμπληρώνουν οι Berk (2009) και Brame (2016), η σωστή παιδαγωγική πλαισίωση των βίντεο ενισχύει άμεσα τη συναισθηματική και γνωστική εμπλοκή των εκπαιδευόμενων, καθιστώντας τη μάθηση πιο ελκυστική.

Σύμφωνα με τις αναλύσεις του Bates (1995), η ευελιξία του μέσου επιτρέπει την υποστήριξη της αυτορρυθμιζόμενης και εξατομικευμένης μάθησης (self-paced learning). Στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών για παράδειγμα, η δυνατότητα της ασύγχρονης πρόσβασης επιτρέπει στους μαθητές/τριες να μελετούν περίπλοκα φαινόμενα στο δικό τους χρόνο, επαναλαμβάνοντας τη θέαση δύσκολων εννοιών, όπως οι ποσοτικοί υπολογισμοί της στοιχειομετρίας ή οι νόμοι της χημικής κινητικής (Chandler & Sweller, 1991). Ο Bates (1995) μας αναγκάζει να εξετάσουμε τη σχέση μεταξύ της τεχνολογικής υποδομής και της μαθησιακής αποτελεσματικότητας, διασφαλίζοντας ότι η χρήση του YouTube δεν αποτελεί μια επιφανειακή προσθήκη, αλλά ένα στρατηγικό εργαλείο που διευκολύνει την πρόσβαση σε αυθεντικές επιστημονικές αναπαραστάσεις.

Στο YouTube κυκλοφορεί πλήθος βίντεο με ποικίλη σχεδιαστική ποιότητα, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο της γνωστικής υπερφόρτωσης των μαθητών/τριών. Όπως δείχνουν οι Dori και Hameiri (2003), η πολυμεσική υποστήριξη που σέβεται τις αρχές του Mayer (2009) βοηθά τους μαθητές/τριες να συνδέσουν το μακροσκοπικό φαινόμενο με το υποατομικό και το συμβολικό επίπεδο. Η σωστή εφαρμογή της αρχής της χωρικής συνάφειας διασφαλίζει ότι οι χημικοί τύποι και οι επεξηγήσεις εμφανίζονται δίπλα στις μοριακές προσομοιώσεις, επιτρέποντας τη βαθιά εννοιολογική μάθηση που περιγράφεται στο πλαίσιο ICAP των Chi και Wylie (2014) και τις μελέτες των Kuhlmann et al. (2024), αποφεύγοντας τη διάσπαση της προσοχής.

Η συστηματική ενσωμάτωση του YouTube στην εκπαιδευτική πράξη προϋποθέτει την ανάπτυξη του οπτικοακουστικού γραμματισμού των εκπαιδευτικών, ένα ζήτημα που αναλύεται διεξοδικά από τους Παπαδημητρίου και Σοφός (2022). Όπως επισημαίνουν, η απλή προβολή ενός βίντεο δεν εγγυάται τη μάθηση, αν δεν συνοδεύεται από δομημένες δραστηριότητες ενεργητικής αποκωδικοποίησης των οπτικοακουστικών μηνυμάτων. Οι

μαθητές/τριες πρέπει να καθοδηγούνται στην κριτική ανάλυση του περιεχομένου, μαθαίνοντας να διακρίνουν την επιστημονική εγκυρότητα από τον εντυπωσιασμό. Στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών, η εφαρμογή των οδηγιών των Παπαδημητρίου και Σοφού (2022) επιτρέπει τη σχεδίαση σεναρίων όπου οι μαθητές/τριες αναλύουν βίντεο πειραμάτων, αξιολογούν προσομοιώσεις χημικών δεσμών ή συνεργάζονται για την επίλυση προβλημάτων, μετατρέποντας το YouTube σε ένα εργαλείο αυθεντικής και συμπεριληπτικής μάθησης.

Πλεονεκτήματα της Αξιοποίησης του YouTube στη Διδακτική των Θετικών Επιστημών

Τα πλεονεκτήματα της αξιοποίησης του YouTube στις Θετικές Επιστήμες είναι πολυάριθμα, προσφέροντας μοναδικές δυνατότητες οπτικοποίησης και ενίσχυσης της παρακίνησης. Όπως δείχνουν οι Burewicz και Miranowicz (2006), η πολυμεσική εργαστηριακή καθοδήγηση βελτιώνει σημαντικά τις επιδόσεις των μαθητών/τριών, ενώ ο Drahl (2010) επιβεβαιώνει ότι η προβολή βιντεοσκοπημένων πειραμάτων επιτρέπει τη σταδιακή και καθαρή παρατήρηση φαινομένων που είναι επικίνδυνα, εκρηκτικά ή δαπανηρά για το σχολικό εργαστήριο. Επιπλέον, οι He et al. (2012), καθώς και οι Richards-Babb et al. (2014), υποστηρίζουν ότι τα βίντεο επίλυσης προβλημάτων βοηθούν στην ανάπτυξη μεταγνωστικών δεξιοτήτων, προσφέροντας σαφή γνωστικά μοντέλα δράσης.

Ένα επιπλέον σημαντικό πλεονέκτημα, όπως τονίζει ο Richards-Babb και συνεργάτες (2014), είναι η ικανότητα του YouTube να αντιμετωπίζει τη φοβία προς τις Θετικές Επιστήμες και να συνδέει την επιστήμη με την καθημερινή ζωή. Μέσα από βίντεο επιστημονικής διάχυσης (outreach videos) που χαρακτηρίζονται από υψηλή ποιότητα παραγωγής και έντονο το στοιχείο της αφήγησης (storytelling), οι μαθητές/τριες αναπτύσσουν θετική στάση απέναντι στις Θετικές Επιστήμες. Η πλατφόρμα προσφέρει επίσης τη δυνατότητα *μικρομάθησης (microlearning)*, παρέχοντας σύντομα και στοχευμένα βίντεο που ανταποκρίνονται στις ανάγκες των σύγχρονων μαθητών/τριών, διευκολύνοντας την άρση των γεωγραφικών αποκλεισμών για μαθητές/τριες απομακρυσμένων περιοχών, γεγονός που υποστηρίζεται από τους Cherif et al. (2014).

Η μετάβαση από την παθητική κατανάλωση στην ενεργή γνωστική επεξεργασία επιτυγχάνεται μέσω των δυνατοτήτων διαδραστικής ενσωμάτωσης των βίντεο του

YouTube στην εκπαιδευτική διαδικασία. Χρησιμοποιώντας ανοικτά ψηφιακά εργαλεία, όπως η πλατφόρμα H5P, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να εισάγουν ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, δημοσκοπήσεις και θερμά σημεία (clickable hotspots) πάνω στη ροή του βίντεο, όπως περιγράφουν οι Cresswell et al. (2019). Αυτή η διαδραστική πλατφόρμα, όπως υποστηρίζουν οι Hsin και Cigas (2013) και ο DeVane (2009), κρατά αμείωτο το ενδιαφέρον των μαθητών/τριών και επιτρέπει την εφαρμογή του γνωστικού μοντέλου Πρόβλεψη-Παρατήρηση-Εξήγηση (POE) σε κρίσιμα σημεία του πειράματος.

Η επικάλυψη διαδραστικών στοιχείων υποστηρίζεται αποτελεσματικά από την *ανάλυση των μαθησιακών δεδομένων (learning analytics)*. Οι Giannakos et al. (2015), καθώς και οι Giannakos et al. (2016), αποδεικνύουν ότι οι συμπεριφορές θέασης (rewinds, παύσεις) αποκαλύπτουν τα σημεία γνωστικής δυσκολίας των μαθητών/τριών. Επιπλέον, η κονστρουκτιβιστική προσέγγιση των Student-Generated Videos, όπου οι ίδιοι οι μαθητές/τριες δημιουργούν και διαμοιράζονται βίντεο, αναλύεται από τους Box et al. (2017) και τους Fernández et al. (2023). Οι μελέτες των Gallardo-Williams et al. (2021), των Hubbard et al. (2019), καθώς και των Jordan et al. (2016), επιβεβαιώνουν ότι η παραγωγή βίντεο από τους μαθητές/τριες ενισχύει την αυτοπεποίθηση, την κριτική σκέψη και τη συνεργατική επίλυση προβλημάτων.

Πίνακας 1.1 - Πλεονεκτήματα της Αξιοποίησης του YouTube στη Διδακτική των Θετικών Επιστημών

Αξονας / Πλεονέκτημα	Παιδαγωγική & Διδακτική Λειτουργία
Εργαστηριακή Καθοδήγηση & Πειράματα	• Βελτίωση των επιδόσεων των μαθητών/τριών. • Ασφαλής, σταδιακή και καθαρή παρατήρηση φαινομένων που είναι επικίνδυνα, εκρηκτικά ή δαπανηρά για το σχολικό εργαστήριο.
Επίλυση Προβλημάτων	• Ανάπτυξη μεταγνωστικών δεξιοτήτων. • Παροχή σαφών γνωστικών μοντέλων δράσης.
Συναισθηματική Εμπλοκή & Στάση	• Αντιμετώπιση της φοβίας προς τις Θετικές Επιστήμες. • Σύνδεση της επιστήμης με την καθημερινή ζωή μέσα από βίντεο επιστημονικής διάχυσης (outreach) και υψηλή ποιότητα αφήγησης (storytelling).

Ευελιξία & Συμπερίληψη	• Δυνατότητα μικρομάθησης (microlearning) με σύντομα και στοχευμένα βίντεο. • Άρση των γεωγραφικών αποκλεισμών για μαθητές/τριες σε απομακρυσμένες περιοχές.
Διαδραστική Πλαισίωση	• Ενσωμάτωση διαδραστικών δραστηριοτήτων π.χ. ερωτηματολογίων και «θερμών σημείων» (clickable hotspots) μέσω εργαλείων όπως το H5P. • Διατήρηση αμείωτου ενδιαφέροντος και εφαρμογή του γνωστικού μοντέλου Πρόβλεψη-Παρατήρηση-Εξήγηση (POE).
Ανάλυση Μαθησιακών Δεδομένων	• Εντοπισμός και αποκάλυψη των σημείων γνωστικής δυσκολίας των μαθητών/τριών μέσα από τη συμπεριφορά θέασης (rewinds, παύσεις).
Βίντεο Παραγόμενα από Μαθητές (Student- Generated Videos)	• Εποικοδομιστική προσέγγιση όπου οι μαθητές δημιουργούν δικό τους υλικό. • Ενίσχυση της αυτοπεποίθησης, της κριτικής σκέψης και της συνεργατικής επίλυσης προβλημάτων.

Περιορισμοί, Διαφημίσεις και Ζητήματα Πνευματικών Δικαιωμάτων

Παρά τα αδιαμφισβήτητα οφέλη, η εκπαιδευτική αξιοποίηση του YouTube συνοδεύεται από σοβαρά αρνητικά στοιχεία, με κυριότερα την παρουσία διαφημίσεων και τα ζητήματα πνευματικών δικαιωμάτων. Οι διαφημίσεις (advertisements) που παρεμβάλλονται απροσδόκητα κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής του βίντεο προκαλούν έντονη διάσπαση της προσοχής και αυξάνουν σημαντικά το εξωγενές γνωστικό φορτίο των μαθητών/τριών, παραβιάζοντας την Αρχή της Συνάφειας του Mayer (2009). Αυτή η βίαιη διακοπή της γνωστικής αλληλουχίας αποσπά τους περιορισμένους πόρους της βραχύχρονης μνήμης από την επιστημονική ανάλυση του χημικού φαινομένου, δυσχεραίνοντας τη συγκρότηση συνεκτικών νοητικών μοντέλων και μειώνοντας την ποιότητα της μαθησιακής εμπειρίας.

Από την άλλη πλευρά, τα ζητήματα πνευματικών δικαιωμάτων (copyright) και η αυστηρή πολιτική προστασίας της πνευματικής ιδιοκτησίας δημιουργούν σοβαρά προβλήματα αστάθειας και διαθεσιμότητας του υλικού. Πολλά ποιοτικά επιστημονικά βίντεο, τα οποία οι εκπαιδευτικοί έχουν εντάξει σε ετήσια ψηφιακά σενάρια διδασκαλίας,

ενδέχεται να αφαιρεθούν ξαφνικά από την πλατφόρμα λόγω παραβίασης δικαιωμάτων για τη χρήση μιας εικόνας ή ενός ακουστικού αποσπάσματος. Όπως επισημαίνουν οι Saldivar-A. και Flores-H. (2024), αυτή η έλλειψη ελέγχου και η θεσμική αβεβαιότητα δυσχεραίνουν τον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό των μαθημάτων Θετικών Επιστημών, ενώ οι Herrington και Sweeder (2025) τονίζουν ότι η ανάγκη για κριτικό έλεγχο της επιστημονικής εγκυρότητας γίνεται ακόμη πιο επιτακτική λόγω της άναρχης φύσης του περιεχομένου.

Πίνακας 4.2 - Περιορισμοί, Διαφημίσεις και Ζητήματα Πνευματικών Δικαιωμάτων

Κατηγορία Περιορισμού	Επιπτώσεις στη Μαθησιακή Διαδικασία & τον Σχεδιασμό
Παραμβολή Διαφημίσεων (Advertisements)	• Έντονη διάσπαση της προσοχής των μαθητών/τριών. • Σημαντική αύξηση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου (παραβίαση Αρχής Συνάφειας Mayer). • Βίαιη διακοπή της γνωστικής αλληλουχίας και επιβάρυνση της βραχύχρονης μνήμης. • Παρεμπόδιση της συγκρότησης συνεκτικών νοητικών μοντέλων.
Αστάθεια Υλικού & Πνευματική Ιδιοκτησία (Copyright)	• Ξαφνική αφαίρεση ποιοτικών βίντεο από την πλατφόρμα λόγω χρήσης προστατευμένων εικόνων/ήχων. • Έλλειψη ελέγχου και θεσμική αβεβαιότητα. • Σοβαρή δυσχέρεια στον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό ετήσιων ψηφιακών σεναρίων διδασκαλίας.
Άναρχη Φύση Περιεχομένου	• Επιτακτική ανάγκη για διαρκή και αυστηρό κριτικό έλεγχο της επιστημονικής εγκυρότητας του υλικού από την πλευρά του εκπαιδευτικού, προκειμένου να αποφευχθεί ο εντυπωσιασμός.

Συμπερασματικά, η παγκόσμια διάχυση του YouTube προσφέρει τεράστιες δυνατότητες για την αναβάθμιση της εκπαίδευσης και τη διδακτικής Θετικών Επιστημών, λειτουργώντας ως ένα ισχυρό, ανοικτό και προσβάσιμο γνωστικό εργαλείο. Η επιστημονική του αξιοποίηση εξαρτάται από την αυστηρή τήρηση των αρχών της πολυμεσικής μάθησης του Mayer (2009) και των θεωρητικών κριτηρίων επιλογής μέσων του Bates (1995), διασφαλίζοντας ότι η τεχνολογία διευκολύνει τη μάθηση. Η μελλοντική έρευνα οφείλει να

επικεντρωθεί στην ανάπτυξη μεικτών μοντέλων (blended learning), όπως η Αντεστραμμένη Τάξη (Vygotsky, 1978) και οι προσεγγίσεις των Kay και Mann (2024), που συνδυάζουν την ασύγχρονη μελέτη με τη διά ζώσης εργαστηριακή πρακτική.

Καθώς προχωράμε προς την ψηφιακή εκπαίδευση, η ανάπτυξη του οπτικοακουστικού γραμματισμού των εκπαιδευτικών σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες των Παπαδημητρίου και Σοφού (2022) αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση για τη διασφάλιση της ποιότητας. Η ενδυνάμωση των καθηγητών Θετικών Επιστημών στην κριτική επιλογή, σχεδίαση και παραμετροποίηση διαδραστικών ψηφιακών σεναρίων εγγυάται ότι οι Θετικές Επιστήμες θα διδάσκονται με τρόπο συμπεριληπτικό, επιστημονικά έγκυρο και ελκυστικό, προετοιμάζοντας κατάλληλα τους μαθητές/τριες για τις απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας της πληροφορίας.

1.6 Οι Δημοφιλέστερες Οπτικοποιήσεις

Η έναρξη της συστηματικής μελέτης των επιμέρους τεχνολογικών εργαλείων προϋποθέτει μια σαφή και ερευνητικά τεκμηριωμένη κατανόηση των βασικών μορφών οπτικοποίησης που κυριαρχούν στη σύγχρονη εκπαιδευτική πράξη. Στο πλαίσιο των γνωστικών αντικειμένων Θετικών Επιστημών, η ενσωμάτωση των ψηφιακών αναπαραστάσεων αποτελεί κομβικό παράγοντα για τον ανασχεδιασμό των συμβατικών διδακτικών πρακτικών, καθώς οι ΤΠΕ προσφέρουν πρωτόγνωρη ευελιξία και υποστήριξη (Bates, 2019). Η ανάγκη αυτή πηγάζει από την ιδιαίτερη φύση αυτών των επιστημών, οι οποίες χαρακτηρίζονται από σύνθετες ορολογίες και έννοιες υψηλής αφαιρετικότητας που συχνά δυσκολεύουν τους μαθητές/τριες, οδηγώντας σε μείωση του ενδιαφέροντος και αύξηση του ακαδημαϊκού άγχους (Carmichael et al., 2018; Otchie et al., 2020). Η σύγχρονη ψηφιακή και εξ αποστάσεως εκπαίδευση έχει αναδείξει μια συγκεκριμένη τυπολογία οπτικών εργαλείων, τα οποία παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη δημοφιλία και παιδαγωγική αποτελεσματικότητα, προσφέροντας μια δυναμική οπτικοακουστική αναπαράσταση της γνώσης (Bell & Bull, 2010; Kay & Mann, 2022).

Από γνωστική άποψη, η αναγκαιότητα και η αξία αυτών των δημοφιλών μορφών οπτικοποίησης ερμηνεύονται βαθιά μέσα από τη λειτουργία της ανθρώπινης γνωστικής αρχιτεκτονικής. Σύμφωνα με τη Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης, η

ανθρώπινη επεξεργασία βασίζεται στην ύπαρξη δύο ανεξάρτητων καναλιών, ενός οπτικού και ενός ακουστικού, τα οποία διαθέτουν αυστηρά περιορισμένη χωρητικότητα στην Μνήμη Εργασίας (Mayer, 2009). Όταν οι πληροφορίες παρουσιάζονται συνδυαστικά μέσω λέξεων και εικόνων, επιτυγχάνεται μια παράλληλη κωδικοποίηση που διευκολύνει τη συγκράτηση και την ενσωμάτωση των δεδομένων στα προϋπάρχοντα γνωστικά σχήματα (Kuhlmann et al., 2024). Η στρατηγική χρήση αυτών των μέσων λειτουργεί ως εξωτερικός γνωστικός υποστηρικτικός μηχανισμός (cognitive scaffold) που βοηθά στη διαχείριση του εγγενούς γνωστικού φορτίου, το οποίο καθορίζεται από την πολυπλοκότητα του ίδιου του αντικειμένου, απελευθερώνοντας πολύτιμους νοητικούς πόρους για το σχετικό φορτίο που προάγει τη βαθιά μάθηση (Brame, 2016).

Οι διαδραστικές προσομοιώσεις (interactive simulations) και τα εικονικά εργαστήρια συνιστούν έναν από τους σημαντικότερους και πιο δημοφιλείς πυλώνες οπτικοποίησης, προσφέροντας δυναμικά περιβάλλοντα όπου ο μαθητής μπορεί να χειριστεί μεταβλητές σε πραγματικό χρόνο (Taher & Öncü, 2026). Τα ψηφιακά αυτά μέσα ενσαρκώνουν τις αρχές της καθοδηγούμενης ανακάλυψης και του εποικοδομητισμού, καθώς επιτρέπουν στους μαθητές/τριες να διατυπώνουν και να ελέγχουν υποθέσεις, προσφέροντας μια ασφαλή και οικονομικά βιώσιμη εναλλακτική λύση για την παρουσίαση εργαστηριακών πειραμάτων (Beheshti et al., 2018; Cresswell et al., 2020). Η αλληλεπίδραση αυτή μετατρέπει την παθητική παρακολούθηση σε μια βιωματική διαδικασία ενεργού γνωστικής εμπλοκής, η οποία αποδεικνύεται ιδιαίτερα επωφελής για μαθητές/τριες σε σχολεία που στερούνται βασικών εργαστηριακών υποδομών, βελτιώνοντας σημαντικά τα μαθησιακά τους αποτελέσματα (Hsin & Cigas, 2013; Otchie et al., 2020).

Παράλληλα, τα εκπαιδευτικά animations και οι τρισδιάστατες αναπαραστάσεις αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των σύγχρονων ψηφιακών μέσων, με εξαιρετική συνεισφορά στη διδακτική της Χημείας και της Φυσικής, καθώς επιτρέπουν την οπτικοποίηση του μικροσκοπικού / υποατομικού επιπέδου της ύλης (Lijo et al., 2024). Οι μαθητές/τριες καλούνται συστηματικά να συνδέουν τα μακροσκοπικά φαινόμενα με συμβολικές εξισώσεις και μαθηματικούς τύπους, χωρίς ωστόσο να διαθέτουν σαφή εικόνα για τη σωματιδιακή συμπεριφορά (Burewicz & Miranowicz, 2006; Chaytor et al., 2017). Τα animations γεφυρώνουν αυτό το χάσμα, παρουσιάζοντας τη δυναμική κίνηση των μορίων ή τη θραύση των χημικών δεσμών, εφαρμόζοντας τις αρχές της συνοχής και της

Οπτικής Σηματοδότησης για την αποτροπή της γνωστικής υπερφόρτωσης (Sharmin et al., 2024) (Mayer, 2009). Η οπτική αυτή προσέγγιση μειώνει τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών/τριών και τους επιτρέπει να διαμορφώσουν έγκυρα επιστημονικά νοητικά μοντέλα (Jolley et al., 2016; Taher & Öncü, 2026).

Επιπλέον, τα βίντεο διαλέξεων, τα screencast tutorials και τα βίντεο καθοδηγούμενης επίλυσης ασκήσεων (pencasts) αποτελούν εξαιρετικά δημοφιλείς μορφές ψηφιακής υποστήριξης στη σχολική εκπαίδευση. Τα μέσα αυτά παρέχουν μια οπτική και ακουστική αναπαράσταση της επίλυσης προβλημάτων βήμα προς βήμα, προσομοιώνοντας τη διαδικασία του παραδοσιακού πίνακα, αλλά με την ευελιξία του ασύγχρονου ψηφιακού περιβάλλοντος (He et al., 2012; Hibbert, 2014). Η χρήση αυτών των tutorials αυξάνει την ικανοποίηση των μαθητών/τριών, ενισχύει την αποτελεσματικότητά τους και μειώνει το άγχος, καθώς επιτρέπει στους μαθητές/τριες με διαφορετικούς ρυθμούς μάθησης να επαναλάβουν την παρακολούθηση όσες φορές επιθυμούν, χωρίς το αίσθημα της κοινωνικής πίεσης (DeVaney, 2009; Hsin & Cigas, 2013; Rahmatika et al., 2021).

Στο υψηλότερο επίπεδο του εποικοδομητισμού συναντάται η στρατηγική των οπτικοποιήσεων που παράγονται από τους ίδιους τους μαθητές/τριες (student-generated videos / animations). Στο πλαίσιο αυτό, οι μαθητές/τριες παύουν να λειτουργούν ως απλοί καταναλωτές έτοιμου υλικού και μετατρέπονται σε ενεργούς δημιουργούς και 'ψηφιακούς δασκάλους', αναλαμβάνοντας να σχεδιάσουν και αναπτύξουν σύντομα animations ή να βιντεοσκοπήσουν επεξηγηματικά βίντεο για να αναλύσουν ένα επιστημονικό φαινόμενο στους συμμαθητές/τριες τους (Gallardo-Williams et al., 2021; Herrington & Sweeder, 2025). Η διαδικασία συγγραφής του σεναρίου, ο σχεδιασμός των πλάνων (storyboarding) και η λεκτική ερμηνεία απαιτούν τη βαθιά εννοιολογική κατανόηση του περιεχομένου, ενεργοποιούν ανώτερες μεταγνωστικές δεξιότητες και προάγουν τη συνεργασία, ενισχύοντας ταυτόχρονα τον ψηφιακό γραμματισμό και τη συναισθηματική εμπλοκή με το μάθημα (Benedict & Pence, 2012; Fernández et al., 2023; Lowenthal et al. 2020).

Η επικοινωνία της επιστήμης και η διάχυση της γνώσης μέσω δημοφιλών ψηφιακών πλατφορμών, όπως το YouTube και το TikTok, εισάγουν επίσης νέες δυναμικές στην άτυπη (informal) μάθηση και την εκπαιδευτική πράξη (Fiallos et al., 2021; Smith, 2013). Οι μαθητές/τριες και οι εκπαιδευτικοί καταφεύγουν συστηματικά σε πετυχημένους δημιουργούς περιεχομένου ('Edutubers') για να βρουν ελκυστικές οπτικοποιήσεις, animations και ιστορίες επιστημονικής φαντασίας που κεντρίζουν την περιέργεια και

λειτουργούν ως ισχυρά εσωτερικά κίνητρα (Jackman, 2019; Pattier, 2021). Η τάση αυτή συνδέεται στενά με τη φιλοσοφία της μικρομάθησης (microlearning), όπου η πληροφορία συμπυκνώνεται σε σύντομα, στοχευμένα μηνύματα που διευκολύνουν την άμεση πρόσβαση στη γνώση κατά την επιθυμητή στιγμή (just-in-time learning) (Escamilla-Fajardo et al., 2021; Kay & Mann, 2022).

Ωστόσο, η αποτελεσματική ενσωμάτωση αυτών των δημοφιλών μέσων στην επίσημη σχολική εκπαίδευση απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και αυστηρά ερευνητικά κριτήρια επιλογής από την πλευρά του εκπαιδευτικού. Η διεθνής βιβλιογραφία υπογραμμίζει μια σημαντική διάκριση ανάμεσα στα καθαρά εκπαιδευτικά βίντεο και στα βίντεο επιστημονικής διάχυσης, καθώς η υψηλή δημοφιλία ή ο ψυχαγωγικός χαρακτήρας ενός ψηφιακού πόρου δεν συνεπάγεται αυτόματα και παιδαγωγική καταλληλότητα (Lijo et al., 2024). Πολλά βίντεο εκλαϊκευμένης επιστήμης, αν και εντυπωσιακά αισθητικά, ενδέχεται να στερούνται εννοιολογικού βάθους ή να οδηγούν σε παρανοήσεις λόγω υπεραπλούστευσης, καθιστώντας αναγκαία την ύπαρξη ερευνητικών πλαισίων για την αξιολόγηση της ποιότητάς τους πριν από την εισαγωγή τους στην τάξη (Herrington & Sweeder, 2025; Welbourne & Grant, 2016).

Οι προκλήσεις αυτές αναδεικνύουν τον αναντικατάστατο ρόλο του εκπαιδευτικού, ο οποίος μετασχηματίζεται από απλό παρουσιαστή γνώσεων («από καθ' έδρας διδασκαλία») σε αρχιτέκτονα και επιμελητή του ψηφιακού περιβάλλοντος μάθησης (Smith, 2013). Η επιλογή και η παιδαγωγική πλαισίωση του οπτικού υλικού πρέπει να γίνονται με βάση τους συγκεκριμένους διδακτικούς στόχους, καθώς η άκριτη χρήση μέσων χωρίς σαφή στοχοθεσία μπορεί να προκαλέσει γνωστική υπερφόρτωση λόγω του καταιγισμού περιττών πληροφοριών ή οπτικών εφέ (Benedict & Pence, 2012; Lijo et al., 2024). Παράλληλα, οι εκπαιδευτικοί αντιμετωπίζουν συχνά σημαντικά εμπόδια στην προσπάθειά τους να αναπτύξουν ή να τροποποιήσουν δικό τους οπτικό υλικό, όπως η έλλειψη κατάλληλου λογισμικού, ο περιορισμένος χρόνος και η ανάγκη για διαρκή καλλιέργεια του οπτικοακουστικού και ψηφιακού τους γραμματισμού (Černá & Borkoncová, 2020; Duboví & Tabak, 2020; Papadimitriou & Sofos, 2022)..

Για να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί και να μεγιστοποιηθεί η αξία των οπτικοποιήσεων, η σύγχρονη παιδαγωγική προτείνει την οργανική ένταξή τους σε καινοτόμα διδακτικά μοντέλα, με κυριότερο παράδειγμα την Ανεστραμμένη Τάξη (Flipped Classroom). Σύμφωνα με αυτό το πλαίσιο, η παθητική μετάδοση της πληροφορίας

μεταφέρεται εκτός του σχολικού χώρου μέσω της ασύγχρονης μελέτης σύντομων βίντεο και animations, επιτρέποντας στον πολύτιμο χρόνο της σύγχρονης συνάντησης να αξιοποιηθεί για δραστηριότητες ανώτερης γνωστικής βαθμίδας (Abeysekera & Dawson, 2015; Lage et al., 2000; Seery, 2015). Οι μαθητές/τριες, έχοντας ήδη αποκτήσει το απαραίτητο υπόβαθρο, εμπλέκονται σε διαδικασίες κριτικής σκέψης, επίλυσης σύνθετων προβλημάτων και συνεργασίας, γεγονός που μετατρέπει την ψηφιακή εκπαίδευση σε μια βαθιά μαθητοκεντρική εμπειρία (Chaytor et al., 2017; Reid, 2016).

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, το παρόν κεφάλαιο είναι δομημένο με τρόπο που να επιτρέπει την ενδεδειγμένη και συστηματική εμβάθυνση σε καθεμία από τις κυρίαρχες αυτές μορφές ψηφιακής οπτικοποίησης στο Θετικών Επιστημών. Στις ενότητες που ακολουθούν, πραγματοποιείται μια διεξοδική ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας, αναλύονται τα εμπειρικά δεδομένα σχετικά με την επίδραση των προσομοιώσεων και των animations στην ακαδημαϊκή επίδοση των μαθητών/τριών, και εξετάζονται οι τεχνικές και παιδαγωγικές προϋποθέσεις για την ορθή παραγωγή και χρήση τους. Με τον τρόπο αυτό, επιχειρείται η διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου θεωρητικού και πρακτικού πλαισίου που θα καθοδηγήσει τον σχεδιασμό του εκπαιδευτικού υλικού, διασφαλίζοντας ότι η δύναμη της ψηφιακής εικόνας θα μετατραπεί σε ουσιαστική, βαθιά και βιώσιμη γνώση για το σύγχρονο ψηφιακό σχολείο (Papadimitriou & Sofos, 2022).

1.6.1 Κινούμενο Σχέδιο

Μεταξύ των ποικίλων ψηφιακών εργαλείων, το εκπαιδευτικό επιστημονικό βίντεο που ενσωματώνει το κινούμενο σχέδιο (animation) έχει αναδειχθεί σε έναν από τους κρισιμότερους πυλώνες της σύγχρονης εξ αποστάσεως και υβριδικής εκπαιδευτικής διαδικασίας (Burewicz & Miranowicz, 2006; Kuhlmann et al., 2024). Το κινούμενο σχέδιο ορίζεται ως η τεχνική της ταχείας προβολής μιας αλληλουχίας στατικών αναπαραστάσεων, σχεδίων ή μοντέλων, η οποία δημιουργεί στον εγκέφαλο του θεατή την ψευδαίσθηση της συνεχούς κίνησης και της εξέλιξης στον χρόνο (Bell & Bull, 2010). Στη διδακτική του Θετικών Επιστημών, η σημασία του κινουμένου σχεδίου έγκειται στην ικανότητά του να εξωτερικεύει εσωτερικές νοητικές διεργασίες και να καθοδηγεί το βλέμμα του μαθητή στα ουσιώδη χαρακτηριστικά μιας επιστημονικής έννοιας (Lijo et al., 2024). Μέσω των ψηφιακών animations, οι μαθητές/τριες παύουν να είναι παθητικοί δέκτες τυποποιημένων

ορισμών και μετατρέπονται σε ενεργούς παρατηρητές δυναμικών συστημάτων, γεγονός που ενισχύει την εσωτερική τους παρακίνηση και βελτιώνει αισθητά τα μαθησιακά αποτελέσματα (Carmichael et al., 2018; Cherif et al., 2014).

Η παιδαγωγική αναγκαιότητα του animation γίνεται ιδιαίτερα εμφανής αν αναλογιστούμε τον τρόπο με τον οποίο δομείται η επιστημονική γνώση. Οι μαθητές/τριες καλούνται συστηματικά να μεταβαίνουν ανάμεσα σε διαφορετικά επίπεδα απεικόνισης, συνδέοντας τα φαινόμενα του πραγματικού κόσμου με μαθηματικά σύμβολα και χημικές εξισώσεις, χωρίς ωστόσο να διαθέτουν την απαραίτητη γνωστική υποστήριξη για να φανταστούν τους υποκείμενους μηχανισμούς (Jackman, 2019). Το κινούμενο σχέδιο λειτουργεί ως μια νοητική γέφυρα, επιτρέποντας την οπτική αναπαράσταση διαδικασιών που είναι αδύνατον να παρατηρηθούν άμεσα, είτε επειδή εξελίσσονται στον αόρατο μικρόκοσμο είτε επειδή απαιτούν εξαιρετικά περίπλοκες εργαστηριακές συνθήκες (Drahl, 2010; Stieff et al., 2018). Η παρούσα εκτενής μελέτη εξετάζει διεξοδικά τη γνωστική συνεισφορά του κινουμένου σχεδίου στο Θετικών Επιστημών, αναλύει λεπτομερώς τα δημοφιλέστερα είδη του και προσδιορίζει τις κατάλληλες στρατηγικές για την οργανική ενσωμάτωσή τους στη σύγχρονη σχολική πραγματικότητα.

Η αποτελεσματικότητα του κινουμένου σχεδίου ως διδακτικού εργαλείου δεν αποτελεί μια εμπειρική υπόθεση, αλλά θεμελιώνεται βαθιά πάνω στις σύγχρονες γνωστικές θεωρίες της εκπαιδευτικής ψυχολογίας. Κεντρικό άξονα στο πεδίο αυτό συνιστά η Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης (Cognitive Theory of Multimedia Learning), η οποία βασίζεται στην παραδοχή ότι η ανθρώπινη μάθηση επιτυγχάνεται με πολύ βαθύτερο τρόπο όταν οι πληροφορίες παρουσιάζονται με συνδυασμό λέξεων και εικόνων, παρά μόνο με λεκτικά μέσα (Reid, 2016). Η θεωρία αυτή ερμηνεύει τη λειτουργία της ανθρώπινης γνωστικής αρχιτεκτονικής μέσω της ύπαρξης δύο ανεξάρτητων, παράλληλων καναλιών επεξεργασίας: ενός οπτικού/χωρικού καναλιού για τη διαχείριση των εικόνων και των γραφικών, και ενός ακουστικού/λεκτικού καναλιού για τη διαχείριση της αφήγησης και των ήχων. Όταν ένα εκπαιδευτικό βίντεο Θετικών Επιστημών συνδυάζει ένα δυναμικό animation με ταυτόχρονη, καλά συγχρονισμένη προφορική επεξήγηση, επιτυγχάνεται μια διπλή κωδικοποίηση στον εγκεφαλικό φλοιό, η οποία διευκολύνει τη δημιουργία συνδέσεων και την ενσωμάτωση της νέας γνώσης στα προϋπάρχοντα γνωστικά σχήματα (Lijo et al., 2024).

Ωστόσο, η επεξεργαστική ικανότητα αυτών των καναλιών περιορίζεται αυστηρά από τη χωρητικότητα της μνήμης εργασίας, μια παράμετρο που αναλύεται διεξοδικά από τη Θεωρία του Γνωστικού Φορτίου (Cognitive Load Theory; Sweller et al., 2011). Κατά τη μελέτη των Θετικών Επιστημών, οι μαθητές/τριες έρχονται αντιμέτωποι με τρία είδη γνωστικής επιβάρυνσης. Το *εγγενές γνωστικό φορτίο* (*intrinsic cognitive load*) καθορίζεται από την ίδια την εσωτερική πολυπλοκότητα της επιστημονικής έννοιας και τον βαθμό αλληλεξάρτησης των στοιχείων της. Το *εξωγενές γνωστικό φορτίο* (*extraneous cognitive load*) προκύπτει από τον κακό, ερασιτεχνικό σχεδιασμό του εκπαιδευτικού υλικού, όπως η παρουσία περιττών διακοσμητικών στοιχείων, θορύβων ή ασυντόνιστων πληροφοριών που εξαντλούν τη μνήμη του μαθητή (Burewicz & Miranowicz, 2006; Hibbert, 2014). Τέλος, το *σχετικό γνωστικό φορτίο* (*germane cognitive load*) αντιπροσωπεύει την πολύτιμη νοητική προσπάθεια που καταβάλλει ο μαθητής για την ουσιαστική οικοδόμηση σχημάτων, την εννοιολογική εμβάθυνση και τη μάθηση (Abeysekera & Dawson, 2015; Benedict & Pence, 2012).

Το κινούμενο σχέδιο, όταν σχεδιάζεται με βάση τις πολυμεσικές αρχές, λειτουργεί ως ένας ισχυρός μηχανισμός ελαχιστοποίησης του εξωγενούς γνωστικού φορτίου και διαχείρισης του εγγενούς φορτίου (Brame, 2016). Η αρχή της συνοχής επιτάσσει τον αυστηρό αποκλεισμό κάθε περιττής οπτικής ή ακουστικής πληροφορίας, διασφαλίζοντας ότι το animation εστιάζεται αποκλειστικά στον επιστημονικό πυρήνα του φαινομένου (Reid, 2016). Η αρχή της σηματοδότησης (signaling) υλοποιείται μέσα από την ενσωμάτωση οπτικών ενδείξεων, όπως βέλη, αλλαγές χρωμάτων ή φωτεινές επισημάνσεις, που καθοδηγούν την προσοχή του μαθητή στα πιο κρίσιμα σημεία της παρουσίασης (Escamilla-Fajardo et al., 2021). Παράλληλα, η Αρχή της Κατάτμησης (segmenting) αποδεικνύει ότι η μάθηση διευκολύνεται όταν το animation χωρίζεται σε μικρά, αυτόνομα τμήματα, επιτρέποντας στον μαθητή να ελέγχει τον ρυθμό της πληροφορίας, γεγονός που ενισχύει την αυτονομία και την αποτελεσματικότητα της μελέτης (Kay & Mann, 2022; Kuhlmann et al., 2024). Έτσι, το animation μετατρέπεται από ένα απλό μέσο επίδειξης σε ένα δυναμικό γνωστικό εργαλείο νοητικής υποστήριξης.

Η ενσωμάτωση του κινουμένου σχεδίου στα εκπαιδευτικά επιστημονικά βίντεο Θετικών Επιστημών δεν ακολουθεί μια ενιαία, μονοδιάστατη προσέγγιση, αλλά εκδηλώνεται μέσα από μια ποικιλία ειδών, καθένα από τα οποία παρουσιάζει ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά, παιδαγωγικές στοχοθεσίες και εφαρμογής. Η επιλογή του

κατάλληλου είδους animation αποτελεί κεντρικό ζήτημα του εκπαιδευτικού σχεδιασμού, καθώς καθορίζει τον βαθμό γνωστικής εμπλοκής του μαθητή, την ελκυστικότητα του περιεχομένου και την αποτελεσματικότητα της εννοιολογικής αλλαγής (Bell & Bull, 2010; Lage et al., 2000). Στη συνέχεια αναλύονται εκτενώς οι πέντε δημοφιλέστερες κατηγορίες κινούμενου σχεδίου που αξιοποιούνται στη σύγχρονη σχολική εκπαίδευση Θετικών Επιστημών, προσδιορίζοντας τα πλεονεκτήματα και τους τρόπους παιδαγωγικής τους χρήσης.

Κινούμενα Σχέδια Μικρού Μήκους με Σενάριο (Short-form Scripted Animations)

Τα κινούμενα σχέδια μικρού μήκους με σενάριο (*short-form scripted animations*) αποτελούν μια από τις πιο διαδεδομένες μορφές οπτικοποίησης στις σύγχρονες ψηφιακές πλατφόρμες. Τα βίντεο αυτά βασίζονται σε ένα αυστηρά δομημένο, προδιαγεγραμμένο παιδαγωγικό σενάριο (storyboard), το οποίο αναπτύσσεται με λεπτομέρεια πριν από την παραγωγή, διασφαλίζοντας την απόλυτη ευθυγράμμιση του οπτικού υλικού με την ακουστική αφήγηση (Bravo et al., 2011; Mayer, 2009). Λόγω της σύντομης διάρκειάς τους, η οποία συνήθως δεν υπερβαίνει τα τρία έως πέντε λεπτά, εναρμονίζονται πλήρως με τις αρχές της μικρομάθησης (microlearning), διατηρώντας την προσοχή του μαθητή σε υψηλά επίπεδα και αποτρέποντας τη νοητική κόπωση.

Παιδαγωγικά, τα scripted animations αξιοποιούνται ιδανικά για την εισαγωγή μιας νέας θεματικής ενότητας ή για την πλαισίωση σύνθετων προβλημάτων, ακολουθώντας τις αρχές της «αγκυροβολημένης διδασκαλίας» (*anchored instruction*) (Ljubojevic et al., 2014). Αντί για μια στείρα παρουσίαση μαθηματικών τύπων, το βίντεο τοποθετεί την επιστημονική γνώση μέσα σε ένα ελκυστικό ψηφιακό αφήγημα, συνδέοντας τη θεωρία με αυθεντικές εφαρμογές της καθημερινής ζωής, όπως η λειτουργία μιας μηχανής εσωτερικής καύσης ή η εξέλιξη ενός οικοσυστήματος (Lowenthal et al., 2020). Η προσέγγιση αυτή ενισχύει την παρακινητική αξία του μαθήματος, μειώνει το αίσθημα της απόστασης στη σύγχρονη ψηφιακή εκπαίδευση και προσφέρει στους μαθητές/τριες ένα σαφές εννοιολογικό πλαίσιο, το οποίο λειτουργεί ως βάση για τις μεταγενέστερες, πιο σύνθετες δραστηριότητες στην τάξη (Chaytor et al., 2017; Otchie et al., 2020).

Κινούμενα Σχέδια με Απλές Γραμμικές Μορφές (Stick Figure Animations)

Το κινούμενο σχέδιο με απλές γραμμικές μορφές (*stick figure animation*) αποτελεί μια μινιμαλιστική αλλά εξαιρετικά ισχυρή προσέγγιση στο πεδίο των εκπαιδευτικών οπτικοποιήσεων. Σε αυτό το είδος, οι χαρακτήρες, τα σώματα και τα αντικείμενα αναπαρίστανται με τα πιο απλά γεωμετρικά σχήματα, γραμμές και κύκλους, στερούμενα οποιασδήποτε καλλιτεχνικής πολυπλοκότητας ή λεπτομερούς σχεδίασης (Beheshti et al., 2018). Παρά την απλότητά του, το *stick figure animation* ενσωματώνει βαθιές παιδαγωγικές αρχές, καθώς εφαρμόζει με απόλυτη αυστηρότητα την Αρχή της Συνοχής (*coherence principle*) του Richard Mayer (Reid, 2016). Αποκλείοντας κάθε περιττή οπτική πληροφορία, περίτεχνα φόντα ή εντυπωσιακά χρώματα που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως 'ελκυστικοί περισπασμοί', το μέσο αυτό αναγκάζει το γνωστικό σύστημα του μαθητή να επικεντρωθεί αποκλειστικά στις ουσιώδεις φυσικές ή μαθηματικές σχέσεις.

Στη διδακτική της Φυσικής και της Μηχανικής, το *stick figure animation* χαρακτηρίζεται ανεκτίμητο. Είναι ιδανικό για την αναπαράσταση διανυσματικών μεγεθών, των δυνάμεων που ασκούνται σε ένα σώμα κατά την κίνηση σε κεκλιμένο επίπεδο, της μεταφοράς ορμής κατά τις κρούσεις ή της ανάλυσης των νόμων του Νεύτωνα (Lange & Costley, 2020). Η γραμμική απλότητα επιτρέπει στον μαθητή να 'απομονώσει' νοητικά τη δύναμη ή την ταχύτητα από το αντικείμενο, διευκολύνοντας την ανάπτυξη αφηρημένης επιστημονικής σκέψης. Επιπλέον, λόγω των χαμηλών τεχνικών απαιτήσεων παραγωγής, το είδος αυτό προσφέρει στους εκπαιδευτικούς τη δυνατότητα να δημιουργούν εύκολα το δικό τους εξατομικευμένο υλικό, ενισχύοντας την ψηφιακή τους αποτελεσματικότητα και την αυτονομία τους (Černá & Borkovcová, 2020; Escamilla-Fajardo et al., 2021).

Κινούμενο Σχέδιο στο Χέρι (Hand-drawn / Whiteboard Animation)

Το κινούμενο σχέδιο στο χέρι (*hand-drawn animation*), το οποίο στη σύγχρονη ψηφιακή εκπαίδευση υλοποιείται ευρέως μέσω τεχνικών *whiteboard animation* ή *video scribing*, αποτελεί μια από τις πιο ελκυστικές μορφές οπτικοποίησης (Drahl, 2010). Κατά την παρακολούθηση αυτών των βίντεο, ο μαθητής βλέπει ένα χέρι να σχεδιάζει ζωντανά

πάνω σε μια λευκή επιφάνεια τα σχήματα, τα διαγράμματα, τους τύπους και τις λέξεις-κλειδιά, σε απόλυτο συντονισμό με την εξέλιξη της προφορικής αφήγησης του εκπαιδευτικού. Η στρατηγική αυτή μεταφέρει τη δομή της παραδοσιακής διδασκαλίας στον σχολικό μαυροπίνακα μέσα στο ψηφιακό περιβάλλον, αλλά με την ακρίβεια, την καθαρότητα και την ταχύτητα που προσφέρουν τα σύγχρονα λογισμικά επεξεργασίας (He et al., 2012; Hsin & Cigas, 2013).

Από παιδαγωγική άποψη, το whiteboard animation αξιοποιεί ιδανικά την αρχή της χρονικής και χωρικής εγγύτητας, καθώς η σταδιακή, βήμα προς βήμα αποκάλυψη του οπτικού περιεχομένου συμβαδίζει απόλυτα με τον ρυθμό με τον οποίο η Μνήμη Εργασίας του μαθητή μπορεί να επεξεργαστεί τις πληροφορίες (Burewicz & Miranowicz, 2006). Η δυναμική σχεδίαση λειτουργεί ως ένας συνεχής μηχανισμός σηματοδότησης, κρατώντας τον μαθητή σε εγρήγορση και εμποδίζοντας τη διάσπαση της προσοχής (Duboni & Tabak, 2020). Στις Θετικές Επιστήμες, το είδος αυτό είναι εξαιρετικά αποτελεσματικό για την ανάλυση πολύπλοκων αλγορίθμων, τη σταδιακή επίλυση εξισώσεων, την ανάπτυξη γεωμετρικών αποδείξεων ή την απεικόνιση των διαδοχικών σταδίων ενός χημικού αντιδραστικού μηχανισμού, επιτρέποντας στον μαθητή να παρακολουθήσει τη λογική αλληλουχία της επιστημονικής σκέψης.

Κινούμενο Σχέδιο ως Επίπεδο Ψηφιακής Πληροφορίας (Animation Overlay / Layer)

Το κινούμενο σχέδιο που ενσωματώνεται ως επίπεδο ψηφιακής πληροφορίας (*animation overlay ή layer*) μπροστά από τη ζωντανή βιντεοσκόπηση αποτελεί μια τεχνολογική καινοτομία με τεράστια εκπαιδευτική αξία για το πεδίο Θετικών Επιστημών (Cresswell et al., 2020). Η τεχνική αυτή επιτρέπει τον οργανικό συνδυασμό του πραγματικού, μακροσκοπικού κόσμου με τον αόρατο κόσμο των επιστημονικών θεωριών, επικαλύπτοντας το live-action βίντεο με δυναμικά τρισδιάστατα γραφικά, κινούμενα βέλη, διαγράμματα ή σωματιδιακές αναπαραστάσεις που εμφανίζονται ακριβώς πάνω στα αντικείμενα ενδιαφέροντος.

Η συγκεκριμένη προσέγγιση επιλύει ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στη διδακτική των Θετικών Επιστημών, το οποίο εντοπίζεται στην ασύνδετη και αποσπασματική παρουσίαση των επιπέδων αναπαράστασης της ύλης (Jackman, 2019).

Όταν οι μαθητές/τριες παρακολουθούν, για παράδειγμα, το βίντεο ενός χημικού πειράματος, το ψηφιακό layer μπορεί να εμφανιστεί απευθείας πάνω από το ποτήρι ζέσεως για να απεικονίσει ταυτόχρονα την κίνηση των ιόντων, τη θραύση των χημικών δεσμών ή τη δημιουργία των προϊόντων που προκαλούν τη μακροσκοπική αλλαγή του χρώματος ή την έκλυση αερίου (Benedict & Pence, 2012). Με τον τρόπο αυτό, το animation overlay επιτρέπει στον μαθητή να συνδέσει άμεσα την εμπειρική παρατήρηση με τη συμβολική και υποατομική της ερμηνεία, μειώνοντας δραστικά το νοητικό φορτίο της μετάφρασης ανάμεσα στα διαφορετικά επίπεδα και βελτιώνοντας σημαντικά την κατανόηση της επιστημονικής μεθοδολογίας (DeVaney, 2009; Stieff et al., 2018).

Κινούμενο Σχέδιο Στάσης-Κίνησης (Stop Motion Animation)

Το κινούμενο σχέδιο στάσης-κίνησης (*stop motion animation*) αποτελεί μια κλασική τεχνική, η οποία βασίζεται στη λήψη διαδοχικών φωτογραφικών καρέ φυσικών, τρισδιάστατων αντικειμένων, τα οποία μετακινούνται ανεπαίσθητα χειρωνακτικά ανάμεσα σε κάθε λήψη (Abeysekera & Dawson, 2015). Όταν αυτά τα καρέ προβληθούν σε συνεχή ροή με συγκεκριμένη ταχύτητα, δημιουργείται η ψευδαίσθηση της κίνησης. Στο πλαίσιο της σύγχρονης εκπαιδευτικής θεωρίας του εποικοδομητισμού (constructivism), το stop motion animation κατέχει εξέχουσα θέση, καθώς αποτελεί την ιδανικότερη στρατηγική για την εφαρμογή των Βίντεο Παραγόμενων από τους ίδιους τους μαθητές/τριες (student-generated videos), (Fernández et al., 2023; Giannakos et al., 2016).

Όταν ο εκπαιδευτικός αναθέτει στους μαθητές/τριες, στο πλαίσιο συνεργατικών δραστηριοτήτων, να δημιουργήσουν το δικό τους stop motion βίντεο χρησιμοποιώντας απλά υλικά (όπως πλαστελίνη, κύβους ή φυσικά μοριακά μοντέλα), τους μετατοπίζει ριζικά από τον ρόλο του παθητικού καταναλωτή ψηφιακού περιεχομένου στον ρόλο του ενεργού δημιουργού και παγκόσμιου εκπαιδευτή (Evans & Cordova, 2015; Rodríguez-Berrios et al., 2025). Για να αναπαραστήσουν, για παράδειγμα, τον μηχανισμό μιας χημικής αντίδρασης, τη διαδικασία της κυτταρικής διαίρεσης στη Βιολογία ή τη διατήρηση της ορμής στη Φυσική, οι μαθητές/τριες πρέπει να έχουν κατανοήσει το φαινόμενο σε απόλυτο βάθος. Η συγγραφή του σεναρίου, ο σχεδιασμός των φωτογραφικών πλάνων (storyboarding), η χειρωνακτική κατασκευή και η λεκτική επεξήγηση απαιτούν την ενεργοποίηση ανώτερων

μεταγνωστικών δεξιοτήτων, ενισχύουν τον ψηφιακό γραμματισμό και καλλιεργούν φυσικές στάσεις απέναντι στο Θετικών Επιστημών, καταπολεμώντας το ακαδημαϊκό άγχος (DeVaney, 2009; Herrington & Sweeder, 2025).

Στρατηγικές Παιδαγωγικής Ενσωμάτωσης και Αλληλεπίδραση

Η απλή προβολή ή η παροχή συνδέσμων εκπαιδευτικών βίντεο με animations στους μαθητές/τριες δεν διασφαλίζει από μόνη της την επίτευξη βαθιάς κατανόησης και ουσιαστικής μάθησης. Η πραγματική παιδαγωγική αξία αυτών των ψηφιακών εργαλείων αναδεικνύεται όταν αυτά εντάσσονται μέσα σε ένα σαφώς δομημένο, επιστημονικά τεκμηριωμένο εκπαιδευτικό πλαίσιο, το οποίο μετατρέπει την παθητική παρακολούθηση σε ενεργό γνωστική εμπλοκή (Lijo et al., 2024). Κεντρικό μοντέλο προς αυτή την κατεύθυνση αποτελεί η Ανεστραμμένη Τάξη (Flipped Classroom), όπου η παραδοσιακή δομή της διδασκαλίας αντιστρέφεται πλήρως (Ljubojevic et al., 2014). Η μετάδοση της νέας πληροφορίας μεταφέρεται εκτός του κοινού σχολικού χώρου και πραγματοποιείται στον ατομικό χρόνο του μαθητή μέσω της μελέτης σύντομων, εξειδικευμένων βίντεο με animations (Taher & Öncü, 2026). Με τον τρόπο αυτό, ο πολύτιμος χρόνος της σύγχρονης τηλεεκπαίδευσης ή της διά ζώσης διδασκαλίας απελευθερώνεται από την παθητική διάλεξη και μετατρέπεται σε ένα δυναμικό περιβάλλον συνεργατικής επίλυσης προβλημάτων, συζήτησης αντιπεριχειρημάτων και κριτικής ανάλυσης (Chaytor et al., 2017; Seery, 2015).

Μια άλλη επαναστατική στρατηγική είναι η μετάβαση από το συμβατικό, γραμμικό βίντεο στο Διαδραστικό Βίντεο (Interactive Video) μέσω ανοικτών ψηφιακών εργαλείων, τα οποία επιτρέπουν στον εκπαιδευτικό να ενσωματώνει ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, σύντομα κουίζ, δημοσκοπήσεις και επεξηγηματικές σημειώσεις απευθείας πάνω στη ροή του animation (Cresswell et al., 2020; Gedera & Zalipour, 2017). Η προσθήκη αυτών των διαδραστικών στοιχείων διακόπτει σκόπιμα την παθητικότητα του θεατή και απαιτεί τη συνεχή του νοητική εγρήγορση, καθώς ο μαθητής πρέπει να ανακαλέσει τη γνώση που μόλις παρουσιάστηκε, να απαντήσει στην ερώτηση και να λάβει άμεση παιδαγωγική ανατροφοδότηση (Drahl, 2010). Έρευνες δείχνουν ότι τα διαδραστικά βίντεο οδηγούν σε σημαντικά υψηλότερα ποσοστά ολοκλήρωσης, μεγαλύτερο χρόνο παρακολούθησης και αισθητή βελτίωση στις τελικές ακαδημαϊκές επιδόσεις των μαθητών/τριών, ιδιαίτερα στα

αντικείμενα των Θετικών Επιστημών και της μηχανικής, όπου η συνεχής αξιολόγηση των εννοιολογικών βημάτων είναι απαραίτητη (Kohler & Dietrich, 2021).

Παράλληλα, η έννοια της μικρομάθησης (microlearning) αναδεικνύεται σε καθοριστικό παράγοντα για την επιτυχία των ψηφιακών οπτικοποιήσεων στη σύγχρονη εκπαίδευση. Η σύγχρονη γενιά των μαθητών/τριών, όντας πλήρως εξοικειωμένη με την κατανάλωση περιεχομένου σε πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης, ανταποκρίνεται εξαιρετικά σε σύντομα, στοχευμένα οπτικοακουστικά μηνύματα. Τα βίντεο με animations που υιοθετούν τη φιλοσοφία του microlearning εστιάζουν στην ανάλυση μίας και μόνο συγκεκριμένης έννοιας ή διαδικασίας, αποφεύγοντας τη συσσώρευση περιττών πληροφοριών που θα υπερφόρτωναν την Μνήμη Εργασίας (Burewicz & Miranowicz, 2006). Αυτή η κατάτμηση επιτρέπει στους μαθητές/τριες να μελετούν αυτόνομα, να αναζητούν την πληροφορία ακριβώς τη στιγμή που τη χρειάζονται (just-in-time learning) και να επαναλαμβάνουν την παρακολούθηση όσες φορές επιθυμούν, ενισχύοντας τις δεξιότητες αυτορρυθμιζόμενης μάθησης και αυξάνοντας την ακαδημαϊκή τους αυτοπεποίθηση (Kay & Mann, 2022; Kuhlmann et al., 2024).

Ο Κίνδυνος της Γνωστικής Υπερφόρτωσης και ο Μετασχηματισμός του Ρόλου του Εκπαιδευτικού

Παρά τα αδιαμφισβήτητα πλεονεκτήματα, μια αντικειμενική και ισορροπημένη ακαδημαϊκή προσέγγιση επιβάλλει την εξέταση των σημαντικών προκλήσεων, των περιορισμών και των αντεπιχειρημάτων που συνοδεύουν την ενσωμάτωση του κινουμένου σχεδίου στην εκπαίδευση Θετικών Επιστημών. Η πρώτη μεγάλη πρόκληση σχετίζεται με τον κίνδυνο της γνωστικής υπερφόρτωσης όταν τα animations στερούνται επιστημονικού και παιδαγωγικού σχεδιασμού (Sweller et al., 2011). Πολλά βίντεο που είναι ελεύθερα διαθέσιμα στο διαδίκτυο υποφέρουν από υπερβολική οπτική πληροφορία, έντονα χρώματα, γρήγορο ρυθμό παρουσίασης ή άσχετα ηχητικά εφέ, στοιχεία που εξαντλούν τους περιορισμένους πόρους της εργαζόμενης μνήμης των μαθητών/τριών και οδηγούν σε απογοήτευση, σύγχυση ή επιφανειακή επεξεργασία (Brame, 2016), (Jackman, 2019). Επιπλέον, υφίσταται πάντοτε το ζήτημα του ψηφιακού χάσματος και των κοινωνικοοικονομικών ανισοτήτων, καθώς η πρόσβαση σε ποιοτικό οπτικοακουστικό

υλικό προϋποθέτει σταθερή σύνδεση υψηλής ταχύτητας και σύγχρονες συσκευές, στοιχεία που δεν είναι αυτονόητα για όλους τους μαθητές/τριες (Bates, 2019).

Μια άλλη κρίσιμη παράμετρος αφορά τη σαφή διάκριση ανάμεσα στα βίντεο επικοινωνίας της επιστήμης (dissemination videos) και στα καθαρά εκπαιδευτικά βίντεο (educational videos) που κυκλοφορούν σε πλατφόρμες όπως το YouTube και το TikTok (Fiallos et al., 2021; Mayer, 2009). Τα βίντεο εκλαϊκευμένης επιστήμης χαρακτηρίζονται από υψηλή δημοφιλία, εντυπωσιακά γραφικά και γρήγορο μοντάζ, με κύριο στόχο τον εντυπωσιασμό του θεατή και την ικανοποίηση της επιφανειακής περιέργειας (Lowenthal et al., 2020; Kohler & Dietrich, 2021). Ωστόσο, οι εκπαιδευτικοί πρέπει να είναι εξαιρετικά προσεκτικοί, καθώς η υψηλή δημοφιλία ή ο ψυχαγωγικός χαρακτήρας ενός βίντεο δεν συνεπάγεται αυτόματα και παιδαγωγική αποτελεσματικότητα (Lage et al., 2000; Welbourne & Grant, 2016). Πολλά από αυτά τα βίντεο λειτουργούν ως απομονωμένα κομμάτια πληροφορίας που στερούνται της απαραίτητης εννοιολογικής βάσης, της αυστηρής ευθυγράμμισης με τα αναλυτικά προγράμματα σπουδών και της γνωστικής εμβάθυνσης που απαιτείται για την επίτευξη των σχολικών μαθησιακών στόχων, ενώ ενδέχεται να εισάγουν και νέες παρανοήσεις λόγω υπεραπλούστευσης.

Οι δυσκολίες αυτές αναδεικνύουν τον αναντικατάστατο ρόλο του εκπαιδευτικού, ο οποίος σε καμία περίπτωση δεν υποκαθίσταται από την τεχνολογία, αλλά αναβαθμίζεται σε αρχιτέκτονα και επιμελητή του ψηφιακού μαθησιακού περιβάλλοντος (Smith, 2013). Η παραγωγή ή η επιλογή εκπαιδευτικών βίντεο με animations αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί από τον εκπαιδευτικό όχι μόνο βαθιά γνώση του αντικειμένου του, αλλά και υψηλό επίπεδο ψηφιακού, παιδαγωγικού και οπτικοακουστικού γραμματισμού (Lijo et al., 2024; Papadimitriou & Sofos, 2022). Πολλοί μάχιμοι εκπαιδευτικοί αντιμετωπίζουν σοβαρά εμπόδια, όπως η έλλειψη κατάλληλου λογισμικού, η χαμηλή αυτοπεποίθηση στις τεχνικές δεξιότητες επεξεργασίας βίντεο και ο περιορισμένος χρόνος εργασίας (Černá & Borkoncová, 2020; Sharmin et al., 2024; Escamilla-Fajardo et al., 2021). Για τον λόγο αυτό, είναι απολύτως αναγκαία η θεσμική υποστήριξη της εκπαιδευτικής κοινότητας μέσα από οργανωμένα προγράμματα επιμόρφωσης, τη δημιουργία οδηγών περιεχομένου και την παροχή έτοιμων, ανοικτών και αξιολογημένων ψηφιακών αποθετηρίων, ώστε να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητά τους και να διασφαλιστεί η ποιοτική ενσωμάτωση των οπτικοακουστικών μέσων στη σχολική πράξη (Giamellaro & Siegel, 2018; Herrington & Sweeder, 2025; Smith, 2013).

1.6.2 Γραφικές Αναπαραστάσεις Ποσοτικών Δεδομένων

Η σύγχρονη εκπαιδευτική τεχνολογία στο πεδίο των Θετικών Επιστημών δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη οπτικοακουστικών εργαλείων που διευκολύνουν την κατανόηση αφηρημένων και ποσοτικών εννοιών. Τα εκπαιδευτικά επιστημονικά βίντεο που χρησιμοποιούν γραφικές αναπαραστάσεις ποσοτικών δεδομένων, όπως στατιστικούς πίνακες συγκέντρωσης, δυναμικά γραφήματα κινητικής και διαγράμματα φάσεων, αποτελούν τον πυρήνα της σύγχρονης αναλυτικής εκπαίδευσης. Όπως τεκμηριώνουν οι Agustian και Seery (2017), η προετοιμασία των μαθητών/τριών μέσω οπτικών μέσων ενισχύει τη γνωστική τους ετοιμότητα, ενώ ο Alksne (2016) επισημαίνει ότι η σωστή διάρθρωση των δεδομένων στα βίντεο μεγιστοποιεί την ποσότητα της μεταδιδόμενης πληροφορίας.

Οι Benedict και Pence (2012), υπογραμμίζουν ότι οι τεχνολογικά ενισχυμένες αναπαραστάσεις βοηθούν τους μαθητές/τριες να συνδέσουν τις εμπειρικές μετρήσεις με τα θεωρητικά μοντέλα, μετατρέποντας την παθητική παρατήρηση σε μια ενεργητική διαδικασία ανάλυσης δεδομένων, γεγονός που ενισχύει τον επιστημονικό γραμματισμό. Η ιστορική και θεωρητική θεμελίωση των μέσων αυτών στην εξ αποστάσεως και ψηφιακή μάθηση συνδέεται άμεσα με το πρωτοποριακό έργο του A. W. Bates (1995).

Ο Bates (1995) ανέπτυξε ολοκληρωμένα πλαίσια για την επιλογή και τη χρήση των τεχνολογιών στην εκπαίδευση, τονίζοντας ότι η επιτυχία ενός μέσου δεν εξαρτάται μόνο από την τεχνική του αρτιότητα, αλλά κυρίως από τον τρόπο με τον οποίο υποστηρίζει συγκεκριμένες γνωστικές διαδικασίες, όπως η ανάλυση διαγραμμάτων και ο χειρισμός ποσοτικών μεταβλητών. Στο πλαίσιο της διδασκαλίας της Χημείας παραδείγματος χάριν, η εισαγωγή στατιστικών αναπαραστάσεων σε βίντεο επιτρέπει την άμεση σύνδεση των πειραματικών μετρήσεων (όπως ο όγκος προτύπου διαλύματος σε μια ογκομέτρηση) με τη δυναμική εμφάνιση μιας καμπύλης pH, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη και αυθεντική εμπειρία επιστημονικής διερεύνησης.

Η παιδαγωγική αποτελεσματικότητα της ενσωμάτωσης γραφημάτων και πινάκων εντός των εκπαιδευτικών βίντεο ερμηνεύεται μέσω της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης του Richard Mayer (2009). Σύμφωνα με τον Berk (2009) και τον

Brame (2016), η ταυτόχρονη παρουσίαση οπτικών δεδομένων (όπως ένα διάγραμμα Arrhenius που σχεδιάζεται σε πραγματικό χρόνο) και η ακουστική περιγραφή από τον εκπαιδευτικό επιτρέπει τη διπλή κωδικοποίηση της πληροφορίας. Οι Mayer και Moreno (2003), καθώς και οι Fiorella και Mayer (2021), προτείνουν συγκεκριμένες σχεδιαστικές αρχές, όπως η αρχή της σηματοδότησης και η αρχή της συνάφειας, οι οποίες επιβάλλουν την απομάκρυνση περιττών οπτικών στοιχείων από τα γραφήματα, ώστε να αποφεύγεται η γνωστική υπερφόρτωση της βραχύχρονης μνήμης των εκπαιδευόμενων. Για παράδειγμα όταν ένα βίντεο παρουσιάζει έναν πίνακα δεδομένων απορρόφησης σε σχέση με τη συγκέντρωση (νόμος Beer-Lambert), οι επεξηγηματικές ετικέτες και τα αντίστοιχα μαθηματικά σύμβολα πρέπει να τοποθετούνται δίπλα στα συγκεκριμένα γραφικά στοιχεία και να εμφανίζονται ταυτόχρονα με την προφορική ανάλυση. Αυτός ο προσεκτικός σχεδιασμός διασφαλίζει ότι οι μαθητές/τριες δεν θα αναλωθούν σε άσκοπη αναζήτηση πληροφοριών στην οθόνη, αλλά θα αφιερώσουν τους περιορισμένους γνωστικούς τους πόρους στη δόμηση συνεκτικών νοητικών μοντέλων και στην κατανόηση της γραμμικής σχέσης μεταξύ των χημικών μεταβλητών.

Όπως δείχνουν οι Sharmin et al. (2024), η προσαρμογή αυτών των οπτικών εργαλείων από τους εκπαιδευτικούς επιτρέπει τη βαθύτερη εννοιολογική κατανόηση, ενώ οι Burewicz και Miranowicz (2006) επιβεβαιώνουν ότι η πολυμεσική εργαστηριακή καθοδήγηση που περιλαμβάνει στατιστική επεξεργασία δεδομένων βελτιώνει σημαντικά τις επιδόσεις των φοιτητών. Για παράδειγμα, κατά τη μελέτη της χημικής ισορροπίας και της αρχής του Le Chatelier, ένα βίντεο μπορεί να απεικονίζει τη μεταβολή του χρώματος ενός διαλύματος λόγω αλλαγής της θερμοκρασίας και ταυτόχρονα να δείχνει ένα δυναμικό γράφημα της συγκέντρωσης των αντιδρώντων και προϊόντων σε συνάρτηση με τον χρόνο. Αυτή η άμεση απεικόνιση του σημείου ισορροπίας και της αποκατάστασής της βοηθά τους μαθητές/τριες να ξεπεράσουν τις κλασικές παρανοήσεις ότι οι αντιδράσεις σταματούν στην ισορροπία. Η οπτικοποίηση των ποσοτικών δεδομένων καθιστά ορατή τη δυναμική φύση της χημικής ισορροπίας, επιτρέποντας στους εκπαιδευόμενους να αντιληφθούν τη μαθηματική σταθερά K_c όχι απλώς ως έναν αφηρημένο αριθμό, αλλά ως τη ζωντανή αποτύπωση μιας χημικής πραγματικότητας.

Η συστηματική ενσωμάτωση και αξιολόγηση των βίντεο που περιέχουν στατιστικές και γραφικές αναπαραστάσεις στην τάξη απαιτεί την ανάπτυξη του οπτικοακουστικού γραμματισμού των εκπαιδευτικών, ένα ζήτημα που αναλύεται διεξοδικά από τους

Παπαδημητρίου και Σοφό (2022). Στο έργο τους, προτείνουν ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο για τη χρήση των οπτικοακουστικών μέσων, τονίζοντας ότι ο εκπαιδευτικός πρέπει να λειτουργεί ως κριτικός σχεδιαστής και αξιολογητής του ψηφιακού περιεχομένου. Τα βίντεο που περιλαμβάνουν χάρτες κατανομής ρύπων, στατιστικούς πίνακες ή γραφήματα χημικών ιδιοτήτων (όπως η περιοδικότητα της ενέργειας ιοντισμού) πρέπει να εντάσσονται σε δομημένα εκπαιδευτικά σενάρια που καθοδηγούν την προσοχή του μαθητή και προάγουν τον κριτικό γραμματισμό στα μέσα.

Οι Παπαδημητρίου και Σοφός (2022) επισημαίνουν ότι η απλή προβολή δεδομένων στην οθόνη δεν εγγυάται τη μάθηση, αν δεν συνοδεύεται από κατάλληλες δραστηριότητες αποκωδικοποίησης. Για τον λόγο αυτό, προτείνουν τη δημιουργία ψηφιακών εκπαιδευτικών σεναρίων όπου οι μαθητές/τριες καλούνται να αναλύσουν τη δομή του βίντεο, να απομονώσουν τις γραφικές παραστάσεις και να ερμηνεύσουν τις τάσεις που παρουσιάζονται. Στην διδασκαλία της Χημείας Περιβάλλοντος, για παράδειγμα, η χρήση χαρτών και διαγραμμάτων που δείχνουν τη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου επιτρέπει στους μαθητές/τριες να αναπτύξουν δεξιότητες ανάλυσης δεδομένων μεγάλης κλίμακας (big data), ενισχύοντας τον επιστημονικό τους γραμματισμό και την ικανότητα λήψης αποφάσεων με βάση τεκμηριωμένα στοιχεία.

Τα εκπαιδευτικά βίντεο που εστιάζουν στην παρουσίαση ποσοτικών δεδομένων μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με τον διδακτικό τους στόχο. Τα βίντεο επίλυσης προβλημάτων, όπως αυτά που μελετήθηκαν από τους Richards-Babb et al. (2014), καθώς και από τους He et al. (2012), χρησιμοποιούν screencasts για να δείξουν βήμα προς βήμα τη μαθηματική επεξεργασία και τη γραφική αποτύπωση πειραματικών μετρήσεων. Παράλληλα, τα βίντεο προετοιμασίας εργαστηρίου, όπως αναλύουν οι Chaytor et al. (2017), χρησιμοποιούν πίνακες δεδομένων και διαγράμματα ροής για να καθοδηγήσουν τους μαθητές/τριες στις σωστές πειραματικές πρακτικές.

Οι Harmer και Hill (2021) υπογραμμίζουν ότι η χρήση βίντεο με μοναδικά σύνολα δεδομένων ενισχύει την ανεξαρτησία των εκπαιδευόμενων, ενώ οι Carmichael et al. (2018) επισημαίνουν ότι η ενσωμάτωση πινάκων και διαγραμμάτων αυξάνει την κριτική σκέψη. Ειδικότερα στη Χημική Κινητική, τα βίντεο επίλυσης προβλημάτων επιτρέπουν την οπτικοποίηση της μεταβολής της ταχύτητας μιας αντίδρασης σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση των αντιδρώντων. Η προβολή ενός πίνακα πειραματικών δεδομένων αρχικών ταχυτήτων και η ταυτόχρονη σχεδίαση της καμπύλης συγκέντρωσης-χρόνου στην οθόνη

βοηθά τους μαθητές/τριες να κατανοήσουν πώς προσδιορίζεται πειραματικά η τάξη μιας αντίδρασης. Με αυτόν τον τρόπο, η συμβολική μαθηματική σχέση του νόμου ταχύτητας συνδέεται άμεσα με την εμπειρική πραγματικότητα του εργαστηρίου, μειώνοντας την αφαίρεση και ενισχύοντας τη μεταγνωστική ικανότητα των μαθητών/τριών να ερμηνεύουν πειραματικά σφάλματα.

Αντεστραμμένη Τάξη και Διαδραστικά Βίντεο

Η αποτελεσματική αξιοποίηση των βίντεο ποσοτικών δεδομένων απαιτεί την ένταξή τους σε σύγχρονα διδακτικά μοντέλα, όπως η Αντεστραμμένη Τάξη (Flipped Classroom). Ο Seery (2015), καθώς και οι Kay και Mann (2024), τεκμηριώνουν ότι η ασύγχρονη μελέτη των γραφημάτων και των πινάκων στο σπίτι επιτρέπει στους μαθητές/τριες να προσέλθουν στο μάθημα έτοιμοι να συμμετάσχουν σε δραστηριότητες ανώτερου γνωστικού επιπέδου. Η ενεργός εμπλοκή ενισχύεται μέσω των προσεγγίσεων των Kuhlmann et al. (2024), οι οποίοι υποστηρίζουν ότι η μετάβαση από την παθητική θέαση στην εποικοδομητική και διαδραστική επεξεργασία των διαγραμμάτων είναι κρίσιμη για τη βαθιά μάθηση.

Στο πλαίσιο αυτό, ο εκπαιδευτικός μπορεί να ενσωματώσει το μοντέλο Πρόβλεψη-Παρατήρηση-Εξήγηση κατά την προβολή ενός γραφήματος. Για παράδειγμα, το βίντεο μπορεί να σταματά αυτόματα πριν από την εμφάνιση του σημείου ισοδυναμίας σε μια καμπύλη ογκομέτρησης ασθενούς οξέος από ισχυρή βάση, ζητώντας από τους μαθητές/τριες να προβλέψουν αν το pH στο σημείο αυτό θα είναι ίσο, μικρότερο ή μεγαλύτερο του επτά. Αυτή η σύντομη διακοπή ενεργοποιεί τη γνωστική επεξεργασία, αναγκάζει τον μαθητή να ανακαλέσει τις γνώσεις του για την υδρόλυση των αλάτων και μετατρέπει τη θέαση σε μια δυναμική διαδικασία ελέγχου υποθέσεων.

Η ενσωμάτωση διαδραστικών στοιχείων εντός των βίντεο που παρουσιάζουν ποσοτικά δεδομένα επιτρέπει στους μαθητές/τριες να αλληλεπιδρούν άμεσα με τις μεταβλητές. Όπως περιγράφουν οι Cresswell et al. (2019), η δημιουργία διαδραστικών οπτικών εργαλείων προσφέρει άμεση υποστήριξη κατά τη διάρκεια της εργαστηριακής διαδικασίας. Οι Hudson και Luska (2013) αναδεικνύουν τη σημασία της ενσωμάτωσης ζωντανών επιδείξεων μαζί με στατιστικά διαγράμματα, ενώ οι Hsin και Cigas (2013)

επιβεβαιώνουν ότι η χρήση σύντομων, στενευμένων διαδραστικών βίντεο βελτιώνει τα μαθησιακά αποτελέσματα και κρατά αμείωτο το ενδιαφέρον των εκπαιδευόμενων.

Χρησιμοποιώντας εργαλεία όπως το H5P, οι μαθητές/τριες μπορούν να κάνουν κλικ πάνω σε συγκεκριμένα σημεία μιας καμπύλης θέρμανσης (clickable hotspots) για να εμφανιστεί ένα παράθυρο με την επεξήγηση των φαινομένων που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των φάσεων σταθερής θερμοκρασίας (τήξη, βρασμός). Αυτή η μορφή αλληλεπίδρασης συνδέει άμεσα τη μακροσκοπική παρατήρηση της σταθερότητας της θερμοκρασίας με την ποσοτική προσθήκη θερμότητας, βοηθώντας τους μαθητές/τριες να κατανοήσουν τη διαφορά μεταξύ αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας χωρίς να υπερφορτωθούν γνωστικά.

Επικοδομητική Προσέγγιση: Βίντεο Ποσοτικών Δεδομένων από τους Μαθητές/τριες

Μια ιδιαίτερα καινοτόμος προσέγγιση είναι η ανάθεση στους ίδιους τους μαθητές/τριες να δημιουργήσουν βίντεο που παρουσιάζουν και αναλύουν ποσοτικά δεδομένα (Student-Generated Videos). Οι Box et al. (2017), καθώς και οι Fernández et al. (2023), αναλύουν πώς η δημιουργία βίντεο από τους μαθητές/τριες προάγει τη βαθιά κατανόηση των χημικών αντιδράσεων. Η διαδικασία αυτή απαιτεί από τον μαθητή να οργανώσει το σενάριο, να επεξεργαστεί τις μετρήσεις του και να σχεδιάσει ο ίδιος τα γραφήματα, εξηγώντας τα στους συμμαθητές/τριες του.

Οι μελέτες των Gallardo-Williams et al. (2021), καθώς και των Hubbard et al. (2019), επιβεβαιώνουν ότι αυτή η πρακτική ενισχύει τις επικοινωνιακές δεξιότητες, ενώ οι Jordan et al. (2016) αποδεικνύουν την υψηλή αποτελεσματικότητα αυτού του εργαλείου. Όταν οι μαθητές/τριες καλούνται να βιντεοσκοπήσουν ένα πείραμα προσδιορισμού της συγκέντρωσης ενός αγνώστου διαλύματος με τη χρήση φωτομετρίας (νόμος Beer-Lambert), υποχρεούνται να κατασκευάσουν μια πρότυπη καμπύλη αναφοράς. Η ανάγκη να εξηγήσουν στο βίντεο τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ απορρόφησης και συγκέντρωσης, καθώς και τον υπολογισμό της κλίσης της ευθείας, οδηγεί σε μια βαθιά εννοιολογική κατάκτηση. Οι μαθητές/τριες παύουν να εφαρμόζουν τυφλά μαθηματικούς τύπους και αρχίζουν να σκέφτονται ως πραγματικοί επιστήμονες, αναπτύσσοντας παράλληλα πολύτιμες δεξιότητες παρουσίασης και ψηφιακού γραμματισμού.

Ανάλυση Μαθησιακών Δεδομένων μέσω αλληλεπίδρασης με γραφήματα

Η χρήση των μαθησιακών δεδομένων και των analytics των καναλιών, όπως το YouTube, προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο που οι μαθητές/τριες μελετούν τις γραφικές αναπαραστάσεις. Όπως καταδεικνύουν οι Giannakos et al. (2015), καθώς και οι Giannakos et al. (2016), οι συμπεριφορές θέασης, όπως οι συχνές επαναλήψεις (rewinds) σε σημεία όπου εμφανίζεται ένας σύνθετος στατιστικός πίνακας ή ένα διάγραμμα, αποκαλύπτουν τα σημεία που προκαλούν γνωστική δυσκολία. Οι Lijo et al. (2024) ανέλυσαν ποιοτικά τα δεδομένα θέασης σε ψηφιακά κανάλια Θετικών Επιστημών, επιβεβαιώνοντας ότι οι μαθητές/τριες αφιερώνουν περισσότερο χρόνο στα τμήματα του βίντεο που συνδέουν το πείραμα με ποσοτικά διαγράμματα. Αυτά τα δεδομένα (clickstream data) επιτρέπουν στους εκπαιδευτικούς σχεδιαστές να εντοπίσουν αν ένα γράφημα είναι υπερβολικά φορτωμένο ή αν η επεξήγηση της κλίσης μιας καμπύλης ταχύτητας αντίδρασης χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση. Αν παρατηρηθεί ότι η πλειονότητα των μαθητών/τριών επαναλαμβάνει πολλαπλές φορές το τμήμα του βίντεο που εξηγεί τη χρήση των λογαρίθμων στην κλίμακα pH, ο εκπαιδευτικός μπορεί να παρέμβει στη διά ζώσης τάξη για να επιλύσει αυτή τη συγκεκριμένη μαθηματική δυσκολία, καθιστώντας τη διδασκαλία του απόλυτα στοχευμένη και προσαρμοσμένη στις ανάγκες των μαθητών/τριών.

Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί

Η χρήση γραφικών αναπαραστάσεων ποσοτικών δεδομένων στα βίντεο Θετικών Επιστημών προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως την άρση των γεωγραφικών αποκλεισμών και την παροχή ισότιμης πρόσβασης σε υψηλού επιπέδου αναλυτικά δεδομένα για μαθητές/τριες απομακρυσμένων περιοχών, γεγονός που υποστηρίζεται από τους Cherif et al. (2014). Οι Ljubojevic et al. (2014) τονίζουν την αύξηση της αποδοτικότητας της μάθησης μέσω της πολυμεσικής υποστήριξης των πινάκων. Ωστόσο, οι Saldivar-A. και Flores-H. (2024) αναδεικνύουν τις τεχνολογικές και παιδαγωγικές προκλήσεις, επισημαίνοντας τον κίνδυνο της γνωστικής υπερφόρτωσης όταν τα γραφήματα

είναι υπερβολικά σύνθετα. Ομοίως, οι Duboni και Tabak (2022) αναφέρουν ότι το YouTube λειτουργεί ως ένας άτυπος χώρος επιστημονικής διάχυσης, αλλά απαιτείται προσοχή καθώς η έλλειψη κριτικού ελέγχου μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες ερμηνείες στατιστικών δεδομένων.

Επιπλέον, η πλήρης αντικατάσταση του φυσικού εργαστηρίου από βίντεο δεδομένων ενέχει τον κίνδυνο απώλειας της χειρωνακτικής εμπειρίας (tactile learning). Οι μαθητές/τριες πρέπει να αναπτύξουν την ψυχοκινητική δεξιότητα να χειρίζονται μια προχοΐδα ή ένα σιφώνιο μέτρησης, κάτι που το βίντεο μπορεί μόνο να επιδείξει και όχι να υποκαταστήσει. Επομένως, η ιδανική χρήση των βίντεο ποσοτικών δεδομένων είναι ως υποστηρικτικό εργαλείο προετοιμασίας ή ανασκόπησης, το οποίο λειτουργεί συμπληρωματικά και ενισχυτικά προς τη φυσική εργαστηριακή πρακτική, διασφαλίζοντας την ισορροπία μεταξύ θεωρίας, πράξης και ψηφιακής ανάλυσης.

1.6.3 Βιντεοσκόπηση Πειράματος

Η ενσωμάτωση των οπτικοακουστικών μέσων στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών αποτελεί ένα από τα πιο δυναμικά μελέτης της σύγχρονης εκπαιδευτικής τεχνολογίας, καθώς επιδιώκει να συνδέσει τη θεωρητική γνώση με την εργαστηριακή εφαρμογή. Πλήθος μελετών, όπως αυτές των Agustian και Seery (2017), του Alksne (2016), αναδεικνύουν ότι τα ψηφιακά μέσα μετασχηματίζουν το μαθησιακό περιβάλλον, ενισχύοντας τη δημιουργικότητα και το ενδιαφέρον, όπως συμπληρώνουν οι Benedict και Pence (2012).

Ιστορικά, η χρήση εργαστηριακών ταινιών ξεκίνησε ήδη από τη δεκαετία του 1970 για την παρουσίαση εξειδικευμένων τεχνικών, με πρωτοπόρους τους Nienhowe και Nash, ενώ οι Kempa και Palmer απέδειξαν τη σημασία των μαγνητοσκοπημένων επιδείξεων. Παράλληλα, ο Drahl (2010) επιβεβαιώνει ότι η οπτικοποίηση διευκολύνει την εξοικείωση με τον εργαστηριακό εξοπλισμό. Η εξέλιξη αυτή επέτρεψε στους εκπαιδευτικούς να υπερβούν τους φυσικούς περιορισμούς της σχολικής αίθουσας, προσφέροντας παρατηρήσεις που υπό άλλες συνθήκες θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν λόγω κόστους ή επικινδυνότητας.

Με την έλευση του Web 2.0 και πλατφορμών ανοικτής πρόσβασης όπως το YouTube, η διανομή εκπαιδευτικού υλικού διευρύνθηκε σημαντικά, όπως τεκμηριώνουν οι

Berk (2009), Brame (2016) και Jackman (2019). Οι Παπαδημητρίου και Σοφός (2022) αναλύουν πώς το εκπαιδευτικό βίντεο προσφέρει πλέον στον μαθητή τον έλεγχο της ροής της πληροφορίας. Επιπλέον, οι Hsin και Cigas (2013) υπογραμμίζουν ότι τα σύντομα βίντεο βελτιώνουν τις επιδόσεις, ενώ ο DeVaney (2009) αναδεικνύει τον ρόλο των ψηφιακών μέσων στην κατανόηση στατιστικών δεδομένων.

Οι μελέτες των Burewicz και Miranowicz (2006), καθώς και των Carmichael et al. (2018), επισημαίνουν ότι η σωστή επιλογή του μέσου ενισχύει την προσοχή, ενώ η Θεωρία Γνωστικού Φορτίου των Chandler και Sweller (1991) θέτει τα απαραίτητα όρια της ανθρώπινης μνήμης. Η δυνατότητα ασύγχρονης πρόσβασης επιτρέπει στους μαθητές/τριες να επαναλαμβάνουν τη θέαση δύσκολων πειραματικών διαδικασιών, μειώνοντας το αίσθημα αποτυχίας και ενισχύοντας την αυτόνομη μάθηση.

Μαθησιακά Δεδομένα, Συμπεριφορά Θέασης και Ενσωμάτωση

Η ανάλυση των μαθησιακών δεδομένων (learning analytics) που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση των μαθητών/τριών με τις πλατφόρμες βίντεο προσφέρει μια νέα διάσταση στην κατανόηση της γνωστικής εμπλοκής. Όπως καταδεικνύουν οι Giannakos et al. (2015), (2016), οι τάσεις αναπαραγωγής, όπως οι συχνές παύσεις και οι επαναλήψεις συγκεκριμένων αποσπασμάτων, αποτελούν δείκτες γνωστικής δυσκολίας ή αυξημένου ενδιαφέροντος. Οι Kay και Mann (2024) επισημαίνουν ότι οι εκπαιδευόμενοι χρησιμοποιούν αυτή την ευελιξία για να ρυθμίσουν τον προσωπικό τους ρυθμό μάθησης, κάτι που επιβεβαιώνεται και από την έρευνα των Lijo et al. (2024), οι οποίοι ανέλυσαν ποιοτικά τα δεδομένα θέασης σε κανάλια Θετικών Επιστημών. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη σε πειράματα που έχουν πολλά βήματα, όπου η κατανόηση του επόμενου βήματος εξαρτάται από την εμπειρική αφομοίωση του προηγούμενου, επιτρέποντας στον μαθητή να ελέγχει πλήρως τη γνωστική του επεξεργασία.

Ο σχεδιασμός ποιοτικών βίντεο απαιτεί την εφαρμογή των αρχών της κατάτμησης, της σηματοδότησης και της εξάλειψης περιττών στοιχείων, όπως υπογραμμίζουν οι Ibrahim et al. (2012), καθώς και οι Herrington και Sweeder (2025). Οι Chaytor et al. (2017) αναδεικνύουν την αρχή της προετοιμασίας, ενώ οι He et al. (2012), καθώς και οι Richards-Babb et al. (2014), δείχνουν ότι τα βίντεο επίλυσης προβλημάτων βοηθούν στην ανάπτυξη μεταγνωστικών δεξιοτήτων. Οι Harmer και Hill (2021) επισημαίνουν ότι η χρήση εξειδικευμένων βίντεο μειώνει το άγχος των μαθητών/τριών απέναντι στον εξοπλισμό, ενώ

οι Fyfield et al. (2021) αναλύουν τη συσχέτιση της εύρεσης κατάλληλων βίντεο με τις εκπαιδευτικές στρατηγικές. Η σωστή κατηγοριοποίηση των βίντεο επιτρέπει στον εκπαιδευτικό να επιλέγει το κατάλληλο εργαλείο για την αντίστοιχη φάση του μαθήματος, μεγιστοποιώντας τα μαθησιακά οφέλη.

Για την επιτυχή ενσωμάτωση των βίντεο πειραμάτων στην εκπαιδευτική πράξη, η επαγγελματική ανάπτυξη και επιμόρφωση των εκπαιδευτικών είναι καθοριστική, όπως επισημαίνουν οι Παπαδημητρίου και Σοφός (2022). Η δημιουργία κοινοτήτων μάθησης, όπως αναλύεται διεξοδικά στις σύγχρονες προσεγγίσεις των YouTube video clubs, προσφέρει ένα γόνιμο έδαφος για την ανταλλαγή καλών πρακτικών. Οι εκπαιδευτικοί, συμμετέχοντας σε τέτοιες δομές, αναπτύσσουν ψηφιακό οπτικοακουστικό γραμματισμό και μαθαίνουν να αναζητούν αποτελεσματικά το υλικό τους, αποφεύγοντας τις παγίδες των αλγορίθμων, σύμφωνα με τους Fyfield et al. (2021). Επιπλέον, η διαδικασία του σχεδιασμού και της παραμετροποίησης οπτικών μέσων μέσα από εξειδικευμένα σεμινάρια επαγγελματικής ανάπτυξης, όπως περιγράφουν οι Sharmin et al. (2024), ενισχύει σημαντικά την ικανότητα των καθηγητών να προσαρμόζουν το υλικό στις ανάγκες των μαθητών/τριών τους. Η παραγωγή και η χρήση κατάλληλα δομημένων διαλέξεων και βιντεοσκοπήσεων, όπως προτείνει ο Alksne (2016), αποτελεί τη βάση για τη βελτίωση των εκπαιδευτικών ικανοτήτων και την ενδυνάμωση των πεποιθήσεων αποτελεσματικότητας των διδασκόντων στα Θετικών Επιστημών.

Πλεονεκτήματα, Προκλήσεις και Εκπαιδευτική Πραγματικότητα

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης βίντεο περιλαμβάνουν την ασφάλεια κατά την εκτέλεση επικίνδυνων πειραμάτων και την άρση των γεωγραφικών αποκλεισμών, προσφέροντας ίσες ευκαιρίες μάθησης. Η θετική επίδραση στην εσωτερική παρακίνηση και τη συναισθηματική εμπλοκή των μαθητών/τριών υπογραμμίζεται από τους Cherif et al. (2014), ενώ οι Ljubojevic et al. (2014) τονίζουν την ενίσχυση της αποδοτικότητας της μάθησης μέσω της πολυμεσικής υποστήριξης. Παράλληλα, οι ποιοτικές αναλύσεις των Lijo et al. (2024) δείχνουν πώς τα δεδομένα συμπεριφοράς των χρηστών επιβεβαιώνουν την υψηλή παιδαγωγική αξία του μέσου. Ωστόσο, η απώλεια της χειρωνακτικής εμπειρίας (tactile learning), όπως επισημαίνουν οι Agustian και Seery (2017), παραμένει ένας σημαντικός περιορισμός που δεν πρέπει να αγνοείται. Επιπλέον, οι Saldivar-A. και Flores-H. (2024) αναλύουν τις θεσμικές, τεχνολογικές και παιδαγωγικές προκλήσεις της

ηλεκτρονικής μάθησης στα Θετικών Επιστημών, ενώ οι Berk (2009) και Brame (2016) υπενθυμίζουν την ανάγκη για αυστηρά κριτήρια επιλογής του υλικού. Οι Kuhlmann et al. (2024) συμπληρώνουν ότι η έλλειψη κριτικής αξιολόγησης του περιεχομένου μπορεί να οδηγήσει σε επιφανειακή μάθηση ή ενίσχυση παρανοήσεων.

1.6.4 Μοντέλα Προσομοίωσης

Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών οπτικοποίησης στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών αποτελεί ένα από τα πιο δυναμικά έρευνας στην εκπαιδευτική τεχνολογία, επαναπροσδιορίζοντας τη σχέση ανάμεσα στη θεωρία και την εμπειρική παρατήρηση. Τα εκπαιδευτικά επιστημονικά βίντεο που ενσωματώνουν μοντέλα προσομοίωσης, Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality - VR) και Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality - AR) προσφέρουν καινοτόμες λύσεις για την αποτύπωση πολύπλοκων επιστημονικών εννοιών που είναι αόρατες στο γυμνό μάτι. Όπως τεκμηριώνουν οι Agustian και Seery (2017), η προετοιμασία των μαθητών/τριών μέσω πολυμεσικών περιβαλλόντων ενισχύει τη γνωστική τους ετοιμότητα πριν από την είσοδο στο εργαστήριο, ενώ ο Alksne (2016) επισημαίνει ότι η σωστή διάρθρωση των οπτικών πληροφοριών μεγιστοποιεί την αφομοίωση του περιεχομένου. Οι Benedict και Pence (2012), υπογραμμίζουν ότι αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν στους μαθητές/τριες να συνδέσουν τις θεωρητικές αφαιρέσεις με ψηφιακά μοντέλα, μετατρέποντας την παραδοσιακή διδασκαλία σε μια δυναμική και βιωματική μαθησιακή εμπειρία.

Φέρνοντας ένα παράδειγμα από τη Χημεία, η ανάγκη για τρισδιάστατες και δυναμικές αναπαραστάσεις είναι επιτακτική, καθώς οι μαθητές/τριες συχνά δυσκολεύονται να αντιληφθούν τη χωρική δομή και τη συμπεριφορά των μορίων. Η ενσωμάτωση μοντέλων προσομοίωσης και περιβαλλόντων VR/AR σε εκπαιδευτικά βίντεο επιτρέπει την οπτικοποίηση της μοριακής γεωμετρίας, του υβριδισμού των ατομικών τροχιακών, της διάταξης των κρυστάλλων και των μηχανισμών των χημικών αντιδράσεων, όπως οι πυρηνόφιλες υποκαταστάσεις. Με τη βοήθεια αυτών των μέσων, διαδικασίες που παραδοσιακά διδάσκονταν με στατικές δισδιάστατες εικόνες σε βιβλία αποκτούν κίνηση και βάθος, επιτρέποντας στους μαθητές/τριες να αναπτύξουν ισχυρά χωρικά νοητικά μοντέλα και να ξεπεράσουν εννοιολογικά εμπόδια που σχετίζονται με τη υποατομική φύση της ύλης.

Η συστηματική ένταξη των προσομοιώσεων και των τεχνολογιών VR/AR στα εκπαιδευτικά οπτικοακουστικά μέσα θεμελιώνεται θεωρητικά στο πρωτοποριακό έργο του A. W. Bates (1995) σχετικά με την επιλογή και την αξιολόγηση των εκπαιδευτικών τεχνολογιών. Ο Bates (1995) ανέπτυξε ολοκληρωμένα μοντέλα που τονίζουν ότι κάθε εκπαιδευτικό μέσο διαθέτει μοναδικές παιδαγωγικές δυνατότητες (affordances), οι οποίες

πρέπει να ευθυγραμμίζονται απόλυτα με τους διδακτικούς στόχους του προγράμματος σπουδών. Σύμφωνα με την προσέγγισή του, οι προσομοιώσεις και τα εικονικά περιβάλλοντα στα βίντεο Θετικών Επιστημών δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται απλώς ως στοιχεία εντυπωσιασμού, αλλά ως αυτόνομα γνωστικά εργαλεία που επιτρέπουν τον έλεγχο μεταβλητών, τη δοκιμή υποθέσεων και την αναπαράσταση φαινομένων που είναι αδύνατο να αναπαραχθούν σε ένα συμβατικό σχολικό εργαστήριο λόγω κόστους ή ασφάλειας.

Ο Bates (1995) υπογραμμίζει επίσης ότι η επιλογή των μέσων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη διαδραστικότητα και την ανταπόκριση του συστήματος στις ενέργειες του μαθητή. Όταν ένα εκπαιδευτικό βίντεο ενσωματώνει μοντέλα προσομοίωσης, επιτρέπει στον εκπαιδευόμενο να παρατηρήσει άμεσα τις συνέπειες των επιλογών του, όπως τη μεταβολή της πίεσης ή της θερμοκρασίας σε ένα αέριο και την αντίστοιχη επίδραση στον αριθμό των αποτελεσματικών συγκρούσεων μεταξύ των μορίων σύμφωνα με την κινητική θεωρία. Αυτή η δυνατότητα προσφέρει μια ισχυρή βάση για την ανάπτυξη της κριτικής σκέψης, καθώς ο μαθητής δεν παρακολουθεί απλώς ένα προκαθορισμένο αποτέλεσμα, αλλά καθίσταται συν-διαμορφωτής της ψηφιακής πειραματικής διαδικασίας, γεγονός που ενισχύει την εσωτερική του παρακίνηση και την αυτονομία του.

Η παιδαγωγική εγκυρότητα των βίντεο που ενσωματώνουν VR, AR και μοντέλα προσομοίωσης ερμηνεύεται και καθοδηγείται από τη Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης του Richard Mayer (2009). Σύμφωνα με τον Berk (2009) και τον Brame (2016), η χρήση τρισδιάστατων μοντέλων προσομοίωσης στα βίντεο επιτρέπει τη διπλή κωδικοποίηση (dual coding) της γνώσης. Ωστόσο, η εισαγωγή εξαιρετικά σύνθετων περιβαλλόντων VR και AR ενέχει τον κίνδυνο της γνωστικής υπερφόρτωσης, καθώς ο οπτικός διάυλος μπορεί να κατακλυστεί από περιττές πληροφορίες ή εντυπωσιακά αλλά άσχετα γραφικά στοιχεία.

Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, ο Mayer (2009) προτείνει την αυστηρή εφαρμογή της αρχής της χωρικής και χρονικής συνάφειας, καθώς και των Αρχών της Κατάτμησης και της Σηματοδότησης, οι οποίες αναλύονται περαιτέρω από τους Mayer και Moreno (2003) και τους Fiorella και Mayer (2021). Όταν ένα βίντεο χρησιμοποιεί Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) για να προβάλει το τρισδιάστατο μοντέλο ενός συμπλόκου χημικού μορίου πάνω από μια πραγματική συσκευή, οι επεξηγηματικές κειμενικές ετικέτες πρέπει να εμφανίζονται ακριβώς δίπλα στα αντίστοιχα άτομα και τους δεσμούς, συγχρονισμένες απόλυτα με την προφορική αφήγηση. Αυτός ο σχεδιασμός

μειώνει το εξωγενές γνωστικό φορτίο (extraneous cognitive load), επιτρέποντας στους μαθητές/τριες να εστιάσουν τη νοητική τους προσπάθεια στη δημιουργική επεξεργασία (germane processing) των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και των πολικотήτων του μορίου.

Τα βίντεο που ενσωματώνουν δυναμικές προσομοιώσεις επιτρέπουν την ταυτόχρονη και συντονισμένη προβολή και των τριών επιπέδων στην ίδια οθόνη. Για παράδειγμα, κατά τη διδασκαλία της χημικής κινητικής και της θεωρίας των συγκρούσεων, το βίντεο μπορεί να δείχνει σε ένα παράθυρο την πραγματική αντίδραση (μακροσκοπικό επίπεδο), στο κεντρικό κάδρο μια τρισδιάστατη προσομοίωση των μορίων που συγκρούονται με κατάλληλο προσανατολισμό και ενέργεια (υποατομικό επίπεδο), και σε ένα διπλανό διάγραμμα τη δυναμική σχεδίαση της καμπύλης της ταχύτητας αντίδρασης σε συνάρτηση με τον χρόνο (συμβολικό επίπεδο). Όπως καταδεικνύουν οι Sharmin et al. (2024), αυτή η ολιστική αναπαράσταση μειώνει το νοητικό χάσμα, βοηθά τους μαθητές/τριες να κατανοήσουν τη φυσική σημασία των χημικών συμβόλων και προάγει τη βαθιά εννοιολογική αλλαγή.

Ψηφιακά Εκπαιδευτικά Σενάρια και Οπτικοακουστικός Γραμματισμός

Η αποτελεσματική αξιοποίηση των βίντεο προσομοίωσης και VR/AR στην εκπαιδευτική διαδικασία προϋποθέτει την ανάπτυξη του οπτικοακουστικού γραμματισμού των εκπαιδευτικών, ένα ζήτημα που αναλύεται διεξοδικά από τους Παπαδημητρίου και Σοφό (2022). Στο έργο τους, οι συγγραφείς προτείνουν ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο για τη σχεδίαση και την ενσωμάτωση των οπτικοακουστικών μέσων στην ψηφιακή τάξη, τονίζοντας ότι τα μέσα αυτά δεν πρέπει να λειτουργούν αποσπασματικά, αλλά να αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι καλά δομημένων ψηφιακών εκπαιδευτικών σεναρίων. Οι Παπαδημητρίου και Σοφός (2022) υπογραμμίζουν ότι οι εκπαιδευτικοί πρέπει να αναπτύξουν την ικανότητα να αποκωδικοποιούν την εσωτερική δομή των πολυμεσικών μηνυμάτων και να καθοδηγούν τους μαθητές/τριες στην κριτική ανάλυση των ψηφιακών μοντέλων, διασφαλίζοντας ότι η τεχνολογία υπηρετεί αποκλειστικά την παιδαγωγική διαδικασία.

Στο πλαίσιο των Θετικών Επιστημών, ένα ψηφιακό εκπαιδευτικό σενάριο που βασίζεται σε βίντεο Επαυξημένης Πραγματικότητας (AR) επιτρέπει στους μαθητές/τριες να

χρησιμοποιούν τις έξυπνες συσκευές τους για να «ζωντανέψουν» στατικά διαγράμματα μοριακών πλεγμάτων. Οι Παπαδημητρίου και Σοφός (2022) επισημαίνουν ότι αυτές οι εφαρμογές πρέπει να είναι ανοικτές και παραμετροποιήσιμες, δίνοντας τη δυνατότητα στον εκπαιδευτικό να τροποποιεί το περιεχόμενο ανάλογα με το γνωστικό επίπεδο και τις ανάγκες της δικής του τάξης. Με αυτόν τον τρόπο, η χρήση του βίντεο ξεπερνά τα όρια της παθητικής κατανάλωσης και μετατρέπεται σε ένα εργαλείο ενεργητικής διερεύνησης, όπου οι μαθητές/τριες αναπτύσσουν παράλληλα τον ψηφιακό, τον οπτικοακουστικό και τον επιστημονικό τους γραμματισμό, αποκτώντας δεξιότητες απαραίτητες για τον 21ο αιώνα.

Τυπολογία και Σχεδιαστικές Προδιαγραφές Βίντεο Προσομοίωσης

Τα εκπαιδευτικά βίντεο που χρησιμοποιούν μοντέλα προσομοίωσης και VR/AR μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες, ανάλογα με τον επιδιωκόμενο διδακτικό στόχο και τη δομή τους. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα *βίντεο προετοιμασίας εργαστηρίου (pre-laboratory videos)*, τα οποία εστιάζουν στην εξοικείωση των μαθητών/τριών με εικονικές διατάξεις και όργανα μέτρησης, όπως αναλύουν οι Chaytor et al. (2017). Η δεύτερη κατηγορία αφορά τα *βίντεο επίλυσης προβλημάτων (problem-solving videos)*, τα οποία συνδέουν τις δυναμικές αλλαγές των προσομοιώσεων με ποσοτικούς υπολογισμούς, όπως δείχνουν οι He et al. (2012) και οι Richards-Babb et al. (2014). Η τρίτη κατηγορία αποτελείται από τα *βίντεο επικοινωνίας της επιστήμης (outreach videos)*, τα οποία χρησιμοποιούν εντυπωσιακά τρισδιάστατα γραφικά και αφήγηση (storytelling) για να προσελκύσουν το ενδιαφέρον του ευρύτερου κοινού.

Οι Harmer και Hill (2021) επισημαίνουν ότι η χρήση εξειδικευμένων βίντεο προσομοίωσης μειώνει σημαντικά το ψυχολογικό άγχος των εκπαιδευόμενων απέναντι στον περίπλοκο και ακριβό εργαστηριακό εξοπλισμό, καθώς τους επιτρέπει να κάνουν λάθη σε ένα ασφαλές ψηφιακό περιβάλλον. Παράλληλα, οι Carmichael et al. (2018) υπογραμμίζουν ότι η ενσωμάτωση δυναμικών μοντέλων ενισχύει την κριτική σκέψη και τη γνωστική παρουσία (cognitive presence) των μαθητών/τριών. Η σωστή κατηγοριοποίηση και επιλογή αυτών των οπτικών εργαλείων επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς να τα εντάξουν στην κατάλληλη φάση της διδασκαλίας, μεγιστοποιώντας τα μαθησιακά οφέλη και καλλιεργώντας θετική στάση απέναντι στις Θετικές Επιστήμες.

Η ενσωμάτωση διαδραστικών στοιχείων εντός των βίντεο που παρουσιάζουν μοντέλα προσομοίωσης και VR/AR επιτρέπει στους μαθητές/τριες να αλληλεπιδρούν άμεσα με τις μεταβλητές του φαινομένου. Όπως περιγράφουν οι Cresswell et al. (2019), η δημιουργία διαδραστικών οπτικών εργαλείων προσφέρει άμεση υποστήριξη κατά τη διάρκεια της μαθησιακής διαδικασίας. Οι Hudson και Luska (2013) αναδεικνύουν τη σημασία της ενσωμάτωσης ζωντανών επιδείξεων μαζί με στατιστικά διαγράμματα, ενώ οι Hsin και Cigas (2013) επιβεβαιώνουν ότι η χρήση σύντομων, στοχευμένων διαδραστικών βίντεο βελτιώνει τα μαθησιακά αποτελέσματα και κρατά αμείωτο το ενδιαφέρον των εκπαιδευόμενων.

Χρησιμοποιώντας ψηφιακά εργαλεία με ανοικτές άδειες, οι μαθητές/τριες μπορούν να αλληλεπιδρούν με «θερμά σημεία» (*clickable hotspots*) πάνω σε μια τρισδιάστατη προσομοίωση μοριακής δομής, ενεργοποιώντας παράθυρα με πληροφορίες για το μήκος του δεσμού, τη γωνία δεσμού ή την κατανομή του ηλεκτρονικού φορτίου. Αυτή η μορφή αλληλεπίδρασης συνδέει άμεσα την οπτική αναπαράσταση με τη θεωρητική επεξήγηση, βοηθώντας τους μαθητές/τριες να κατανοήσουν τη σχέση μεταξύ της δομής και των ιδιοτήτων των χημικών ενώσεων χωρίς να υπερφορτωθούν γνωστικά, καθώς η πληροφορία παρέχεται ακριβώς τη στιγμή που απαιτείται (*just-in-time feedback*).

Οι Lijo et al. (2024) ανέλυσαν ποιοτικά τα δεδομένα θέασης σε ψηφιακά κανάλια Θετικών Επιστημών, επιβεβαιώνοντας ότι οι μαθητές/τριες αφιερώνουν περισσότερο χρόνο στα τμήματα του βίντεο που συνδέουν το πείραμα με δυναμικά μοντέλα αναπαράστασης. Αυτά τα δεδομένα (*clickstream data*) επιτρέπουν στους εκπαιδευτικούς σχεδιαστές να εντοπίσουν αν μια προσομοίωση είναι υπερβολικά φορτωμένη ή αν η επεξήγηση ενός φαινομένου χρειάζεται περαιτέρω οπτική σηματοδότηση. Η ανάλυση αυτή επιτρέπει τη συνεχή βελτίωση του υλικού, διασφαλίζοντας ότι η τεχνολογία διευκολύνει τη νοητική επεξεργασία και δεν αποτελεί εμπόδιο για τη μάθηση.

Πλεονεκτήματα, Γνωστικές Προσκλήσεις και η Πρόκληση της Χειρωνακτικής Εμπειρίας

Η εισαγωγή μοντέλων προσομοίωσης και περιβαλλόντων VR/AR στα βίντεο Θετικών Επιστημών προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως την ασφάλεια κατά τη

μελέτη επικίνδυνων χημικών αντιδράσεων και την άρση των γεωγραφικών αποκλεισμών, προσφέροντας ίσες ευκαιρίες μάθησης σε μαθητές/τριες απομακρυσμένων περιοχών, γεγονός που υποστηρίζεται από τους Cherif et al. (2014). Οι Ljubojevic et al. (2014) τονίζουν την αύξηση της αποδοτικότητας της μάθησης μέσω της πολυμεσικής υποστήριξης των οπτικών μοντέλων, ενώ οι Duboni και Tabak (2022) αναδεικνύουν τον ρόλο των ανοικτών πλατφορμών ως χώρων συνεργατικής οικοδόμησης της γνώσης.

Ωστόσο, οι Saldivar και Flores (2024) αναδεικνύουν τις τεχνολογικές και παιδαγωγικές προκλήσεις, επισημαίνοντας τον κίνδυνο της γνωστικής υπερφόρτωσης όταν τα τρισδιάστατα περιβάλλοντα είναι υπερβολικά περίπλοκα. Επιπλέον, η πλήρης υποκατάσταση του φυσικού εργαστηρίου από ψηφιακές προσομοιώσεις ενέχει τον κίνδυνο απώλειας της χειρωνακτικής εμπειρίας (tactile learning), η οποία είναι αναντικατάστατη για την ανάπτυξη ψυχοκινητικών δεξιοτήτων, όπως ο χειρισμός ακριβείας των οργάνων. Επομένως, η ιδανική χρήση αυτών των προηγμένων εργαλείων είναι ως συμπληρωματικών μέσων που προετοιμάζουν, υποστηρίζουν και επεκτείνουν τη διά ζώσης εργαστηριακή πρακτική, διασφαλίζοντας την ισορροπία μεταξύ θεωρητικής εμβάθυνσης, ψηφιακής ανάλυσης και χειρωνακτικής άσκησης.

1.6.5 Τεχνολογίες Πίνακα και Κινούμενων Γραφικών

Η ενσωμάτωση των οπτικοακουστικών μέσων στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών αποτελεί διαχρονικά ένα από τα πιο δυναμικά έρευνας στην εκπαιδευτική τεχνολογία, καθώς επιδιώκει να συνδέσει τη θεωρητική γνώση με την εργαστηριακή εφαρμογή. Στο πλαίσιο αυτό, η αναπαράσταση του πίνακα, είτε πρόκειται για τον παραδοσιακό μαυροπίνακα, τον ψηφιακό διαδραστικό πίνακα (digital whiteboard), τον γυάλινο φωτεινό πίνακα (lightboard), είτε για εξειδικευμένες μηχανές μαθηματικής κίνησης όπως το Manim, αποτελεί το θεμέλιο της επεξηγηματικής διδασκαλίας. Όπως τεκμηριώνουν οι Agustian και Seery (2017), η προετοιμασία των μαθητών/τριών μέσω πολυμεσικών περιβαλλόντων ενισχύει τη γνωστική τους ετοιμότητα, ενώ ο Alksne (2016) επισημαίνει ότι η σωστή διάρθρωση των οπτικών πληροφοριών μεγιστοποιεί την αφομοίωση του περιεχομένου. Οι Benedict και Pence (2012), υπογραμμίζουν ότι αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν στους μαθητές/τριες να συνδέσουν τις θεωρητικές αφαιρέσεις με

ψηφιακά μοντέλα, μετατρέποντας την παραδοσιακή παράδοση σε μια δυναμική και βιωματική μαθησιακή εμπειρία.

Η σταδιακή μετάβαση από τον φυσικό πίνακα της σχολικής αίθουσας στις σύγχρονες ψηφιακές καταγραφές επέτρεψε στους εκπαιδευτικούς να υπερβούν τους χωροχρονικούς περιορισμούς, προσφέροντας στους μαθητές/τριες τη δυνατότητα να παρακολουθήσουν τη σταδιακή οικοδόμηση μιας επιστημονικής έννοιας. Η γραφή στον πίνακα προσφέρει έναν φυσικό ρυθμό (pacing), ο οποίος συμβαδίζει με τον χρόνο επεξεργασίας της πληροφορίας από την ανθρώπινη βραχύχρονη μνήμη. Στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών, η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας πίνακα καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές/τριες θα προσλάβουν και θα οργανώσουν τη νέα γνώση, μειώνοντας το αίσθημα της αφαίρεσης και ενισχύοντας τον επιστημονικό γραμματισμό.

Η συστηματική ένταξη των διαφόρων μορφών πίνακα στα εκπαιδευτικά οπτικοακουστικά μέσα θεμελιώνεται θεωρητικά στο πρωτοποριακό έργο του A. W. Bates (1995) σχετικά με την επιλογή και την αξιολόγηση των εκπαιδευτικών τεχνολογιών στην ανοικτή και εξ αποστάσεως εκπαίδευση. Ο Bates (1995) ανέπτυξε ολοκληρωμένα μοντέλα που τονίζουν ότι κάθε εκπαιδευτικό μέσο διαθέτει μοναδικές παιδαγωγικές δυνατότητες (affordances), οι οποίες πρέπει να ευθυγραμμίζονται απόλυτα με τους διδακτικούς στόχους του προγράμματος σπουδών. Σύμφωνα με την προσέγγισή του, ο πίνακα –σε όλες τις παραλλαγές του– δεν αποτελεί απλώς μια επιφάνεια καταγραφής, αλλά ένα αυτόνομο γνωστικό εργαλείο που καθοδηγεί τη δομή της σκέψης του μαθητή. Όπως συμπληρώνουν οι Berk (2009) και Brame (2016), η επιλογή της οπτικής διάταξης επηρεάζει άμεσα τη συναισθηματική και γνωστική εμπλοκή των εκπαιδευόμενων. Ο Bates (1995) υπογραμμίζει επίσης ότι η επιλογή των μέσων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη διαδραστικότητα και τη διευκόλυνση της ενεργητικής μάθησης.

Η παιδαγωγική εγκυρότητα των βίντεο που ενσωματώνουν τεχνολογίες πίνακα καθοδηγείται και από τη Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης του Richard Mayer (2009). Οι Mayer και Moreno (2003), καθώς και οι Fiorella και Mayer (2021), προτείνουν συγκεκριμένες σχεδιαστικές αρχές, όπως η αρχή της χρονικής και χωρικής συνάφειας (temporal and spatial contiguity), οι οποίες εφαρμόζονται ιδανικά κατά τη χρήση του ψηφιακού και του παραδοσιακού πίνακα. Κατά τη γραφή στον πίνακα, η πληροφορία αναπτύσσεται σταδιακά, γεγονός που ικανοποιεί πλήρως την αρχή της κατάτμησης και της σηματοδότησης, όπως αναλύουν οι Ibrahim et al. (2012). Ο μαθητής δεν κατακλύζεται από

έτοιμα, πυκνά κείμενα διαφανειών, αλλά παρακολουθεί τη ροή της γραφής του εκπαιδευτικού, η οποία λειτουργεί ως φυσικός οδηγός προσοχής. Επιπλέον, τεχνολογίες όπως το lightboard ενισχύουν την αρχή της προσωποποίησης (personalization principle) και την αρχή της «ενσώματης παρουσίας» (*embodiment principle*), καθώς οι χειρονομίες και η οπτική επαφή του διδάσκοντος καθοδηγούν το βλέμμα του μαθητή στα κρίσιμα σημεία του πίνακα, μειώνοντας το εξωγενές γνωστικό φορτίο και μεγιστοποιώντας τη συγκράτηση της γνώσης.

Η συστηματική ενσωμάτωση των διαφόρων μορφών πίνακα στα ψηφιακά μαθησιακά περιβάλλοντα απαιτεί την ανάπτυξη του οπτικοακουστικού γραμματισμού των εκπαιδευτικών, ένα ζήτημα που αναλύεται διεξοδικά από τους Παπαδημητρίου και Σοφό (2022). Στο έργο τους, προτείνουν ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο, τονίζοντας ότι ο εκπαιδευτικός πρέπει να μετατραπεί από απλός αναμεταδότης σε κριτικό σχεδιαστή ψηφιακού περιεχομένου. Τα βίντεο που χρησιμοποιούν whiteboard animations ή digital whiteboards πρέπει να εντάσσονται σε δομημένα εκπαιδευτικά σενάρια που καθοδηγούν την προσοχή του μαθητή, προάγοντας τον κριτικό γραμματισμό στα μέσα και την ενεργητική οικοδόμηση της γνώσης. Οι Παπαδημητρίου και Σοφός (2022) επισημαίνουν ότι η χρήση του ψηφιακού πίνακα προσφέρει αυξημένη ευελιξία, καθώς επιτρέπει την εισαγωγή έτοιμων εικόνων ή διαγραμμάτων, τα οποία ο εκπαιδευτικός μπορεί να σχολιάσει σε πραγματικό χρόνο (annotation). Αυτή η προσέγγιση, όπως υποστηρίζουν οι Hsin και Cigas (2013) and ο DeVane (2009), βελτιώνει σημαντικά τις επιδόσεις των μαθητών/τριών. Επιπλέον, οι Herrington και Sweeder (2025) και ο Jackman (2019) αναφέρουν ότι ο σωστός παιδαγωγικός σχεδιασμός του πίνακα βοηθά στην εστίαση της προσοχής των εκπαιδευόμενων, ενώ ο Fyfield et al. (2021) αναδεικνύουν τη σημασία της επιλογής έγκυρου ψηφιακού περιεχομένου μέσα από το διαδίκτυο, αποτρέποντας τη διάσπαση προσοχής.

Ο Παραδοσιακός Μαυροπίνακας και η Γνωστική Διαχείριση του Ρυθμού Μάθησης

Ο παραδοσιακός μαυροπίνακας αποτελεί το ιστορικό θεμέλιο της επεξηγηματικής διδασκαλίας στις Θετικές Επιστήμες, έχοντας καθιερωθεί στα σχολικά περιβάλλοντα από τις αρχές του 18ου αιώνα (Bates, 1995). Από παιδαγωγικής και γνωστικής άποψης, το κύριο πλεονέκτημα του κλασικού πίνακα είναι ο φυσικός ρυθμός (pacing) που επιβάλλει κατά τη ροή της παράδοσης. Καθώς ο εκπαιδευτικός αναπτύσσει χειρόγραφα τις χημικές εξισώσεις,

τις μαθηματικές αποδείξεις ή τους μηχανισμούς αντιδράσεων, ο χρόνος που απαιτείται για τη γραφή συμβαδίζει απόλυτα με τον χρόνο που χρειάζεται η βραχύχρονη μνήμη των μαθητών/τριών για να επεξεργαστεί και να οργανώσει τις νέες πληροφορίες (Chandler & Sweller, 1991). Στο πλαίσιο της Χημείας για παράδειγμα, ο μαυροπίνακας είναι ιδανικός για την αποτύπωση του συμβολικού επιπέδου της Χημείας (χημικοί τύποι, εξισώσεις οξειδοαναγωγής, στοιχειομετρικοί υπολογισμοί, κ.λπ.), επιτρέποντας στους μαθητές/τριες να παρακολουθήσουν τη σταδιακή και λογική οικοδόμηση ενός επιστημονικού μοντέλου (Dori & Hameiri, 2003).

Ωστόσο, ο παραδοσιακός πίνακας παρουσιάζει σημαντικούς περιορισμούς στο σύγχρονο ψηφιακό εκπαιδευτικό περιβάλλον. Η χρήση του σε ασύγχρονα εκπαιδευτικά βίντεο απαιτεί εξωτερική βιντεοσκόπηση, η οποία συχνά υποφέρει από προβλήματα φωτισμού, χαμηλής ανάλυσης ή αποκλεισμού του περιεχομένου από το σώμα του διδάσκοντος (Alksne, 2016). Επιπλέον, ο κλασικός πίνακας στερείται της δυνατότητας δυναμικής αλληλεπίδρασης με έτοιμα ψηφιακά αρχεία ή πολυμεσικά στοιχεία, καθιστώντας αδύνατη την άμεση σύνδεση του συμβολικού επιπέδου με το υποατομικό επίπεδο (π.χ. προσομοιώσεις μοριακών συγκρούσεων), γεγονός που μπορεί να περιορίσει τη βαθιά εννοιολογική κατανόηση σε περιβάλλοντα εξ αποστάσεως εκπαίδευσης (Burewicz & Miranowicz, 2006).

Ο Ψηφιακός Διαδραστικός Πίνακας (Digital Whiteboard) και η Ευελιξία των Ψηφιακών Σημειώσεων (Annotations)

Ο ψηφιακός διαδραστικός πίνακας (digital whiteboard) και οι εφαρμογές καταγραφής οθόνης, αποτελούν μια σύγχρονη εξέλιξη που γεφυρώνει τον παραδοσιακό πίνακα με τα ψηφιακά μέσα. Αυτή η τεχνολογία προσφέρει εξαιρετική ευελιξία, καθώς επιτρέπει στον εκπαιδευτικό να εισάγει έτοιμα στατικά διαγράμματα, πίνακες δεδομένων ή εργαστηριακές εικόνες και να πραγματοποιεί σημειώσεις σε πραγματικό χρόνο (annotations) με τη χρήση ψηφιακής γραφίδας (Papadimitriou & Sofos, 2022). Σύμφωνα με τη Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης του Richard Mayer (2009), αυτή η προσέγγιση ικανοποιεί πλήρως την αρχή της σηματοδότησης και την αρχή της συνάφειας. Ο εκπαιδευτικός μπορεί να κυκλώσει, να χρωματίσει ή να απομονώσει συγκεκριμένα τμήματα ενός σύνθετου γραφήματος (π.χ. το σημείο ισοδυναμίας σε μια καμπύλη

ογκομέτρησης), καθοδηγώντας με ακρίβεια την προσοχή του μαθητή και μειώνοντας το εξωγενές γνωστικό φορτίο (Ibrahim et al., 2012).

Η χρήση ψηφιακών πινάκων σε σύντομα, στοχευμένα εκπαιδευτικά βίντεο (screencasts) έχει αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματική για την υποστήριξη μοντέλων Αντεστραμμένης Τάξης (Flipped Classroom) και βίντεο επίλυσης προβλημάτων (problem-solving videos), καθώς επιτρέπει στους μαθητές/τριες να μελετούν τη μαθηματική ανάλυση με τον δικό τους ρυθμό (Seery, 2015; Hsin & Cigas, 2013). Το κύριο μειονέκτημα αυτής της μορφής είναι η απουσία της φυσικής παρουσίας του εκπαιδευτικού στην οθόνη. Η έλλειψη οπτικής επαφής και χειρονομιών μπορεί να μειώσει το αίσθημα της κοινωνικής παρουσίας (*social presence*) και να οδηγήσει σε ταχύτερη διάσπαση της προσοχής του μαθητή, αν το βίντεο δεν συνοδεύεται από μια ιδιαίτερα δυναμική και ζωντανή προφορική αφήγηση (Brame, 2016; DeVaney, 2009).

Ο Γυάλινος Φωτεινός Πίνακας (Lightboard) και η Ενσώματη Παρουσία (Embodiment) στην Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση

Ο γυάλινος φωτεινός πίνακας (*lightboard*) αποτελεί μια από τις πιο καινοτόμες σχεδιαστικές τεχνολογίες για την παραγωγή εκπαιδευτικών βίντεο στις Θετικές Επιστήμες. Πρόκειται για μια διαφανή γυάλινη επιφάνεια φωτισμένη εσωτερικά με λυχνίες LED, η οποία επιτρέπει στον εκπαιδευτικό να γράφει με ειδικούς μαρκαδόρους φθορισμού ενώ είναι στραμμένος απευθείας προς την κάμερα (Rojas, 2023). Από παιδαγωγικής άποψης, η τεχνολογία αυτή επιλύει ένα διαχρονικό πρόβλημα των εκπαιδευτικών βίντεο, καθώς επιτρέπει τη διατήρηση της σταθερής οπτικής επαφής μεταξύ διδάσκοντος και εκπαιδευόμενου καθ' όλη τη διάρκεια της ανάλυσης στον πίνακα. Σύμφωνα με τους Fiorella και Mayer (2021), ο *lightboard* ενσωματώνει ιδανικά την αρχή της προσωποποίησης (*personalization principle*) και την αρχή της ενσώματης παρουσίας (*embodiment principle*), καθώς οι χειρονομίες, οι εκφράσεις του προσώπου και η φυσική παρουσία του εκπαιδευτικού λειτουργούν ως ισχυροί γνωστικοί οδηγοί που ενισχύουν τη συναισθηματική εμπλοκή και την προσοχή του μαθητή.

Στη διδακτική της Χημείας για παράδειγμα, ο *lightboard* παρουσιάζει μοναδικά πλεονεκτήματα κατά την επεξήγηση χωρικών και δυναμικών φαινομένων, όπως η σχεδίαση των μηχανισμών σχάσης δεσμών (*arrow pushing*) στην Οργανική Χημεία (Hudson & Luska, 2013). Ο εκπαιδευτικός μπορεί να κοιτάζει τον μαθητή και ταυτόχρονα να σχεδιάζει

τη μετακίνηση των ηλεκτρονικών ζευγών, προσφέροντας μια αυθεντική και άμεση εμπειρία καθοδήγησης. Στα μειονεκτήματα της τεχνολογίας περιλαμβάνονται το υψηλό κόστος κατασκευής του στούντιο, η ανάγκη για εξειδικευμένο λογισμικό οριζόντιας αναστροφής της εικόνας (mirroring) και ο περιορισμένος χώρος του γυαλιού, ο οποίος απαιτεί από τον εκπαιδευτικό πολύ προσεκτικό προσχεδιασμό του σεναρίου ώστε να αποφευχθεί το γέμισμα του πίνακα και η επακόλουθη γνωστική υπερφόρτωση (Bates, 1995; Carmichael et al., 2018).

Εξειδικευμένες Μηχανές Μαθηματικής Κίνησης (Manim) και η Οπτικοποίηση του Υποατομικού Επιπέδου

Οι εξειδικευμένες μηχανές μαθηματικής κίνησης, με κυριότερο εκπρόσωπο το *Manim* (*Mathematical Animation Engine*), αποτελούν την αιχμή του δόρατος για την ψηφιακή αναπαράσταση αφηρημένων επιστημονικών εννοιών. Το Manim επιτρέπει τη δημιουργία διανυσματικών κινούμενων γραφικών (motion graphics) υψηλής ακρίβειας μέσω προγραμματισμού, προσφέροντας μια απόλυτα αυστηρή και αναλυτική απεικόνιση των δεδομένων. Στο πλαίσιο των Θετικών Επιστημών, οι μηχανές αυτές είναι αναντικατάστατες για την οπτικοποίηση του υποατομικού επιπέδου, καθώς μπορούν να αποδώσουν με απόλυτη γεωμετρική ακρίβεια φαινόμενα που είναι αδύνατο να σχεδιαστούν με το χέρι σε έναν συμβατικό πίνακα, όπως η κίνηση των μορίων ενός ιδανικού αερίου, η μεταβολή των ηλεκτρονικών τροχιακών, οι τροχιές σωματιδίων σε μαγνητικά ή οι στατιστικές κατανομές (Dori & Hameiri, 2003; Sharmin et al. 2024).

Τα εκπαιδευτικά βίντεο που ενσωματώνουν κινούμενα γραφικά μέσω Manim υποστηρίζουν αποτελεσματικά την ανάπτυξη ανώτερων δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων (analytical problem-solving), καθώς επιτρέπουν τη δυναμική σύνδεση των μαθηματικών εξισώσεων (συμβολικό επίπεδο) με την οπτική τους αναπαράσταση σε πραγματικό χρόνο (He et al., 2012; Richards-Babb et al., 2014). Από γνωστικής άποψης, τα καθαρά διανυσματικά γραφικά χωρίς περιττά διακοσμητικά στοιχεία ικανοποιούν απόλυτα την αρχή της συνάφειας του Mayer (2009), εστιάζοντας τους γνωστικούς πόρους του μαθητή αποκλειστικά στη μαθησιακή ουσία. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι το υψηλό επίπεδο τεχνικής δυσκολίας και ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή του κώδικα, καθώς η δημιουργία των animations προϋποθέτει γνώσεις προγραμματισμού από την πλευρά του εκπαιδευτικού, γεγονός που καθιστά το εργαλείο λιγότερο προσβάσιμο

για καθημερινή χρήση χωρίς κατάλληλη επιμόρφωση (Papadimitriou & Sofos, 2022; Alksne, 2016).

Πίνακας 1.3 Οι οπτικοποιήσεις βάσει των Αρχών της Πολυμεσικής Μάθησης του Mayer

<i>Κατηγορία Οπτικοποίησης</i>	<i>Πλεονεκτήματα βάσει Αρχών Πολυμεσικής Μάθησης (Mayer)</i>	<i>Μειονεκτήματα βάσει Αρχών Πολυμεσικής Μάθησης (Mayer)</i>
<i>Κινούμενα Σχέδια Μικρού Μήκους με Σενάριο (Short-form Scripted Animations)</i>	• Αρχή της Σήμανσης: Εξαιρετική χρήση οπτικών εφέ, ζωηρών χρωμάτων και χρωματικών αντιθέσεων (π.χ. για την ανάδειξη της κυτταρικής, ατομικής ή μοριακής δομής.) • Αρχή της Τροπικότητας: Άψογος συνδυασμός επαγγελματικής προφορικής αφήγησης και δυναμικής ροής γραφικών, που απελευθερώνει το οπτικό κανάλι επεξεργασίας.	Αρχή της Συνάφειας: Σημαντικός κίνδυνος εισαγωγής «ελκυστικών λεπτομερειών» (seductive details), όπως χιουμοριστικά στοιχεία ή υπερβολικά περίπλοκα backgrounds που επιβαρύνουν το εξωγενές γνωστικό φορτίο.
<i>Κινούμενα Σχέδια με Απλές Γραμμικές Μορφές (Stick Figure Animations)</i>	• Αρχή της Σήμανσης: Η εγγενής απλότητα των γραμμών καθιστά τα βέλη κατεύθυνσης, τις δυνάμεις ή τις ενδείξεις κίνησης άμεσα αντιληπτές.	Αρχή των Πολυμεσικότητας: Η υπερβολική σχηματική απλούστευση ενδέχεται να αποδειχθεί ανεπαρκής όταν απαιτείται ρεαλιστική αναπαράσταση πολύπλοκων τρισδιάστατων χωρικών διατάξεων (π.χ. στερεοχημική απεικόνιση ισομερών ή κρυσταλλικών πλεγμάτων).
<i>Σχεδιασμένο στο Χέρι Κινούμενο Σχέδιο</i>	• Αρχή της Χρονικής Συνάφειας: Υποδειγματική εφαρμογή, καθώς το σκίτσο αποκαλύπτεται δυναμικά στην οθόνη στον ακριβή χρόνο που εκφέρεται η αντίστοιχη επεξηγηματική έννοια από τον αφηγητή.	Αρχή της Χωρικής Συνάφειας: Καθώς ο ψηφιακός πίνακας γεμίζει προοδευτικά με σχέδια, οι γραμμές, τα βέλη και οι ετικέτες ονοματολογίας μπορεί να μπερδευτούν χωρικά, προκαλώντας το φαινόμενο της διάσπασης της προσοχής.

(Hand-drawn / Whiteboard Animation)	• Αρχή της Προσωποποίησης: Το ανεπίσημο, «χειροποίητο» στυλ γραφής ενισχύει το μαθησιακό κίνητρο και την αίσθηση εγγύτητας.	
Κινούμενο Σχέδιο ως Επίπεδο Ψηφιακής Πληροφορίας (Animation Overlay / Layer)	• Αρχή της Χωρικής Συνάφειας: Επιτρέπει την ταυτόχρονη σύνδεση πολλαπλών επιπέδων αναπαράστασης, (π.χ. τοποθετώντας το υποατομικό επίπεδο ακριβώς πάνω στο μακροσκοπικό ή π.χ. πραγματικό βίντεο ενός ποτηριού ζέσεως όπου λαμβάνει χώρα μια αντίδραση). • Αρχή του Πλεονασμού: Αντικαθιστά το περιττό γραπτό κείμενο με άμεση, δυναμική οπτική πληροφορία.	Κίνδυνος Διάσπασης της Προσοχής: Αν η κίνηση του πραγματικού βίντεο στο παρασκήνιο και η κίνηση του ψηφιακού overlay δεν είναι απόλυτα συντονισμένες ή αν και οι δύο περιέχουν έντονη πληροφορία, το οπτικό κανάλι υπερφορτώνεται γνωστικά.
Κινούμενο Σχέδιο Στάσης- Κίνησης (Stop Motion Animation)	Αρχή της Κατάτμησης: Ιδανική μορφή για την αποτύπωση διακριτών, βήμα-προς-βήμα σταδίων ενός φαινομένου, όπως η σταδιακή προσέγγιση αντιδρώντων μορίων, η δημιουργία ενός ιοντικού κρυστάλλου ή οι διαδοχικές φάσεις μιας πυρηνικής σχάσης.	Αρχή της Χρονικής Συνάφειας: Η εγγενώς «σπαστή» και μη γραμμική κίνηση του stop-motion μπορεί να διακόψει τη νοητική συνέχεια της αφήγησης, εάν ο χρονικός συγχρονισμός ήχου και εικόνας δεν έχει σχεδιαστεί με απόλυτη μαθηματική ακρίβεια.
Διαδραστικές Προσομοιώσεις (Interactive Simulations)	• Αρχή της Κατάτμησης: Ο απόλυτος έλεγχος του ρυθμού μετάδοσης από τον ίδιο τον μαθητή. • Αρχή της Προετοιμασίας: Επιτρέπει την απομόνωση και τον χειρισμό μεμονωμένων μεταβλητών (π.χ. πίεση, όγκος, θερμοκρασία στα αέρια), βοηθώντας στην κατανόηση των δομικών στοιχείων πριν τη γενική θεωρητική πλαισίωση. • Αρχή των Πολυμέσων: Βαθιά οικοδόμηση εννοιών μέσω του	• Αρχή της Σήμανσης: Λόγω του ανοικτού και διερευνητικού περιβάλλοντος, συχνά λείπει η απαραίτητη καθοδήγηση, με αποτέλεσμα ο μαθητής να αναλώνεται σε άσχετα οπτικά στοιχεία. • Αρχή της Τροπικότητας: Σχεδόν πάντα βασίζονται αποκλειστικά στο οπτικό κανάλι (κείμενο, αριθμοί και γραφικά), υπερφορτώνοντάς το, καθώς σπάνια περιλαμβάνουν ενσωματωμένη ηχητική αφήγηση.

Στατικές Γραφικές Αναπαραστάσεις <i>(Διαγράμματα, Πίνακες, Στατικές Εικόνες)</i>	συνδυασμού δυναμικών γραφικών και άμεσης οπτικής ανατροφοδότησης.	
	• Αρχή της Κατάτμησης: Επιτρέπει στον μαθητή να αναλύσει σύνθετα και πυκνά γραφήματα (π.χ. διαγράμματα φάσεων, καμπύλες εξουδετέρωσης, ηλεκτρονικές δομές) χωρίς καμία χρονική πίεση, με τον δικό του ρυθμό μελέτης. • Αρχή της Χωρικής Συνάφειας: Ευκολία στην τέλεια τοποθέτηση τύπων ή επεξηγήσεων ακριβώς δίπλα στο σημείο του γραφήματος που περιγράφουν.	• Αρχή της Τροπικότητας: Αποκλειστική και μονομερής επιβάρυνση του οπτικού καναλιού. • Αρχή του Πλεονασμού: Συχνά συνοδεύονται από εκτενή, αυτούσια επεξηγηματικά κείμενα ακριβώς κάτω από την εικόνα, αναγκάζοντας τα μάτια του μαθητή να «πηδούν» άσκοπα από το κείμενο στο γράφημα, αυξάνοντας το εξωγενές φορτίο.
Βιντεοσκόπηση Πραγματικών Εργαστηριακών Πειραμάτων	• Αρχές της Φωνής & Προσωποποίησης: Η φυσική ανθρώπινη φωνή και η οπτική παρουσία του εκπαιδευτικού στο οικείο περιβάλλον του εργαστηρίου ενισχύουν την αίσθηση κοινωνικής παρουσίας και το κίνητρο. • Αρχή της Χρονικής Συνάφειας: Άμεση σύνδεση της προφορικής εξήγησης με το οπτικό ερέθισμα (π.χ. ακριβώς τη στιγμή που αλλάζει το χρώμα του δείκτη σε μια ογκομέτρηση).	Αρχή της Συνάφειας: Ύπαρξη έντονου «οπτικού θορύβου» στο φυσικό περιβάλλον (αντανακλάσεις στα γυάλινα σκεύη, άσχετα όργανα στον εργαστηριακό πάγκο, σκιές, διάφοροι θόρυβοι) που αποσπούν τη γνωστική προσοχή από το κυρίως εξεταζόμενο φαινόμενο.
	• Αρχές Χρονικής & Χωρικής Συνάφειας: Υποδειγματική εφαρμογή. Ο εκπαιδευτικός αναπτύσσει μια μαθηματική ή χημική εξίσωση (π.χ. ισοστάθμιση) και την εξηγεί την ίδια ακριβώς στιγμή, γράφοντας στο ίδιο ακριβώς σημείο εστίασης.	Αρχή της Σήμανσης: Εάν ο γραφικός χαρακτήρας του εκπαιδευτικού είναι άναρχος ή ο ψηφιακός πίνακας γεμίζει με σκόρπιες σημειώσεις χωρίς καθαρή χωρική δομή, ο μαθητής αδυνατεί να εντοπίσει τα κρίσιμα βήματα της μεθοδολογίας επίλυσης.
Ψηφιακοί Μαυροπίνακες Διαμοιρασμός οθόνης <i>(Screen casting)</i>	• Αρχή της Εικόνας: Η σκόπιμη	

Γυάλινος Φωτιζόμενος Πίνακας (Lightboard)	απουσία της εικόνας του καθηγητή εξοικονομεί ωφέλιμο χώρο στην οθόνη για την ανάπτυξη των επιστημονικών συλλογισμών.	
	• Αρχές της Φωνής & Προσωποποίησης: Η διατήρηση της οπτικής επαφής του εκπαιδευτικού με την κάμερα (gaze-directed instruction) λειτουργεί ως ισχυρότατο κοινωνικό ερέθισμα, κατευθύνοντας έμμεσα αλλά αποτελεσματικά την προσοχή του μαθητή. • Αρχή της Χωρικής Συνάφειας: Ο εκπαιδευτικός δείχνει με φυσικό τρόπο με το χέρι του το σημείο της εξίσωσης που αναλύει, χωρίς να στρέφει την πλάτη του.	Αρχή της Συνάφειας: Το σώμα, οι εκφράσεις ή οι έντονες χειρονομίες του ίδιου του εκπαιδευτικού μπορούν να κρύψουν στιγμιαία τμήματα των γραφομένων ή να λειτουργήσουν ως οπτικός περισπασμός. Επίσης, αν ο φωτισμός LED των μαρκαδόρων δημιουργεί υπερβολική αντίθεση (contrast), μπορεί να κουράσει το οπτικό κανάλι.

Πίνακας 1.4 Οι οπτικοποιήσεις βάσει των Κριτηρίων του Μοντέλου SECTIONS του Bates

Κατηγορία Οπτικοποίησης	Πλεονεκτήματα βάσει Κριτηρίων Μοντέλου SECTIONS	Μειονεκτήματα βάσει Κριτηρίων Μοντέλου SECTIONS
Κινούμενα Σχέδια Μικρού Μήκους με Σενάριο (Short-form Scripted Animations)	• T (Teaching Functions): Κορυφαίο εργαλείο για την εισαγωγή σε μια νέα θεματική ενότητα, τη δημιουργία εννοιολογικού πλαισίου και την καλλιέργεια υψηλού αρχικού ενδιαφέροντος. • S (Students): Εξαιρετικά ελκυστικό, σύγχρονο και συμβατό με την κουλτούρα των μαθητών της ψηφιακής γενιάς.	• C (Costs): Απαγορευτικό, δυσανάλογο κόστος σε χρόνο συγγραφής σεναρίου, εικονογράφησης και εξειδικευμένου λογισμικού για έναν μεμονωμένο εκπαιδευτικό. • I (Interaction): Παθητική, μονόδρομη παρακολούθηση (μηδενική αλληλεπίδραση εκπαιδευόμενου-περιεχομένου), εκτός αν ενσωματωθεί σε διαδραστικό περιβάλλον (π.χ. H5P).

Κινούμενα Σχέδια με Απλές Γραμμικές Μορφές (Stick Figure Animations)	• C (Costs): Πολύ χαμηλό οικονομικό κόστος και ταχύτατη παραγωγή από τον εκπαιδευτικό. • E (Ease of Use) & S (Students): Εξαιρετικά μικρό μέγεθος ψηφιακού αρχείου, ιδανικό για ασύγχρονη λήψη και αναπαραγωγή ακόμη και από μαθητές με χαμηλές συνδέσεις διαδικτύου ή παλιές συσκευές.	T (Teaching Functions): Περιορισμένη παιδαγωγική λειτουργία όταν το αντικείμενο απαιτεί απόλυτα ρεαλιστική αναπαράσταση οργάνων εργαστηρίου, πολύπλοκων πειραματικών διατάξεων ή φυσικών υφών.
Σχεδιασμένο στο Χέρι Κινούμενο Σχέδιο (Hand-drawn / Whiteboard Animation)	• T (Teaching Functions): Εξαιρετικό μέσο για τη σταδιακή οικοδόμηση (scaffolding) μιας σύνθετης έννοιας βήμα-προς-βήμα, ακολουθώντας τη φυσική ροή της σκέψης. • E (Ease of Use): Πολύ φιλικό, οικείο και καθαρό περιβάλλον χρήστη για τον μαθητή.	• C (Costs): Απαιτεί ιδιαίτερες σχεδιαστικές δεξιότητες ή την αγορά εξειδικευμένου αυτοματοποιημένου λογισμικού, καθώς και σημαντικό χρόνο για τον χρονικό συγχρονισμό της σχεδίασης με την αφήγηση.
Κινούμενο Σχέδιο ως Επίπεδο Ψηφιακής Πληροφορίας (Animation Overlay / Layer)	• T (Teaching Functions): Μοναδική παιδαγωγική αξία για τις Θετικές Επιστήμες: γεφυρώνει άμεσα το αντιληπτό μακροσκοπικό φαινόμενο με τη νοητική υποατομική αναπαράσταση μορίων στο ίδιο οπτικό πεδίο.	• C (Costs) & E (Ease of Use): Απαιτεί προχωρημένες τεχνικές γνώσεις επεξεργασίας βίντεο (compositing, motion tracking, masking) (σύνθεση, παρακολούθηση κίνησης, κάλυψη) από την πλευρά του δημιουργού / εκπαιδευτικού, καθιστώντας την παραγωγή εξαιρετικά χρονοβόρα.
Κινούμενο Σχέδιο Στάσης-Κίνησης (Stop Motion Animation)	• S (Students): Η ιδιαίτερη, «παιχνιδιάρικη» αισθητική του stop-motion (π.χ. με χρήση πλαστελίνης ή φυσικών αντικειμένων) προκαλεί ισχυρότατο μαθησιακό ενδιαφέρον και συναισθηματική εμπλοκή. • T (Teaching Functions): Πολύ αποτελεσματικό για την αποτύπωση μηχανικών φαινομένων και μετατοπίσεων.	C (Costs): Τεράστιο κόστος σε χρόνο παραγωγής (φωτογράφιση καρέ - καρέ και χειροκίνητη μετακίνηση αντικειμένων), γεγονός που το καθιστά μη βιώσιμο για την κάλυψη μεγάλου όγκου διδακτέας ύλης.

Διαδραστικές Προσομοιώσεις (Interactive Simulations)	• I (Interaction): Η υψηλότερη δυνατή αλληλεπίδραση μαθητή - περιεχομένου μέσω ενεργού, ψηφιακού πειραματισμού. • T (Teaching Functions): Υποστηρίζει υποδειγματικά την ανακαλυπτική μάθηση, τη διερευνητική μέθοδο και τον κονστрукτιβισμό, επιτρέποντας τον έλεγχο υποθέσεων.	• E (Ease of Use): Μπορεί να απαιτήσει υψηλό επίπεδο ψηφιακού γραμματισμού ή προπαρασκευαστική καθοδήγηση (scaffolding) από τον εκπαιδευτικό, ώστε ο μαθητής να μη βιώσει τεχνική απογοήτευση. • C (Costs) & O (Organizational Issues): Η αυτόνομη ανάπτυξη νέων προσομοιώσεων από έναν εκπαιδευτικό είναι πρακτικά αδύνατη χωρίς ομάδα προγραμματιστών. Υπάρχει πλήρης εξάρτηση από έτοιμα ανοικτά αποθετήρια
Στατικές Γραφικές Αναπαραστάσεις (Διαγράμματα, Πίνακες, Στατικές Εικόνες)	• C (Costs): Σχεδόν μηδενικό οικονομικό κόστος και ελάχιστος χρόνος δημιουργίας, επεξεργασίας ή εύρεσης. • E (Ease of Use) & O (Organizational): Απόλυτη τεχνική συμβατότητα με κάθε είδους ψηφιακή συσκευή, λειτουργικό σύστημα και Πλατφόρμα Διαχείρισης Μάθησης (π.χ. LMS, Moodle, eClass). • S (Students): Λειτουργεί ως σταθερό, μόνιμο σημείο αναφοράς για γρήγορη αναδρομή κατά τη διάρκεια της προσωπικής μελέτης.	• I (Interaction): Απόλυτα μηδενική διαδραστικότητα. • T (Teaching Functions): Δομική αδυναμία αναπαράστασης της χρονικής και δυναμικής εξέλιξης ενός μεταβαλλόμενου επιστημονικού φαινομένου (π.χ. η κινητική μιας χημικής αντίδρασης ή η καμπύλη μιας κίνησης στη Φυσική).

**Βιντεοσκόπηση
Πραγματικών
Εργαστηριακών
Πειραμάτων**

- T (Teaching Functions): Προσφέρει μέγιστη αυθεντικότητα και ρεαλισμό, αντικαθιστώντας με ασφάλεια και χαμηλό ρίσκο το φυσικό σχολικό εργαστήριο στο πλαίσιο της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης.

- S (Students): Υψηλή αξιοπιστία περιεχομένου που προετοιμάζει επαρκώς τους μαθητές για τις πραγματικές εργαστηριακές συνθήκες.

- C (Costs): Απαιτεί ακριβό εξοπλισμό βιντεοσκόπησης (κάμερες υψηλής ανάλυσης, κατάλληλα μικρόφωνα, φωτισμό) και κυρίως ελεύθερη πρόσβαση σε πλήρως εξοπλισμένο και ασφαλές εργαστήριο.

- S (Security & Privacy): Σοβαρά ζητήματα πνευματικών δικαιωμάτων (copyright) εάν χρησιμοποιηθεί έτοιμο υλικό τρίτων από το διαδίκτυο χωρίς άδεια ανοικτής χρήσης.

**Ψηφιακοί
Μαυροπίνακες
Διαμοιρασμός
οθόνης**

(Screen casting)

- C (Costs): Ελάχιστο οικονομικό κόστος και ταχύτατη παραγωγή (απαιτείται μόνο μια απλή ψηφιακή γραφίδα και ένα ελεύθερο λογισμικό καταγραφής οθόνης).

- E (Ease of Use): Εξαιρετικά απλό στη δημιουργία για τον εκπαιδευτικό, καθώς μεταφέρει άμεσα την παραδοσιακή, κερκτική δεξιότητα γραφής στον πίνακα στο ψηφιακό περιβάλλον.

- T (Teaching Functions): Κατάλληλο σχεδόν αποκλειστικά για αλγοριθμική, διαδικαστική και βήμα προς βήμα επίλυση ασκήσεων, αλλά λιγότερο αποτελεσματικό για την καλλιέργεια βαθιών εννοιολογικών μεταγνωστικών δεξιοτήτων.

- I (Interaction): Πολύ χαμηλά επίπεδα αλληλεπίδρασης.

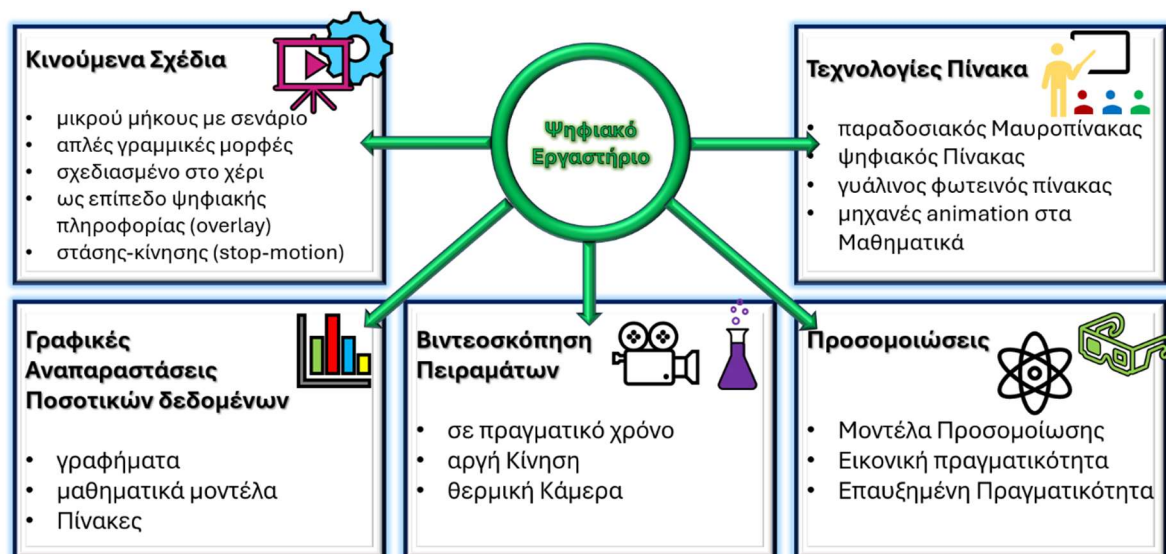
**Γυάλινος
Φωτιζόμενος
Πίνακας**

(Lightboard)

- T (Teaching Functions): Διατήρηση της μη λεκτικής επικοινωνίας (χειρονομίες, εκφράσεις προσώπου, κατεύθυνση βλέμματος), αναπαράγοντας με ακρίβεια την ψυχολογική ατμόσφαιρα της ζωντανής σχολικής τάξης.

- S (Students): Υψηλότετη αισθητική ποιότητα και φωτεινότητα που καθηλώνει την προσοχή του μαθητή.

- C (Costs) & O (Organizational Issues): Πολύ υψηλό αρχικό κόστος υλικής υποδομής (αγορά ειδικού διαφανούς γυαλιού, περιμετρικός φωτισμός LED, ειδικοί μαρκαδόροι φθορισμού, ανάγκη για σκοτεινό δωμάτιο ή στούντιο). Απαιτεί επιπλέον χρόνο για τη διαδικασία οριζόντιας αντιστροφής (mirroring) του βίντεο στο στάδιο της επεξεργασίας του βίντεο, ώστε τα γράμματα να φαίνονται «κανονικά».



Σχήμα 1.3 Διαγραμματική Απεικόνιση των Δημοφιλέστερων Οπτικοποιήσεων

1.7 Τα προς ανάλυση YouTube Κανάλια

1.7.1 Τα Ελληνικά Εκπαιδευτικά Κανάλια

Το Κανάλι «Astronio»

Το ελληνικό κανάλι *Astronio* αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα host-driven (καθοδηγούμενου από παρουσιαστή) εκπαιδευτικού μέσου, το οποίο εστιάζει στην Αστρονομία, την Αστροφυσική και τις βασικές αρχές της Φυσικής. Το στυλ του καναλιού είναι έντονα επικοινωνιακό και βασίζεται στην προσωπική παρουσία του δημιουργού του, ο οποίος λειτουργεί ως ο κεντρικός αφηγητής και οδηγός στη γνώση, για τον θεατή. Αυτή η προσέγγιση εφαρμόζει με απόλυτη ακρίβεια την αρχή της εξατομίκευσης (personalization principle) του Mayer, καθώς η χρήση άμεσου, φιλικού και καθημερινού λόγου, σε συνδυασμό με την ορατή φυσική παρουσία του παρουσιαστή, μειώνει την κοινωνική απόσταση και ενισχύει το αίσθημα της κοινωνικής παρουσίας, παρακινώντας τον μαθητή να επενδύσει περισσότερη γνωστική προσπάθεια στην επεξεργασία των πληροφοριών (Mayer, 2009; Mayer & Moreno, 2003). Ο λόγος του παρουσιαστή είναι εξαιρετικά δομημένος, αποφεύγοντας την περιττή επιστημονική ορολογία που θα μπορούσε να προκαλέσει γνωστική υπερφόρτωση, ενώ οι επεξηγήσεις γίνονται με σταθερό, ήρεμο ρυθμό που σέβεται τους περιορισμούς της μνήμης εργασίας των εκπαιδευόμενων.

Από την άποψη των οπτικοποιήσεων, το *Astronio* χρησιμοποιεί ένα σύνθετο μείγμα από κινηματογραφικό υλικό (stock footage), τρισδιάστατες (3D) αναπαραστάσεις ουράνιων σωμάτων, στατικά διαγράμματα και κομψά motion graphics. Αυτή η ποικιλία μέσων εξυπηρετεί άριστα την αρχή της πολυμεσικής παρουσίασης, καθώς οι λέξεις συνδυάζονται οργανικά με αντίστοιχες εικόνες υψηλής ευκρίνειας (Clark & Mayer, 2016). Ιδιαίτερη παιδαγωγική αξία έχει ο τρόπος με τον οποίο το κανάλι ενσωματώνει «γνωστικούς οδοδείκτες» (signaling principle), όπως βέλη, κύκλους και χρωματικές αντιθέσεις, πάνω σε πολύπλοκα αστρονομικά γραφήματα ή προσομοιώσεις βαρυτικών πεδίων, καθοδηγώντας με ακρίβεια την προσοχή του μαθητή στα κρίσιμα στοιχεία της οπτικής παρουσίασης και αποτρέποντας τη σπατάλη νοητικών πόρων σε άσχετες λεπτομέρειες. Η χρήση χαρακτήρων περιορίζεται στην ιστορική αναδρομή επιστημόνων (π.χ. Einstein, Newton), οι οποίοι παρουσιάζονται ως πρωταγωνιστές μιας ευρύτερης επιστημονικής αφήγησης, ενισχύοντας την ιστορική και φιλοσοφική διάσταση των Θετικών Επιστημών, μια προσέγγιση που προάγει τον βαθύ επιστημονικό γραμματισμό (Allchin, 2017).

Εξεταζόμενο μέσα από το μοντέλο SECTIONS του Bates, το *Astronio* παρουσιάζει εξαιρετικά υψηλή βαθμολογία στην παράμετρο των Μαθητών/τριών (Students) και των Διδακτικών Λειτουργιών (Teaching Functions). Καταφέρνει να μετατρέψει εξαιρετικά αφηρημένες και δυσνόητες έννοιες, όπως η σχετικότητα του χρόνου ή η κβαντική σύνδεση μεταξύ των σωματιδίων, σε εύπεπτα ψηφιακά σενάρια που προκαλούν το ενδιαφέρον τόσο των μαθητών/τριών Γυμνασίου και Λυκείου όσο και του ευρύτερου κοινού. Το Κόστος (Cost) παραγωγής του είναι μεν υψηλό σε επίπεδο χρόνου και εξοπλισμού για έναν μεμονωμένο εκπαιδευτικό, αλλά η Ευκολία Χρήσης (Ease of Use) για τον τελικό χρήστη είναι υποδειγματική, καθώς το υλικό είναι ελεύθερα προσβάσιμο στο YouTube και μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί σε ασύγχρονες πλατφόρμες τηλεεκπαίδευσης (Moodle, e-class) ως εισαγωγικό έναυσμα (hook) για ένα νέο φυσικό ή χημικό φαινόμενο (Bates, 2015; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022). Η παιδαγωγική του αξία έγκειται στην καλλιέργεια της εσωτερικής παρακίνησης (intrinsic motivation) και στη δημιουργία μιας στέρεης εννοιολογικής βάσης, πάνω στην οποία ο εκπαιδευτικός μπορεί στη συνέχεια να οικοδομήσει τη μαθηματική και συμβολική γνώση (Abeysekera & Dawson, 2015).

Το Κανάλι «Καθημερινή Φυσική»

Η *Καθημερινή Φυσική* αποτελεί ένα από τα πιο αναγνωρίσιμα και παιδαγωγικά άρτια ελληνικά κανάλια στο YouTube, με απόλυτη εξειδίκευση στη διδασκαλία εννοιών της Φυσικής και των Θετικών Επιστημών. Το οπτικό στυλ του καναλιού είναι αυστηρά μινιμαλιστικό και βασίζεται εξολοκλήρου σε δισδιάστατα (2D) διανυσματικά κινούμενα σχέδια (vector animations) και flat design γραφικά. Αυτή η συνειδητή σχεδιαστική επιλογή εξυπηρετεί με ιδανικό τρόπο την Αρχή της Συνάφειας (coherence principle) του Mayer, καθώς αφαιρείται κάθε είδους διακοσμητική ή περιττή πληροφορία (όπως πολύπλοκα backgrounds, σκιές ή εντυπωσιακά εφέ) που θα μπορούσε να αποσπάσει την προσοχή του μαθητή από το κεντρικό διδακτικό μήνυμα (Mayer, 2009). Το κανάλι εισάγει έναν χαρακτηριστικό animated χαρακτήρα-avatar, ο οποίος λειτουργεί ως ο εικονικός δάσκαλος και αφηγητής, ενισχύοντας την αρχή της εξατομίκευσης και δημιουργώντας μια οικεία, συνεπή και φιλική ατμόσφαιρα μάθησης.

Από παιδαγωγικής πλευράς, η *Καθημερινή Φυσική* αριστεύει στην αρχή της κατάτμησης (segmenting principle) και της προεκπαίδευσης (pre-training principle). Τα βίντεο είναι σύντομα σε διάρκεια, συνήθως κάτω των δέκα λεπτών, και σπάνε τις σύνθετες φυσικές θεωρίες (π.χ. θερμοδυναμική, ηλεκτρομαγνητισμός) σε μικρότερες, αυτόνομες και λογικά συνδεδεμένες ενότητες (Brame, 2016). Ο ρυθμός παρουσίασης ελέγχεται πλήρως από τη δομημένη ροή του animation, ενώ η ταυτόχρονη εμφάνιση των λέξεων-κλειδιών στην οθόνη την ίδια στιγμή που προφέρονται από τον αφηγητή εφαρμόζει υποδειγματικά την αρχή της χρονικής συνέχειας (temporal contiguity). Οι οπτικοποιήσεις των δυνάμεων, των μορίων και των ενεργειακών επιπέδων γίνονται με καθαρά σχήματα και έντονους χρωματικούς κώδικες, γεγονός που αποτελεί μια εξαιρετική εφαρμογή της αρχής της σήμανσης (signaling principle), βοηθώντας τον μαθητή να οργανώσει νοητικά τις σχέσεις αιτίας και αποτελέσματος χωρίς γνωστική υπερφόρτωση (Sweller, 2010).

Αναλύοντας το κανάλι μέσω του μοντέλου SECTIONS, η Ευκολία Χρήσης (Ease of Use) και οι Διδακτικές Λειτουργίες (Teaching Functions) βρίσκονται στο επίκεντρο της παιδαγωγικής του αξίας. Λόγω του καθαρού και επεξηγηματικού του χαρακτήρα, το υλικό της *Καθημερινής Φυσικής* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα εξαιρετικό εργαλείο προ-εργαστηριακής ή προ-διδακτικής προετοιμασίας (pre-training) στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση, επιτρέποντας στους μαθητές/τριες να εξοικειωθούν με τις βασικές έννοιες πριν

από τη σύγχρονη τηλεδιάσκεψη (Agustian & Seery, 2017). Αν και το Κόστος (Cost) παραγωγής τέτοιων animations σε επίπεδο εξειδικευμένου χρόνου είναι σημαντικό, η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του υλικού (reusability) και η υψηλή αποδεκτότητα από τους Μαθητές/τριες (Students) καθιστούν το κανάλι μια ανεκτίμητη παιδαγωγική δεξαμενή για τον μάχιμο εκπαιδευτικό των Θετικών Επιστημών (Bates, 2015; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

Το Κανάλι «Σχολική Χημεία»

Το κανάλι *Σχολική Χημεία* αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό και άκρως στοχευμένο παράδειγμα επίσημου εκπαιδευτικού μέσου στην ελληνική ψηφιακή κοινότητα. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα κανάλια, η Σχολική Χημεία δεν επιδιώκει τον εντυπωσιασμό ή την εκλαΐκευση της επιστήμης, αλλά είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένη με το επίσημο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Γυμνάσιο και Λύκειο), εστιάζοντας στην προετοιμασία των μαθητών/τριών για τις σχολικές και πανελλαδικές εξετάσεις. Το οπτικό και διδακτικό στυλ του καναλιού βασίζεται αποκλειστικά στην τεχνολογία του ψηφιακού μαυροπίνακα (screencasts / digital whiteboards), όπου ο εκπαιδευτικός αναπτύσσει σε πραγματικό χρόνο τη θεωρία, γράφει χημικές εξισώσεις, σχεδιάζει μοριακούς τύπους και επιλύει σύνθετες αριθμητικές ασκήσεις (ογκομετρήσεις, χημική ισορροπία, κινητική) συνοδεύει προφορική επεξήγησης.

Από την άποψη της θεωρίας του Mayer, η *Σχολική Χημεία* εφαρμόζει άριστα την Αρχή της Τροπικότητας (modality principle) και την αρχή του πλεονασμού (redundancy principle). Ο εκπαιδευτικός παρουσιάζει τα οπτικά χημικά σύμβολα και τις μαθηματικές πράξεις στην οθόνη, ενώ ταυτόχρονα τις αναλύει προφορικά, αποφεύγοντας να γεμίσει τον πίνακα με τεράστια κομμάτια γραπτού κειμένου που θα ανάγκαζαν τον μαθητή σε ταυτόχρονη ανάγνωση και ακρόαση, γεγονός που θα οδηγούσε σε γνωστική υπερφόρτωση του οπτικού καναλιού (Mayer, 2009). Η σταδιακή ανάπτυξη της γραφής λειτουργεί ως ένας ισχυρός μηχανισμός σήμανσης (signaling), καθώς ο ρυθμός της μάθησης (pacing) καθορίζεται απόλυτα από τη φυσική ροή της επίλυσης της άσκησης, επιτρέποντας στον εξ αποστάσεως μαθητή να παρακολουθήσει τη λογική αλληλουχία των βημάτων. Αυτή η

προσέγγιση είναι ιδανική για την κατάκτηση του συμβολικού επιπέδου της Χημείας (Dori & Hameiri, 2003).

Εξετάζοντας το κανάλι μέσα από το μοντέλο SECTIONS, η *Σχολική Χημεία* παρουσιάζει μια μοναδική συμπεριφορά όσον αφορά το Κόστος (Cost) και την Ευκολία Χρήσης (Ease of Use). Πρόκειται για μια λύση εξαιρετικά χαμηλού κόστους παραγωγής (low-cost educational video), η οποία μπορεί να υλοποιηθεί από οποιονδήποτε εκπαιδευτικό με μια απλή γραφίδα και ένα λογισμικό καταγραφής, όπως υπογραμμίζουν οι Simo et al. (2010). Παρά τη χαμηλή αισθητική της έλξη σε σύγκριση με διεθνή κανάλια, η παιδαγωγική της αξία και οι Διδακτικές Λειτουργίες (Teaching Functions) είναι τεράστιες για την επίσημη εκπαίδευση, καθώς προσφέρει άμεση, πρακτική και στοχευμένη υποστήριξη στους Μαθητές/τριες (Students) που αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κατανόηση των χημικών υπολογισμών, αποτελώντας ένα κλασικό και αναντικατάστατο εργαλείο γνωστικής μαθητείας σε περιβάλλοντα ασύγχρονης τηλεεκπαίδευσης (Bates, 2015; Seery, 2015).

Το Κανάλι «Khan Academy Greek»

Το *Khan Academy* (στην ελληνική του εκδοχή) αποτελεί τον παγκόσμιο πρότυπο φορέα της εκπαιδευτικής μικρομάθησης (microlearning) και της δομημένης ασύγχρονης διδασκαλίας. Το οπτικό στυλ του καναλιού είναι εμβληματικό και απολύτως σταθερό: ένας μαύρος ή πολύ σκούρος ψηφιακός πίνακας, πάνω στον οποίο ο εκπαιδευτικός χρησιμοποιεί πολύχρωμες ψηφιακές «κιμωλίες» για να σχεδιάσει, να γράψει και να αναλύσει έννοιες των Μαθηματικών, της Φυσικής και της Χημείας. Δεν υπάρχει φυσική παρουσία παρουσιαστή, ούτε σύνθετα animations. Η όλη παιδαγωγική δυναμική στηρίζεται στην οργανική σύνδεση της προφορικής αφήγησης με τη δυναμική σχεδίαση σε πραγματικό χρόνο, εφαρμόζοντας με ακρίβεια τη Θεωρία του Γνωστικού Φορτίου των Chandler & Sweller (1991), καθώς η προσοχή του μαθητή εγκλωβίζεται αποκλειστικά στο σημείο που αναπτύσσεται η έννοια.

Από την άποψη των πολυμεσικών αρχών του Mayer, το *Khan Academy* αποτελεί την επιτομή της Αρχής της Συνάφειας και της Αρχής της Φωνής (voice principle). Η πλήρης απουσία «θορυβώδους» ή διακοσμητικού υλικού εκμηδενίζει το εξωγενές γνωστικό φορτίο (Mayer, 2009). Η χρήση διαφορετικών χρωμάτων για κάθε μεταβλητή ή για κάθε χημικό στοιχείο σε μια αντίδραση αποτελεί μια κορυφαία εφαρμογή της αρχής της σήμανσης

(signaling), επιτρέποντας στον μαθητή να κάνει άμεσες νοητικές συνδέσεις. Επιπλέον, η ξεστή, ανθρώπινη και ανεπίσημη φωνή του αφηγητή, η οποία μοιάζει σαν να κάθεται δίπλα στον μαθητή και να λύνουν μαζί την άσκηση στον ίδιο βαθμό, εφαρμόζει την αρχή της εξατομικεύσης, ενισχύοντας τη γενεσιουργό γνωστική επεξεργασία (generative processing) (Clark & Mayer, 2016; Mayer & Moreno, 2003). Τα βίντεο ακολουθούν πιστά την Αρχή της Κατάτμησης, έχοντας διάρκεια που σπάνια ξεπερνά τα επτά λεπτά, διευκολύνοντας τη διαχείριση του εσωγενούς φορτίου.

Μέσα από το πρίσμα του μοντέλου SECTIONS, το *Khan Academy* αριστεύει στις παραμέτρους της Ευκολίας Χρήσης (Ease of Use), της Προσβασιμότητας και των Διδακτικών Λειτουργιών (Teaching Functions). Το υλικό είναι οργανωμένο με απόλυτη μαθησιακή γραμμικότητα και μπορεί να αξιοποιηθεί ιδανικά στο μοντέλο της Αντεστραμμένης Τάξης (Flipped Classroom), όπου ο μαθητής μελετά αυτόνομα το σύντομο βίντεο στο σπίτι και στη συνέχεια συμμετέχει στην τάξη για την επίλυση προβλημάτων (Abeysekera & Dawson, 2015). Η παιδαγωγική αξία του καναλιού έγκειται στην παροχή μιας δωρεάν, υψηλής ποιότητας γνωστικής μαθητείας (cognitive apprenticeship), η οποία είναι απόλυτα προσβάσιμη από τους μαθητές/τριες κάθε κοινωνικοοικονομικού υπόβαθρου, συμβάλλοντας καθοριστικά στην άρση των εκπαιδευτικών ανισοτήτων στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση (Bates, 2015; Hudson & Luska, 2013).

1.7.2 Τα Διεθνή Εκπαιδευτικά Κανάλια

Το Κανάλι «Crash Course»

Το διεθνές κανάλι *Crash Course* (δημιουργία των αδελφών Hank και John Green) αντιπροσωπεύει την αιχμή του δόρατος στην κατηγορία του edutainment (εκπαιδευτική ψυχαγωγία) παγκοσμίως, διαθέτοντας εξειδικευμένες σειρές για τη Χημεία, τη Φυσική, την Ιστορία των Επιστημών και πολλά άλλα. Το στυλ του καναλιού είναι εξαιρετικά γρήγορο, δυναμικό και έντονα πολυμεσικό. Συνδυάζει έναν χαρισματικό «talking head» παρουσιαστή, ο οποίος μιλά με καταγιστικό ρυθμό, με συνεχή περάσματα σε δισδιάστατα animations υψηλής αισθητικής αξίας (σχεδιασμένα από το στούντιο Thought Cafe), ιστορικές εικόνες, χιουμοριστικά σκετς και pop-up κείμενα. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται

στην έντονη καλλιέργεια του ενδιαφέροντος (situational interest) και της εξωτερικής προσοχής του μαθητή μέσω του οπτικού πλουραλισμού.

Από την άποψη της γνωστικής ψυχολογίας και των αρχών του Mayer, το *Crash* παρουσιάζει μια ιδιαίτερη και αμφιλεγόμενη συμπεριφορά, η οποία απαιτεί προσεκτική παιδαγωγική διαχείριση. Από τη μία πλευρά, εφαρμόζει υποδειγματικά την Αρχή της Πολυμέσων (multimedia principle) και την αρχή της εξατομίκευσης, καθώς η αφήγηση είναι γεμάτη ζωντάνια, χιούμορ και μεταφορές, στοιχεία που ενισχύουν την κοινωνική σύνδεση (Clark & Mayer, 2016). Από την άλλη πλευρά, ο καταγιστικός ρυθμός ομιλίας και η συνεχής εναλλαγή οπτικών ερεθισμάτων εγκυμονούν έναν σοβαρό κίνδυνο παραβίασης της Αρχής της Συνάφειας (coherence principle) μέσω της εισαγωγής «ελκυστικών λεπτομερειών» (seductive details) που επιβαρύνουν το εξωγενές γνωστικό φορτίο (Mayer, 2009). Ο μαθητής, στην προσπάθειά του να επεξεργαστεί ταυτόχρονα το γρήγορο χιούμορ, τα pop-up γραφικά και τη βαθιά επιστημονική θεωρία (π.χ. στοιχειομετρία ή κβαντομηχανική), ενδέχεται να υποστεί γνωστική υπερφόρτωση (cognitive overload), αποτυγχάνοντας να ξεχωρίσει την ουσιαστική πληροφορία (Sweller, 2010).

Στο πλαίσιο του μοντέλου SECTIONS, η παράμετρος των μαθητών/τριών (Students) και των Διδακτικών Λειτουργιών (Teaching Functions) αποκτά κομβική σημασία για το *Crash Course*. Το κανάλι είναι εξαιρετικά δημοφιλές στους μαθητές/τριες (Students) της ψηφιακής γενιάς λόγω της υψηλής αισθητικής του ποιότητας (Welbourne & Grant, 2016). Ωστόσο, για να έχει πραγματική παιδαγωγική αξία στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση, ο εκπαιδευτικός δεν πρέπει ποτέ να το αναθέτει ως ένα βίντεο παθητικής παρακολούθησης. Απαιτείται η εφαρμογή στρατηγικών κατάτμησης (segmenting) από τον ίδιο τον εκπαιδευτικό, ο οποίος οφείλει να καθοδηγεί τους μαθητές/τριες να κάνουν παύσεις (pause), να κρατούν σημειώσεις ή να απαντούν σε ενσωματωμένα διαδραστικά ερωτήματα (hotspots) μέσω εργαλείων όπως το H5P ή το Edpuzzle, μετατρέποντας το μέσο από πηγή παθητικής ψυχαγωγίας σε εργαλείο ενεργητικής οικοδόμησης της γνώσης (Bates, 2015; Brame, 2016; Gallardo-Williams et al., 2021).

Το Κανάλι «Kurzgesagt - In a Nutshell»

Το γερμανικής προέλευσης διεθνές κανάλι *Kurzgesagt - In a Nutshell* αποτελεί το παγκόσμιο ορόσημο του εκπαιδευτικού animation και του «flat design» στο YouTube. Η θεματολογία του εκτείνεται από την κοσμολογία και την κβαντική φυσική μέχρι τη βιολογία και τις περίπλοκες χημικές διεργασίες της ζωής. Το οπτικό στυλ του καναλιού είναι μοναδικό: ένα εκτυφλωτικό, γεμάτο ζωντανά χρώματα δισδιάστατο περιβάλλον, με χαρακτηριστικούς animated χαρακτήρες (κυρίως πάπιες και πουλιά), οι οποίοι τοποθετούνται μέσα σε ένα απόλυτα ελεγχόμενο σχεδιαστικό σύμπαν. Η αφήγηση γίνεται από μια βαθιά, ήρεμη και άκρως επαγγελματική φωνή, η οποία ακολουθεί έναν σταθερό, μετρημένο ρυθμό, προσφέροντας μια έντονη αίσθηση ακαδημαϊκής αυστηρότητας που έρχεται σε ισορροπία με την παιδικότητα των γραφικών.

Από την άποψη της πολυμεσικής μάθησης του Mayer, το *Kurzgesagt - In a Nutshell* εφαρμόζει υποδειγματικά την Αρχή της Τροπικότητας και την Αρχή της Χρονικής συνέχειας, καθώς το οπτικό κανάλι κατακλύζεται από την κίνηση των γραφικών, ενώ το ακουστικό κανάλι διαχειρίζεται αποκλειστικά την προφορική αφήγηση, αποφεύγοντας τον γραπτό πλεονασμό (Mayer, 2009). Το κανάλι παρουσιάζει τεράστια παιδαγωγική αξία για τη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών, καθώς έχει τη μοναδική ικανότητα να οπτικοποιεί με απόλυτη σαφήνεια το υποατομικό επίπεδο (Dori & Hameiri, 2003). Για παράδειγμα, κατά την επεξήγηση της συμπεριφοράς των ατόμων ή των ιών, το animation μεγεθύνει τον μικρόκοσμο, επιτρέποντας στον μαθητή να σχηματίσει ένα ακριβές νοητικό μοντέλο της διαδικασίας (Sharmin et al., 2024). Ωστόσο, η κριτική ανάλυση αναδεικνύει τον κίνδυνο της «εντυπωσιοθηρίας» και της παραβίασης της αρχής της συνάφειας, καθώς η παρουσία χαριτωμένων αλλά άσχετων animated χαρακτήρων που πεθαίνουν με χιουμοριστικό τρόπο στην οθόνη μπορεί να λειτουργήσει ως ανούσιο στοιχείο εντυπωσιασμού, αποσπώντας την προσοχή από το βαθύτερο επιστημονικό νόημα (Mayer & Moreno, 2003; Sweller, 2010).

Εξεταζόμενο μέσω του μοντέλου SECTIONS, το *Kurzgesagt - In a Nutshell* αντιπροσωπεύει την κατηγορία του εξαιρετικά υψηλού Κόστους (Cost) παραγωγής και της χαμηλής Ευκολίας Χρήσης (Ease of Use) για τον μεμονωμένο δημιουργό, καθώς κάθε βίντεο απαιτεί εκατοντάδες ώρες εργασίας από μια ολόκληρη ομάδα επαγγελματιών animator και επιστημονικών συμβούλων (Bates, 2015). Παρόλα αυτά, η απήχησή του στους μαθητές/τριες (Students) είναι συγκλονιστική, καθώς καλλιεργεί μια βαθιά συναισθηματική εμπλοκή (emotional design) και προκαλεί έντονα γνωστικά ερωτήματα (Kohler & Dietrich,

2021). Στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση, τα βίντεο του *Kurzgesagt - In a Nutshell* αποτελούν κορυφαία εργαλεία για την εισαγωγή σε μια θεματική ενότητα ή για τη δημιουργία συνθηκών άτυπης μάθησης, καθώς καταφέρνουν να εκλαϊκεύσουν την επιστήμη χωρίς να θυσιάσουν την επιστημονική της εγκυρότητα, προσφέροντας ένα ιδανικό έναυσμα για περαιτέρω αναζήτηση (Pattier, 2021; Σοφός & Παπαδημητρίου, 2022).

Το Κανάλι «Periodic Videos»

Το κανάλι *Periodic Videos* (δημιουργία του Πανεπιστημίου του Nottingham με κεντρικό πρόσωπο τον εμβληματικό καθηγητή Χημείας Sir Martyn Poliakoff) αντιπροσωπεύει μια εντελώς διαφορετική, άκρως αυθεντική φιλοσοφία εκπαιδευτικού μέσου. Το οπτικό στυλ του καναλιού βασίζεται αποκλειστικά στη βιντεοσκόπηση πραγματικών εργαστηριακών πειραμάτων (video-recorded experiments) σε συνδυασμό με αυθόρμητες, μη σεναριογραφημένες (unscripted) συνεντεύξεις και επεξηγήσεις από τον καθηγητή. Δεν υπάρχουν ψηφιακά εφέ, animations ή flat design γραφικά. Η κάμερα καταγράφει με απόλυτο ρεαλισμό τις χημικές αντιδράσεις, τις εκρήξεις, τις αλλαγές φάσεων και τη διαχείριση των χημικών αντιδραστηρίων από τους τεχνικούς του εργαστηρίου.

Από την άποψη της διδακτικής της Χημείας, το *Periodic Videos* αποτελεί το κορυφαίο εργαλείο για την κάλυψη του μακροσκοπικού επιπέδου αναπαράστασης. (Dori & Hameiri, 2003). Ο/η μαθητής/τρια έρχεται σε επαφή με την πραγματική, «ακατέργαστη» επιστήμη, βλέποντας πώς συμπεριφέρονται τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα στην πραγματικότητα, γεγονός που ενισχύει την αυθεντικότητα της μαθησιακής εμπειρίας (Drahl, 2010; Seery, 2015). Από τη σκοπιά του Mayer, η παρουσία του Sir Martyn Poliakoff, με τα χαρακτηριστικά ανακατωμένα μαλλιά του και τον παθιασμένο, αυθεντικό του λόγο, αποτελεί μια ζωντανή ενσάρκωση της αρχής της εξατομίκευσης και της Αρχής της Φωνής, καθώς ο θεατής νιώθει ότι επικοινωνεί με έναν αληθινό, σοφό επιστήμονα (social agency theory), γεγονός που αυξάνει κατακόρυφα το ενδιαφέρον και τη γνωστική του εμπλοκή (Mayer, 2009). Ωστόσο, τα βίντεο αυτά είναι συχνά «θορυβώδη» από άποψη γνωστικού φορτίου, καθώς η έλλειψη μοντάζ και η ύπαρξη περιβάλλοντος εργαστηρίου μπορεί να εισάγει άσχετα οπτικά ερεθίσματα, παραβιάζοντας την αρχή της συνάφειας (Sweller, 2010).

Αναλύοντας το κανάλι μέσω του μοντέλου SECTIONS, οι παράμετροι των Διδακτικών Λειτουργιών (Teaching Functions) και της Ασφάλειας (Safety/Security) αναδεικνύουν την τεράστια παιδαγωγική του αξία. Το Periodic Videos επιτρέπει στους εξ αποστάσεως μαθητές/τριες να «παρευρεθούν» σε επικίνδυνα, ακριβά ή σπάνια πειράματα (π.χ. αντιδράσεις αλκαλίων με νερό, διαχείριση υγρού αζώτου), τα οποία θα ήταν αδύνατον να εκτελεστούν σε ένα τυπικό σχολικό εργαστήριο λόγω έλλειψης πόρων ή περιορισμών ασφαλείας, καλύπτοντας έτσι μια κρίσιμη διδακτική λειτουργία στην εξΑΕ (Bates, 2015; Simo et al., 2010). Το υλικό λειτουργεί υποδειγματικά ως προ-εργαστηριακή δραστηριότητα (pre-laboratory activity), προετοιμάζοντας νοητικά τους/τις μαθητές/τριες για τις εργαστηριακές πρακτικές και βελτιώνοντας τη μετέπειτα επίδοσή τους (Agustian & Seery, 2017; Basey et al., 2014; Stieff et al., 2018). Η παιδαγωγική του αξία έγκειται στην απομυθοποίηση της Χημείας και στη σύνδεσή της με τον πραγματικό κόσμο, αποτελώντας ένα κλασικό σημείο αναφοράς για τη διδακτική των Θετικών Επιστημών (Smith, 2014).

Το Κανάλι «Khan Academy»

Το μητρικό, διεθνές κανάλι *Khan Academy* στην αγγλική γλώσσα αποτελεί το μεγαλύτερο και πιο επιδραστικό ψηφιακό οικοσύστημα εκπαιδευτικών βίντεο παγκοσμίως. Ενώ μοιράζεται την ίδια σχεδιαστική φιλοσοφία με την ελληνική του έκδοχή, το παγκόσμιο κανάλι διαφοροποιείται ριζικά ως προς την κλίμακα, το βάθος του περιεχομένου και την πολυφωνία της διδακτικής ομάδας. Το οπτικό του στυλ διατηρεί την εμβληματική, αυστηρά μινιμαλιστική προσέγγιση του «ψηφιακού μαυροπίνακα» (digital whiteboard / screencast) σε σκοτεινό φόντο με τη χρήση πολύχρωμων ψηφιακών μελανιών, η αφήγηση όμως εδώ δεν περιορίζεται αποκλειστικά στον ιδρυτή Salman Khan, αλλά εκτείνεται σε μια ευρεία και εξειδικευμένη ομάδα ακαδημαϊκών και εκπαιδευτικών περιεχομένου, προσφέροντας μια πολυδιάστατη εμπειρία μάθησης (Hudson & Luska, 2013; Welbourne & Grant, 2016).

Η θεματολογία του διεθνούς καναλιού καλύπτει με εξαιρετικό βάθος και υποδειγματική ακαδημαϊκή κλιμάκωση ολόκληρο το φάσμα των Θετικών Επιστημών, προχωρώντας πέρα από τη βασική σχολική ύλη σε πανεπιστημιακά επίπεδα General και Organic Chemistry, Λογισμού, Κβαντικής Φυσικής, Αναλυτικής Βιολογίας και πολλά άλλα. Οι οπτικοποιήσεις ακολουθούν τη δυναμική σχεδίαση σε πραγματικό χρόνο (real-time dynamic drawing), όπου η εμφάνιση των χημικών δομών, των μηχανισμών αντίδρασης (όπως για παράδειγμα οι μηχανισμοί πυρηνόφιλης υποκατάστασης SN1 και SN2) και των

τρισδιάστατων μοριακών τροχιακών συγχρονίζεται απόλυτα με την προφορική επεξήγηση. Αυτή η προσέγγιση εφαρμόζει άριστα την αρχή της χρονικής και χωρικής συνέχειας (temporal and spatial contiguity principles) του Mayer, καθώς ο μαθητής δεν χρειάζεται να διασπάσει την προσοχή του ανάμεσα σε μακρινά κείμενα και εικόνες, αλλά παρακολουθεί την οργανική γέννηση της επιστημονικής αναπαράστασης στην οθόνη (Clark & Mayer, 2016; Mayer & Moreno, 2003).

Από παιδαγωγικής πλευράς, το *Khan Academy* βασίζεται στη θεωρία της μάθησης προς ανάπτυξη (Mastery Learning) και της γνωστικής μαθητείας (Cognitive Apprenticeship), αποδομώντας τις εξαιρετικά σύνθετες επιστημονικές έννοιες σε αυτοτελή βίντεο-μικρομαθήματα (microlearning) μικρής διάρκειας (Brame, 2016; Shoufan & Mohamed, 2022). Μέσα από το πρίσμα της Θεωρίας του Γνωστικού Φορτίου, η παντελής απουσία διακοσμητικών γραφικών, μουσικής υπόκρουσης ή «θορυβώδους» παρασκηνίου εξαλείφει πλήρως το εξωγενές γνωστικό φορτίο (coherence principle), επιτρέποντας στη μνήμη εργασίας του εκπαιδευόμενου να αφοσιωθεί αποκλειστικά στην επεξεργασία του εσωγενούς γνωστικού φορτίου της έννοιας (Mayer, 2009; Sweller, 2010). Η χρήση έντονων χρωματικών κωδίκων για τη διάκριση των ατόμων, των φορτίων ή των μαθηματικών όρων αποτελεί μια κορυφαία εφαρμογή της αρχής της σήμανσης (signaling principle), καθοδηγώντας με ακρίβεια το βλέμμα και τη σκέψη του μαθητή (Sweller, 1988).

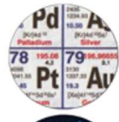
Επιπλέον, η εφαρμογή της αρχής της εξατομίκευσης (personalization principle) μέσω της ζεστής, ανεπίσημης και ενθαρρυντικής φωνής των διαφόρων αφηγητών του καναλιού δημιουργεί ένα ισχυρό αίσθημα κοινωνικής παρουσίας, κάνοντας τον μαθητή να νιώθει ότι συμμετέχει σε μια ιδιωτική, εξατομικευμένη συνεδρία διδασκαλίας. Αναλύοντας το μέσο βάσει του μοντέλου SECTIONS του Bates, το *Khan Academy Global* παρουσιάζει κορυφαία πλεονεκτήματα στην παράμετρο των Μαθητών/τριών (Students), της Ευκολίας Χρήσης (Ease of Use) και των Διδακτικών Λειτουργιών (Teaching Functions), καθώς η τεράστια δεξαμενή του περιεχομένου του προσφέρει απεριόριστες δυνατότητες για την υιοθέτηση του μοντέλου της Αντεστραμμένης Τάξης (Flipped Classroom) σε διεθνές επίπεδο (Abeysekera & Dawson, 2015; Bates, 2015). Παρόλο που το κόστος ανάπτυξης της συνολικής πλατφόρμας είναι θεσμικό, το μηδενικό Κόστος (Cost) για τον τελικό χρήστη και η απόλυτη Ευκολία Χρήσης (Ease of Use) καθιστούν το κανάλι ένα ανεκτίμητο συμπληρωματικό εργαλείο για την υποστήριξη της αυτόνομης και εξ αποστάσεως μάθησης,

ενισχύοντας την εσωτερική παρακίνηση και την αυτορρύθμιση των μαθητών/τριών (Simo et al., 2010).

Πίνακας 1.5 Πλήθος Βίντεο, Θεματολογίες και Μορφές Οπτικοποίησης των Καναλιών Τυπικής Εκπαίδευσης / Αποθετηρίων (έως και τον Απρίλιο του 2026)

Τυπική Εκπαίδευση / Αποθετήρια	
	Khan Academy: 9.074 βίντεο 17 Θεματολογίες 3 Μορφές Οπτικοποίησης
	Khan Academy Greek: 1.626 βίντεο 4 Θεματολογίες 3 Μορφές Οπτικοποίησης
	Σχολική Χημεία: 50 βίντεο 1 Θεματολογίες 4 Μορφές Οπτικοποίησης
	Crash Course: 1.681 βίντεο 59 Θεματολογίες 7 Μορφές Οπτικοποίησης

Πίνακας 1.6 Πλήθος Βίντεο, Θεματολογίες και Μορφές Οπτικοποίησης των Καναλιών Επικοινωνίας της Επιστήμης (έως και τον Απρίλιο του 2026)

Επικοινωνία της Επιστήμης	
	Kurzgesagt – In A Nutshell: 349 βίντεο 14 Θεματολογίες 2 Μορφές Οπτικοποίησης
	Periodic Videos: 744 βίντεο 5 Θεματολογίες 8 Μορφές Οπτικοποίησης
	Astronio: 151 βίντεο 7 Θεματολογίες 4 Μορφές Οπτικοποίησης
	Καθημερινή Φυσική: 81 βίντεο 6 Θεματολογίες 6 Μορφές Οπτικοποίησης

2. Μεθοδολογία Έρευνας

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι η αναλυτική παρουσίαση και η επιστημονική τεκμηρίωση του μεθοδολογικού σχεδιασμού που καθοδηγεί την παρούσα έρευνα. Η έρευνα είναι μικτή με συνδυασμό ποιοτικής και ποσοτικής μεθόδου μέσω μελετών περίπτωσης (case studies) για την εις βάθος κατανόηση σύνθετων φαινομένων

Αρχικά, περιγράφεται η στρατηγική της συστηματικής βιβλιογραφικής επισκόπησης και τα ποιοτικά φίλτρα που εφαρμόστηκαν για τη συγκρότηση του θεωρητικού πλαισίου. Εν συνεχεία, αποσαφηνίζεται η διαδικασία συλλογής, δειγματοληψίας και επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων της μελέτης, η οποία διαρθρώνεται σε δύο συμπληρωματικούς άξονες: την ποσοτική καταγραφή των στατιστικών στοιχείων (analytics) που διατίθενται δημοσίως των επιλεγμένων καναλιών και την ποιοτική ανάλυση της ανατροφοδότησης του κοινού σε συνδυασμό με την άντληση δεδομένων παρασκήνιου (backend metrics). Επίσης γίνεται μια παράθεση των ερευνητικών εργαλείων και των στρατηγικών που επιστρατεύθηκαν για τη διασφάλιση της εσωτερικής εγκυρότητας, της αξιοπιστίας και της ακαδημαϊκής αυστηρότητας της ερευνητικής πορείας.

Στο πλαίσιο μιας μελέτης περίπτωσης, η επιλογή και η σύγκριση των διδακτικών μέσων δεν μπορεί να βασίζεται σε υποκειμενικά ή εμπειρικά κριτήρια, αλλά απαιτεί τη θεμελίωση ενός αυστηρού μεθοδολογικού πλαισίου που διασφαλίζει την εσωτερική εγκυρότητα και τη διαφάνεια της ερευνητικής πορείας (Creswell & Creswell, 2017). Η ανάγκη αυτή γίνεται ακόμη πιο επιτακτική όταν το υπό εξέταση υλικό αντλείται από ανοικτές ψηφιακές πλατφόρμες, όπως το YouTube, όπου η υπερπροσφορά περιεχομένου συνοδεύεται από τεράστιες αποκλίσεις ως προς την επιστημονική εγκυρότητα και την παιδαγωγική καταλληλότητα των βίντεο (Fyfield et al., 2021; Shoufan & Mohamed, 2022). Συνεπώς, κρίνεται αναγκαίο να προταθεί μια σαφής εισαγωγική πλαισίωση των εργαλείων και των κριτηρίων που επιστρατεύθηκαν, προκειμένου να γεφυρωθεί η θεωρητική ανασκόπηση με την πρακτική συγκριτική ανάλυση των καναλιών.

Η διασφάλιση της επιστημονικής αυστηρότητας, της εσωτερικής εγκυρότητας και της ακαδημαϊκής αξιοπιστίας αποτελεί τον κεντρικό πυλώνα για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σε κάθε σύγχρονη εκπαιδευτική έρευνα. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η μεθοδολογική προσέγγιση που υιοθετήθηκε για τη μελέτη των

ψηφιακών εκπαιδευτικών μέσων δεν περιορίστηκε σε μια μονοδιάστατη καταγραφή χαρακτηριστικών, αλλά βασίστηκε στην αρχή της τριγωνοποίησης (triangulation strategy). Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες των Creswell και Creswell (2017), η τριγωνοποίηση αποτελεί την πλέον έγκυρη μέθοδο για την υπέρβαση των υποκειμενικών περιορισμών της ποιοτικής έρευνας, καθώς επιτρέπει τη διασταύρωση των ευρημάτων μέσω της σύγκλισης διαφορετικών πηγών δεδομένων και ερευνητικών εργαλείων. Στη συγκεκριμένη ερευνητική διαδικασία, αναπτύχθηκε ένα δυναμικό πλέγμα τριγωνοποίησης που συνδέει οργανικά τη διεθνή και εγχώρια βιβλιογραφία, τα πρωτογενή ποσοτικά δεδομένα, τα οποία περιλαμβάνουν τόσο τα δημόσια στατιστικά στοιχεία όσο και τα κλειστά διαχειριστικά δεδομένα υποβάθρου των καναλιών, καθώς και τα ποιοτικά δεδομένα που προκύπτουν από την ανάλυση της ανατροφοδότησης του κοινού.

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας αφορούσε την ποιοτική επιλογή του προς εξέταση σώματος των καναλιών του YouTube. Η επιλογή τόσο των ελληνικών όσο και των διεθνών καναλιών πραγματοποιήθηκε με βάση ένα σαφώς ορισμένο ποιοτικό κριτήριο, το οποίο στόχευε εν ολίγοις στην κάλυψη όσο το δυνατόν περισσότερων μορφών οπτικοποίησης (animations, προσομοιώσεις, στατικά μέσα, ψηφιακούς μαυροπίνακες, lightboards και εργαστηριακές βιντεοσκοπήσεις). Παράλληλα, συνυπολογίστηκε η δημοτικότητα τους, ο βαθμός εμπλοκής του κοινού (engagement) και το συνολικό επίπεδο του περιεχομένου τους, εξεταζόμενο τόσο σε επιστημονικό όσο και σε δημιουργικό επίπεδο (Fyfield et al., 2021; Welbourne & Grant, 2016). Αυτή η στοχευμένη επιλογή εξασφάλισε ότι η έρευνα στηρίζεται σε πηγές υψηλής παιδαγωγικής και ψηφιακής καταλληλότητας, οι οποίες έχουν ήδη διαμορφώσει σταθερές κοινότητες μάθησης και αποτελούν αντιπροσωπευτικά δείγματα της σύγχρονης επιστημονικής επικοινωνίας στις Θετικές Επιστήμες (Duboni & Tabak, 2020; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

Η εναρμόνιση αυτών των επιλογών με το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας επιτυγχάνεται μέσω της διπλής επιστημονικής πλαισίωσης από τη Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης του Richard Mayer και το Μοντέλο SECTIONS του A. W. Bates (Bates, 2015; Mayer, 2009). Οι δύο αυτές θεωρητικές κατευθύνσεις χρησιμοποιούνται αφενός ως εργαλεία περιγραφής και αφετέρου ως οι δυναμικοί ρυθμιστές της συγκριτικής διαδικασίας. Η θεωρία του Mayer προσφέρει τα απαραίτητα κριτήρια για τον έλεγχο του «γνωστικού φορτίου» των μαθητών/τριών στην οθόνη, εξετάζοντας αν ο σχεδιασμός των

βίντεο προστατεύει τη μνήμη εργασίας από τη γνωστική υπερφόρτωση (Clark & Mayer, 2016; Sweller, 2010). Αντίστοιχα, το μοντέλο SECTIONS εισάγει τα αναγκαία τεχνολογικά, οικονομικά και θεσμικά κριτήρια, αξιολογώντας τη χρηστικότητα, το κόστος και τις διδακτικές λειτουργίες των μέσων εντός της πραγματικότητας της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης. Μέσα από αυτή τη συνθετική εισαγωγική θεμελίωση, προετοιμάζεται το έδαφος για μια συστηματική και εις βάθος παρουσίαση των εργαλείων και των κριτηρίων που καθοδηγούν τη μελέτη περιπτώσεων, διασφαλίζοντας ότι η δύναμη της ψηφιακής εικόνας θα αναλυθεί με όρους παιδαγωγικής επιστήμης.

2.1 Μεθοδολογία Βιβλιογραφικής Επισκόπησης

Η συγκρότηση ενός έγκυρου, σύγχρονου και παιδαγωγικά τεκμηριωμένου θεωρητικού πλαισίου αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για την επιτυχή εκπόνηση μιας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, ειδικότερα στο πεδίο της Εκπαίδευσης και των Τεχνολογιών σε συστήματα εξ αποστάσεως διδασκαλίας και μάθησης. Δεδομένης της ραγδαίας εξέλιξης των ψηφιακών μέσων και της συνεπακόλουθης παραγωγής ενός τεράστιου όγκου επιστημονικών δημοσιεύσεων, κρίθηκε επιτακτική η υιοθέτηση μιας αυστηρής, συστηματικής και διαφανούς μεθοδολογίας για τον εντοπισμό, την αξιολόγηση και την τελική επιλογή της σχετικής βιβλιογραφίας (Creswell et al., 2017). Ο πρωτεύων σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να περιγράψει αναλυτικά τα στάδια, τα εργαλεία και τα ποιοτικά κριτήρια που εφαρμόστηκαν προκειμένου να διαμορφωθεί η βιβλιογραφική βάση της παρούσας έρευνας, διασφαλίζοντας την ακαδημαϊκή της αυστηρότητα και την απόλυτη ευθυγράμμιση με τα ερευνητικά ερωτήματα.

Η βιβλιογραφική επισκόπηση δεν προσεγγίστηκε ως μια γραμμική ή τυχαία συγκέντρωση άρθρων, αλλά ως μια δυναμική, επαναληπτική διαδικασία εννοιολογικού φιλτραρίσματος. Η ανάγκη αυτή πηγάζει από το γεγονός ότι η διδασκαλία των Θετικών Επιστημών στην Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση (εξΑΕ), μέσω δυναμικών οπτικοποιήσεων, αποτελεί ένα σύνθετο και πολυδιάστατο πεδίο το οποίο χαρακτηρίζεται από ποικίλα τεχνολογικά και παιδαγωγικά εμπόδια (Dori et al., 2021; Saldivar & Flores, 2024). Το πεδίο αυτό τέμνει τη γνωστική ψυχολογία, την πληροφορική, την οπτικοακουστική παραγωγή και τη διδακτική μεθοδολογία. Συνεπώς, η μεθοδολογία αναζήτησης έπρεπε να είναι επαρκώς

ευρεία ώστε να συμπεριλάβει τις θεμελιώδεις θεωρίες μάθησης, αλλά και εξαιρετικά στοχευμένη ώστε να απομονώσει εκείνες τις εμπειρικές μελέτες που εξετάζουν την πρακτική εφαρμογή των δυναμικών οπτικοποιήσεων σε περιβάλλοντα σύγχρονης και ασύγχρονης τηλεεκπαίδευσης.

Στρατηγική Ψηφιακής Αναζήτησης και Ηλεκτρονικές Βάσεις Δεδομένων

Το πρώτο στάδιο της μεθοδολογικής πορείας περιλάμβανε τον καθορισμό των ψηφιακών δεξαμενών γνώσης και τη διαμόρφωση συγκεκριμένων στρατηγικών αναζήτησης. Η πρωτογενής συγκέντρωση του υλικού πραγματοποιήθηκε μέσω της συστηματικής πλοήγησης στις εγκυρότερες διεθνείς ακαδημαϊκές βάσεις δεδομένων και μηχανές αναζήτησης επιστημονικών δημοσιεύσεων. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκε εκτενώς η πλατφόρμα Google Scholar, η οποία προσέφερε ευρύτατη πρόσβαση σε σύγχρονες μελέτες, άρθρα, συνεδριακά πρακτικά και ακαδημαϊκές διατριβές. Παράλληλα, για τη διασφάλιση της χρονικής συνέχειας και της πρόσβασης σε θεμελιώδη άρθρα που έχουν υποβληθεί σε αξιολόγηση από ομότιμους κριτές και άρθρα υψηλού δείκτη απήχησης, χρησιμοποιήθηκε η ψηφιακή βιβλιοθήκη JSTOR, καθώς και εξειδικευμένα εκπαιδευτικά αποθετήρια όπως η βάση ERIC (Educational Resources Information Center) και οι ηλεκτρονικές πηγές του Science Direct και της American Chemical Society (ACS). Η επιλογή αυτή έγινε με σκοπό την υπέρβαση των περιορισμών που επιβάλλουν οι αλγόριθμοι των εμπορικών μηχανών αναζήτησης, εξασφαλίζοντας μια αντικειμενική και σφαιρική προσέγγιση (Fyfield et al., 2021).

Για την αποτελεσματική διείσδυση στις εν λόγω βάσεις δεδομένων, αναπτύχθηκαν σύνθετα ερωτήματα αναζήτησης με τη χρήση κατάλληλων προσδιοριστικών συμβόλων (εισαγωγικά για φράσεις ακριβείας). Οι θεματικοί άξονες της αναζήτησης δομήθηκαν γύρω από τέσσερις κεντρικούς πυλώνες: την εκπαίδευση, την οπτικοποίηση, τις νέες τεχνολογίες και τις παιδαγωγικές μεθόδους (Beheshti et al., 2018; Shoufan & Mohamed, 2022). Στην αγγλική γλώσσα, η οποία αποτέλεσε την κύρια γλώσσα της διεθνούς βιβλιογραφίας, χρησιμοποιήθηκαν όροι και συνδυασμοί όπως: "multimedia learning and science education" (Mayer, 2009), "dynamic visualization and science education" (Agustian & Seery, 2017), "educational video and cognitive load" (Brame, 2016), "instructional media and SECTIONS model" (Bates, 2015), "asynchronous learning and interactive video", καθώς και "student-

generated videos and laboratory instruction" (Gallardo-Williams et al., 2021). Στην ελληνική γλώσσα, η αναζήτηση επικεντρώθηκε σε όρους όπως: "εξ αποστάσεως εκπαίδευση", "οπτικοακουστικός γραμματισμός", "ψηφιακά εκπαιδευτικά σενάρια" και "αξιοποίηση οπτικοακουστικών μέσων" (Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

Η διαδικασία αυτή επέτρεψε τη συγκέντρωση ενός αρχικού, εκτενούς σώματος βιβλιογραφικών αναφορών. Κατά τη διάρκεια της ψηφιακής αναζήτησης, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην εγκυρότητα των πηγών, προτιμώντας άρθρα δημοσιευμένα σε διεθνή περιοδικά με αυστηρό σύστημα κριτών, όπως το Journal of Chemical Education, το Computers & Education, το Chemistry Education Research and Practice, και το CBE-Life Sciences Education. Ταυτόχρονα, αξιοποιήθηκαν κείμενα θεσμικών φορέων όπως το ΥΠΙΑΙΘΑ, ΙΕΠ, UNESCO και οδηγοί για την ελληνική εκπαιδευτική πραγματικότητα, προκειμένου να διασφαλιστεί η δυνατότητα μεταφοράς των διεθνών ευρημάτων στο ελληνικό σχολικό πλαίσιο.

Η Μεθοδολογική Προσέγγιση της Χιονοστιβάδας (Snowballing) από Μετα-Αναλύσεις

Λόγω της υπερπροσφοράς πληροφοριών και της ύπαρξης χιλιάδων άρθρων που πραγματεύονται γενικά την ψηφιακή τεχνολογία στην εκπαίδευση, η απλή αναζήτηση βάσει λέξεων-κλειδιών αποδείχθηκε ανεπαρκής για την απομόνωση των πλέον ποιοτικών και σχετικών μελετών. Για τον λόγο αυτό, εφαρμόστηκε συμπληρωματικά η μεθοδολογική προσέγγιση της «χιονοστιβάδας» (snowballing strategy), η οποία εκκίνησε από τον εντοπισμό και τη μελέτη ερευνητικών μετα-αναλύσεων (meta-analysis) και συστηματικών βιβλιογραφικών ανασκοπήσεων (Creswell et al, 2017; Shoufan & Mohamed, 2022). Οι μετα-αναλύσεις αποτέλεσαν το ιδανικό σημείο εισόδου στο αντικείμενο, καθώς προσέφεραν μια μακροπροοπτική χαρτογράφηση του πεδίου, αναδεικνύοντας τις κυριαρχούσες τάσεις, τα στατιστικά τεκμηριωμένα αποτελέσματα και τα υφιστάμενα ερευνητικά κενά.

Η διαδικασία της χιονοστιβάδας υλοποιήθηκε με δύο κατευθύνσεις: την οπισθοδρομική (backward snowballing) και την προοδευτική (forward snowballing). Κατά την οπισθοδρομική χιονοστιβάδα, εξετάστηκαν εξονυχιστικά οι λίστες βιβλιογραφικών αναφορών των εντοπισμένων μετα-αναλύσεων. Η πρακτική αυτή επέτρεψε τον εντοπισμό των πρωτογενών, κλασικών και θεμελιωδών μελετών στις οποίες βασίστηκε η

επιστημονική κοινότητα για να δομήσει το πεδίο. Με τον τρόπο αυτό, εντοπίστηκαν οι αυθεντικές εργασίες για τη Θεωρία του Γνωστικού Φορτίου (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1988), καθώς και οι πρώτες εμπειρικές δοκιμές των πολυμεσικών αρχών σε σχολικά περιβάλλοντα. Αντίστοιχα, κατά την προοδευτική χιονοστιβάδα, εντοπίστηκαν οι μεταγενέστερες μελέτες που είχαν ως σημείο αναφοράς και παρέπεμπαν στις εν λόγω μετα-αναλύσεις, διασφαλίζοντας την ενσωμάτωση των πιο πρόσφατων ερευνητικών δεδομένων της τελευταίας πενταετίας.

Από κάθε μετα-ανάλυση που μελετήθηκε, απομονώθηκαν οι επιμέρους πηγές που παρουσίαζαν εξαιρετικό ενδιαφέρον για τον σχεδιασμό εκπαιδευτικού υλικού. Η επιλογή αυτών των πηγών έγινε με κριτήριο την κριτική εξέταση της μεθοδολογικής τους εγκυρότητας και του βαθμού συνάφειάς τους με τις ανάγκες της διδασκαλίας των Θετικών Επιστημών (Burewicz & Miranowicz, 2006; Seery, 2015). Οι πρωτογενείς μελέτες οι οποίες προσφέρουν μια βαθύτερη, πρακτική ή θεωρητική απάντηση στα ερευνητικά ερωτήματα της διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκαν για πλήρη ανάγνωση, ανάλυση και ενσωμάτωση, επιτρέποντας στη βιβλιογραφική λίστα να αναπτυχθεί οργανικά, σαν μια χιονοστιβάδα που περιέχει την πιο έγκυρη γνώση του πεδίου.

Θεωρητικά και Παιδαγωγικά Κριτήρια Συμπερίληψης και Αποκλεισμού Πηγών

Η τελική επιλογή των βιβλιογραφικών πηγών από το ευρύ σώμα που συγκεντρώθηκε μέσω της ψηφιακής αναζήτησης και της στρατηγικής της χιονοστιβάδας πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή αυστηρών κριτηρίων συμπερίληψης (inclusion criteria) και αποκλεισμού (exclusion criteria) (Creswell et al., 2017). Τα κριτήρια αυτά δεν ήταν αυθαίρετα, αλλά καθορίστηκαν με βάση τα δύο κεντρικά θεωρητικά και παιδαγωγικά μοντέλα που διέπουν την παρούσα εργασία: τη Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης του Richard Mayer και το Μοντέλο SECTIONS του A. W. Bates. Τα μοντέλα αυτά λειτούργησαν ως επιστημονικά φίλτρα, προκειμένου να απομονωθεί το υλικό που παρουσιάζει πραγματική αξία για τον σχεδιασμό εκπαιδευτικού υλικού στην εξΑΕ.

Το Γνωστικό Φίλτρο: Η Πολυμεσική Μάθηση του Richard Mayers

Το πρώτο και πιο αυστηρό φίλτρο αξιολόγησης αφορούσε την εναρμόνιση των μελετών με τη Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης (CTML) του Richard Mayer (Mayer, 2009). Προκειμένου μια πηγή να συμπεριληφθεί στην τελική βιβλιογραφία, έπρεπε να εξετάζει άμεσα ή έμμεσα τη γνωστική αρχιτεκτονική του ανθρώπινου νου σε σχέση με την παρουσίαση πληροφοριών (Clark & Mayer, 2016). Ειδικότερα, επιλέχθηκαν μελέτες που διερευνούσαν την εφαρμογή, την επικύρωση ή την κριτική αναθεώρηση των δώδεκα πολυμεσικών αρχών του Mayer (όπως οι αρχές της συνάφειας, της σήμανσης, του πλεονασμού, της κατάτμησης και της τροπικότητας) στο πλαίσιο του σχεδιασμού οπτικοακουστικού εκπαιδευτικού υλικού (Mayer & Moreno, 2003).

Αποκλείστηκαν άρθρα που προσέγγιζαν τις νέες τεχνολογίες με έναν καθαρά τεχνοκεντρικό ή εντυπωσιοθηρικό τρόπο, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τη διαχείριση του «γνωστικού φορτίου» των εκπαιδευόμενων (Sweller, 2010). Με τον τρόπο αυτό, η βιβλιογραφία εμπλουτίστηκε με μελέτες που προσφέρουν σαφείς κατευθυντήριες γραμμές για τους τρόπους με τους οποίους η δυναμική οπτικοποίηση (animations, motion graphics) μπορεί να μειώσει το εξωγενές γνωστικό φορτίο και να απελευθερώσει νοητικούς πόρους για την ουσιαστική κατανόηση των αφηρημένων επιστημονικών εννοιών, αποφεύγοντας τον κίνδυνο της γνωστικής υπερφόρτωσης.

Το Παιδαγωγικό και Διοικητικό Φίλτρο: Το Μοντέλο SECTIONS του A. W. Bates

Το δεύτερο φίλτρο αξιολόγησης αφορούσε το Μοντέλο SECTIONS του A. W. Bates, το οποίο προσέφερε το αναγκαίο μεθοδολογικό πλαίσιο για την κριτική επιλογή και παιδαγωγική πλαισίωση των εκπαιδευτικών μέσων στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση (Bates, 1995, 2015). Οι επιλεγμένες μελέτες έπρεπε να παρέχουν δεδομένα ή αναλύσεις που να αγγίζουν τις παραμέτρους του μοντέλου, διασφαλίζοντας ότι η τεχνολογία εξετάζεται ως ένα πολυδιάστατο εκπαιδευτικό εργαλείο. Συγκεκριμένα, αναζητήθηκαν πηγές που επικεντρώνονταν στους μαθητές/τριες (Students), αναλύοντας τον ψηφιακό τους γραμματισμό, τις γνωστικές τους ανάγκες και τις συνήθειες θέασης (Harrison, 2020; Kuhlmann et al., 2024; Nielsen, 2020), καθώς και στην Ευκολία Χρήσης (Ease of Use) και το Κόστος (Cost), προκρίνοντας λύσεις χαμηλού κόστους παραγωγής που είναι προσβάσιμες στον μάχιμο εκπαιδευτικό (Simo et al., 2010).

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στις παραμέτρους των Διδακτικών Λειτουργιών (Teaching Functions) και της Αλληλεπίδρασης (Interaction). Συμπεριλήφθηκαν πηγές που αναλύουν πώς το εκπαιδευτικό βίντεο μπορεί να μετατραπεί από ένα μέσο παθητικής παρακολούθησης σε ένα εργαλείο ενεργητικής οικοδόμησης της γνώσης, μέσω της ενσωμάτωσης διαδραστικών στοιχείων (Abdelhamid & Katz, 2021; Gedera & Zalipour, 2018; Priyakanth et al., 2021) ή μέσω της ανάθεσης της παραγωγής βίντεο στους ίδιους τους μαθητές/τριες ως μέσο αυθεντικής αξιολόγησης (Box et al., 2017; Fernández et al., 2023; Rodriguez-Berrios et al., 2025). Τέλος, συμπεριλήφθηκαν μελέτες που εξετάζουν τα Οργανωτικά Θέματα (Organizational Issues), τη Δικτύωση (Networking) και την Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα (Security and Privacy), προσφέροντας μια ολιστική προσέγγιση για την ενσωμάτωση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης στην επίσημη και άτυπη εκπαιδευτική πράξη (Conde-Caballero et al., 2024; Escamilla-Fajardo et al., 2021; Fiallos et al., 2021; Lijo et al., 2024; Pattier, 2021; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

Θεματική Ταξινόμηση και Ποιοτικός Έλεγχος του Βιβλιογραφικού Υλικού

Μετά την ολοκλήρωση της συλλογής και του πρώτου φιλτραρίσματος, το βιβλιογραφικό υλικό υποβλήθηκε σε μια διαδικασία συστηματικής θεματικής ταξινόμησης και ποιοτικού ελέγχου (Creswell et al., 2017). Η διαδικασία αυτή ήταν απαραίτητη για τη διασφάλιση της εσωτερικής συνοχής του θεωρητικού μέρους της διπλωματικής εργασίας. Οι επιλεγμένες πηγές κατηγοριοποιήθηκαν σε διακριτούς άξονες με βάση το είδος της οπτικοποίησης και την παιδαγωγική στρατηγική που εξέταζαν, επιτρέποντας τη δομημένη και γραμμική παρουσίαση των επιχειρημάτων στο δοκίμιο (Bell & Bull, 2010).

Η πρώτη κατηγορία περιέλαβε μελέτες που εστιάζουν στη δυναμική του βίντεο και τη σημασία της οπτικοποίησης στις Θετικές Επιστήμες, αναλύοντας πώς η εικόνα βοηθά στη σύνδεση του μακροσκοπικού με το υποατομικό και το συμβολικό επίπεδο (Dori & Hameiri, 2003; Herrington & Sweeder, 2025). Η δεύτερη κατηγορία επικεντρώθηκε στα είδη των δημοφιλέστερων οπτικοποιήσεων, ταξινομώντας τις πηγές σε επιμέρους υποενότητες: μελέτες για το κινούμενο σχέδιο (animations) (Sharmin et al., 2024), για τις γραφικές αναπαραστάσεις ποσοτικών δεδομένων (διαγράμματα, στατιστικοί πίνακες) (DeVaney, 2009; He et al., 2012), για τη βιντεοσκόπηση πειραμάτων και τα μοντέλα προσομοίωσης (Cresswell et al., 2019; Drahl, 2010; Stieff et al., 2018), καθώς και για τις

τεχνολογίες πίνακα και κινουμένων γραφικών (Alksne, 2016; Hudson & Luska, 2013). Η τρίτη κατηγορία περιέλαβε την εκπαιδευτική έρευνα γύρω από τα Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης και τη μικρομάθηση (microlearning), εξετάζοντας κριτικά τη διάχυση και την παιδαγωγική καταλληλότητα του περιεχομένου που είναι διαθέσιμο σε πλατφόρμες όπως το YouTube και το TikTok (Černá & Borkovcová, 2020; Dubovi & Tabak, 2020; Kohler & Dietrich, 2021). Τέλος, ο ποιοτικός έλεγχος περιέλαβε την αυστηρή μορφοποίηση όλων των αναφορών σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο APA (7th edition), διασφαλίζοντας ότι η βιβλιογραφία της διπλωματικής εργασίας αποτελεί ένα απόλυτα έγκυρο, διαφανές και επιστημονικά ακριβές ακαδημαϊκό οικοδόμημα.

2.2 Μελέτες Περίπτωσης: Ποσοτικά Δεδομένα

Η διερεύνηση του ρόλου της αφηγηματικής και δυναμικής οπτικοποίησης στα ψηφιακά περιβάλλοντα σύγχρονης και ασύγχρονης εκπαίδευσης απαιτεί μια συγκροτημένη μεθοδολογική θεμελίωση, ικανή να μετατρέψει την ψηφιακή συμπεριφορά σε μετρήσιμα και γενικεύσιμα δεδομένα. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα έρευνα υιοθετεί μια μικτή μεθοδολογική προσέγγιση, εκκινώντας από μια συστηματική ποσοτική φάση που αποσκοπεί στην αντικειμενική χαρτογράφηση της εκπαιδευτικής απήχησης και των σχεδιαστικών στρατηγικών τις οποίες επιστρατεύουν δημοφιλείς ψηφιακές κοινότητες μάθησης (Creswell & Creswell, 2017; Shoufan, 2019). Η ανάκτηση και η στατιστική επεξεργασία αυτών των δεδομένων οργανώθηκε γύρω από δύο κεντρικούς και αλληλένδετους άξονες.

Ο πρώτος άξονας αφορά τη συστηματική καταγραφή των δημόσιων analytics της πλατφόρμας του YouTube, μια διαδικασία απαραίτητη για την μελέτη των δεικτών ενεργητικής εμπλοκής (engagement) του κοινού, καθώς και για την ανάδειξη των δομικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το υπό εξέταση εκπαιδευτικό υλικό, ελέγχοντας τη συμβατότητά τους με τις αρχές της πολυμεσικής μάθησης (Mayer, 2009; Welbourne & Grant, 2016). Ο δεύτερος άξονας εστιάζει στην εφαρμογή ενός διαφοροποιημένου και ευέλικτου δειγματοληπτικού σχεδιασμού. Ο σχεδιασμός αυτός κρίθηκε αναγκαίος προκειμένου να προσαρμοστεί η μεθοδολογία στην παραγωγική πυκνότητα, την ιστορικότητα και το ιδιαίτερο εύρος του εκάστοτε καναλιού, διασφαλίζοντας με αυτόν τον

τρόπο την εσωτερική εγκυρότητα και τη στατιστική ακρίβεια της ερευνητικής διαδικασίας, ενώ παράλληλα αποτρέπει τις άστοχες μεθοδολογικές γενικεύσεις (Agustian & Seery, 2017; Lijo et al., 2024).

Στις ενότητες που ακολουθούν, αναλύονται διεξοδικά οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν προς εξέταση, η θεωρητική τους θεμελίωση στο πεδίο της πολυμεσικής μάθησης, καθώς και οι συγκεκριμένες μεθοδολογικές αποφάσεις που ελήφθησαν για την αποτελεσματική διαχείριση του εκτενούς όγκου δεδομένων που παράγουν οι σύγχρονες ψηφιακές πλατφόρμες.

Καταγραφή Δημοσιευμένων Analytics της Πλατφόρμας

Μετά την οριστικοποίηση του δείγματος των καναλιών, η έρευνα εισήλθε στην πρώτη φάση συγκέντρωσης πραγματικών ποσοτικών δεδομένων μέσω της συστηματικής καταγραφής των analytics της πλατφόρμας του YouTube. Για την αποφυγή αποσπασματικών μετρήσεων, καταγράφηκαν και επεξεργάστηκαν συστηματικά μια πληθώρα από διαφορετικά στατιστικά στοιχεία, ξεκινώντας από την καταγραφή του συνολικού πλήθους των αναρτημένων βίντεο του εκάστοτε καναλιού, το οποίο λειτουργεί ως δείκτης της παραγωγικότητας, της εμπειρίας και της χρονικής συνέχειας του δημιουργού στην πλατφόρμα (Shoufan, 2019). Στη συνέχεια, εξετάστηκε το πλήθος των διαφορετικών θεματολογιών που καλύπτει το κανάλι, μεταβλητή που αποτυπώνει το οριζόντιο εύρος του αναλυτικού προγράμματος και τη διεπιστημονικότητα του περιεχομένου, καθώς και το πλήθος των μορφών οπτικοποίησης, ελέγχοντας αν ο δημιουργός περιορίζεται σε ένα μόνο μέσο ή αν εναλλάσσει στρατηγικές σχεδιασμού (Lijo et al., 2024; Welbourne & Grant, 2016).

Παράλληλα, καταγράφηκαν οι μακρο-ποσοτικοί δείκτες κοινωνικής απήχησης, οι οποίοι περιλαμβάνουν τις συνολικές θεάσεις (views) του καναλιού από την ημέρα δημιουργίας του, προσφέροντας έναν αντικειμενικό δείκτη του συνολικού εκπαιδευτικού αποτυπώματος στην ψηφιακή κοινότητα. Επειδή όμως οι συνολικές θεάσεις επηρεάζονται από την παλαιότητα του καναλιού, υπολογίστηκε ο μέσος όρος θεάσεων ανά μεμονωμένο βίντεο, μεταβλητή που εξομαλύνει τις αποκλίσεις και αποκαλύπτει την πραγματική, συστηματική σταθερότητα της απήχησης του υλικού (Giannakos et al., 2015; Welbourne &

Grant, 2016). Επιπλέον, καταγράφηκε ο μέσος όρος των υποβληθέντων σχολίων και ο μέσος όρος των likes ανά βίντεο, δείκτες που αποτυπώνουν τον βαθμό ενεργητικής εμπλοκής (engagement) και συναισθηματικής ευθυγράμμισης του κοινού, καθώς και ο συνολικός αριθμός των εγγεγραμμένων συνδρομητών, που αντιπροσωπεύει τη σταθερότητα και την πιστότητα της εικονικής κοινότητας πρακτικής (Duboni & Tabak, 2020; Kohler & Dietrich, 2021). Τέλος, μετρήθηκε ο μέσος όρος της χρονικής διάρκειας των βίντεο, μεταβλητή κρίσιμη για τον έλεγχο της αρχής της κατάτμησης του Mayer και της Θεωρίας του Γνωστικού Φορτίου (Brame, 2016; Mayer, 2009).



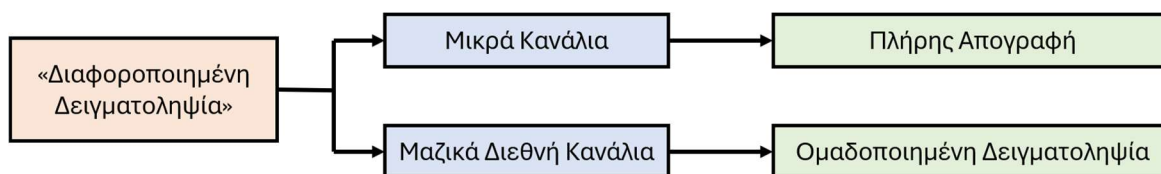
Σχήμα 2.1 Διαγραμματική Απεικόνιση της Καταγραφής Δημοσιευμένων Analytics της Πλατφόρμας YouTube

Στρατηγική Διαφοροποιημένης Δειγματοληψίας και Διαχείρισης του Όγκου Δεδομένων

Για τη διασφάλιση της εσωτερικής εγκυρότητας και της στατιστικής ακρίβειας των ποσοτικών δεδομένων, εφαρμόστηκε μια διαφοροποιημένη στρατηγική δειγματοληψίας, η οποία προσαρμόστηκε απόλυτα στο μέγεθος, την παλαιότητα και την παραγωγική πυκνότητα του κάθε καναλιού, αποφεύγοντας τις μεθοδολογικές γενικεύσεις. Στις περιπτώσεις εκείνων των καναλιών που παρουσίαζαν μικρό ή περιορισμένο πλήθος αναρτημένων βίντεο στο ψηφιακό τους αρχείο, πραγματοποιήθηκε πλήρης απογραφική μέτρηση (census approach). Αυτό σημαίνει ότι καταγράφηκαν, αναλύθηκαν και υπολογίστηκαν τα στατιστικά στοιχεία και οι μέσοι όροι του συνόλου των βίντεο που έχουν δημοσιευθεί, χωρίς καμία εξαίρεση ή αποκλεισμό, εκμηδενίζοντας το δειγματοληπτικό σφάλμα και προσφέροντας μια απόλυτα ακριβή αποτύπωση της ταυτότητας του μέσου (Creswell & Creswell, 2017; Shoufan, 2019).

Αντίθετα, στα διεθνή κανάλια μεγάλης κλίμακας που διέθεταν τεράστιο όγκο δεδομένων, εκτενή ιστορικότητα και εκατοντάδες ή χιλιάδες αναρτημένα βίντεο (όπως το

Crash Course ή το Khan Academy), η καθολική απογραφή κρίθηκε μεθοδολογικά μη λειτουργική και ασύμφορη, καθώς θα οδηγούσε σε αλλοίωση των αποτελεσμάτων λόγω της συμπερίληψης άσχετων ως προς την έρευνά μας ανθρωπιστικών ή κοινωνικών επιστημών. Για τον λόγο αυτό, υιοθετήθηκε η στρατηγική της σκόπιμης και ομαδοποιημένης δειγματοληψίας (purposive cluster sampling). Συγκεκριμένα, απομονώθηκαν και μελετήθηκαν αποκλειστικά εκείνες οι λίστες αναπαραγωγής (playlists) οι οποίες αφορούσαν άμεσα το γνωστικό αντικείμενο των Θετικών Επιστημών, επιλέγοντας στοχευμένα τις ενότητες της φυσικής, της χημείας, της αστροφυσικής και της βιολογίας, εξασφαλίζοντας ότι η συγκριτική βάση παραμένει απόλυτα ομοιογενής και ευθυγραμμισμένη με τον σκοπό της διπλωματικής εργασίας (Agustian & Seery, 2017; Lijo et al., 2024; Stieff et al., 2018).



Σχήμα 2.2 Διαγραμματική Απεικόνιση της Διαφοροποιημένης Δειγματοληψίας Δεδομένων

2.3 Μελέτες Περίπτωσης: Ποιοτικά Δεδομένα

Η ολοκλήρωση της ποσοτικής καταγραφής των δημόσιων δεδομένων προσφέρει την απαραίτητη μακρο-επίπεδη χαρτογράφηση, ωστόσο η πλήρης αποδόμηση του εκπαιδευτικού αντικτύπου απαιτεί τη μεθοδολογική διεύρυνση της έρευνας. Προς την κατεύθυνση αυτή, το ερευνητικό πλαίσιο επεκτείνεται σε μια εξειδικευμένη ποιοτική φάση καθώς και σε μια καινοτόμο διαδικασία συγκέντρωσης πρωτογενών δεδομένων, με απώτερο σκοπό την επίτευξη μιας πολυεπίπεδης τριγωνοποίησης των ευρημάτων (Creswell & Creswell, 2017; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022). Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει όχι μόνο τη στατιστική περιγραφή των ψηφιακών τάσεων, αλλά και την ερμηνευτική εμβάθυνση στις υποκειμενικές εμπειρίες, τις γνωστικές προκλήσεις και την πραγματική, μη εμφανή συμπεριφορά των χρηστών κατά την αλληλεπίδρασή τους με το οπτικοακουστικό υλικό (Dubovi & Tabak, 2020; Giannakos et al., 2015).

Από τη μία πλευρά, η ποιοτική προσέγγιση επικεντρώνεται στον ψηφιακό λόγο των ίδιων των εκπαιδευόμενων μέσα από τα υποβληθέντα σχόλιά τους, τα οποία λειτουργούν ως άμεσος μηχανισμός ανατροφοδότησης, ενώ παράλληλα διασταυρώνεται συστηματικά με τη διεθνή βιβλιογραφία για την πολυμεσική μάθηση (Mayer, 2009; Kohler & Dietrich, 2021). Από την άλλη πλευρά, η έρευνα εισάγει μια σημαντική μεθοδολογική καινοτομία μέσω της απευθείας επικοινωνίας με τους δημιουργούς των καναλιών, επιτυγχάνοντας την πρόσβαση σε ιδιωτικά δεδομένα διαχείρισης (backend metrics). Στις υποενότητες που ακολουθούν, αναλύεται διεξοδικά ο τρόπος με τον οποίο οι δύο αυτές στρατηγικές συμπληρώνουν το ποσοτικό σκέλος, προσφέροντας ένα ολιστικό, θωρακισμένο και ακαδημαϊκά έγκυρο μεθοδολογικό υπόβαθρο (Bates, 2015; Shoufan, 2019).

Ποιοτική Φάση: Feedback Κοινού και Βιβλιογραφική Διασταύρωση

Η ποσοτική καταγραφή των δημόσιων analytics συμπληρώθηκε και τριγωνοποιήθηκε σε επόμενο στάδιο από μια ποιοτική έρευνα, η οποία επικεντρώθηκε στην ανάλυση του ψηφιακού λόγου των χρηστών. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε συστηματικός έλεγχος και ποιοτική ανάλυση των σχολίων (comments) που υποβάλλουν οι μαθητές/τριες κάτω από τα βίντεο του κάθε καναλιού. Η διαδικασία αυτή επέτρεψε την εξαγωγή πολύτιμων ποιοτικών αποτελεσμάτων, καθώς τα σχόλια λειτουργούν ως ένας άμεσος μηχανισμός ανατροφοδότησης (feedback loop) του κοινού προς τους δημιουργούς, αποτυπώνοντας τις υποκειμενικές δυσκολίες κατανόησης, τα σημεία γνωστικής υπερφόρτωσης, αλλά και τον βαθμό συναισθηματικής εμπλοκής (emotional design) των εκπαιδευόμενων (Dubovi & Tabak, 2020; Kohler & Dietrich, 2021). Η ανάλυση των σχολίων προσέφερε στην έρευνα το αναγκαίο ποιοτικό βάθος, επιτρέποντας να ερμηνευθούν οι αιτίες πίσω από τις μεγάλες στατιστικές διακυμάνσεις των views και των likes.

Παράλληλα με τη συλλογή των πρωτογενών δεδομένων, πραγματοποιήθηκε μια εκτενής, συστηματική μελέτη και έρευνα πάνω στη συγκεντρωμένη επιστημονική βιβλιογραφία. Η διαδικασία αυτή δεν είχε χαρακτήρα μιας απλής θεωρητικής παράθεσης, αλλά χρησιμοποιήθηκε ως ένα δυναμικό εργαλείο μεθοδολογικής διασταύρωσης. Η βιβλιογραφία μελετήθηκε σε βάθος προκειμένου να προσφέρει τη θεωρητική κατοχύρωση

των παρατηρήσεων, αλλά και για να εντοπιστούν επιστημονικές δημοσιεύσεις και εμπειρικές μελέτες που να αποδεικνύουν, να συμπληρώνουν ή ακόμη και να διορθώνουν τα ευρήματα της παρούσας έρευνας (Creswell & Creswell, 2017). Η συνεχής αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων με τη διεθνή βιβλιογραφική κοινότητα διασφάλισε την εξωτερική εγκυρότητα της εργασίας, επιτρέποντας στα συμπεράσματα να ενταχθούν οργανικά στο υφιστάμενο επιστημονικό σώμα γνώσης για την πολυμεσική μάθηση και την εξ αποστάσεως εκπαίδευση (Herrington & Sweeder, 2025; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

Πρωτογενής Επικοινωνία και Άντληση Εξειδικευμένων Ιδιωτικών Δεδομένων (Backend Metrics)

Σημαντική μεθοδολογική καινοτομία που ενίσχυσε καθοριστικά την αξιοπιστία της παρούσας έρευνας υπήρξε η άντληση πρωτογενών, μη δημοσίως προσβάσιμων δεδομένων μέσω της απευθείας επικοινωνίας με τους ίδιους τους δημιουργούς του εκπαιδευτικού υλικού. Αναγνωρίζοντας ότι τα δημόσια analytics του YouTube προσφέρουν μια εξωτερική μόνο εικόνα της απήχησης, απεστάλησαν στοχευμένα ηλεκτρονικά μηνύματα (emails) στις επίσημες διευθύνσεις επικοινωνίας των καναλιών. Μέσα από αυτή την πρωτογενή θεσμική προσέγγιση, αιτήθηκε η παραχώρηση εξειδικευμένων στατιστικών δεδομένων από το διαχειριστικό υπόβαθρο (backend / YouTube Studio) των καναλιών, τα οποία είναι κλειστά για το ευρύ κοινό και είναι προσβάσιμα μόνο στους κατόχους των λογαριασμών (Giannakos et al., 2015; Shoufan, 2019).

Η προσπάθεια αυτή στέφθηκε με απόλυτη επιτυχία, καθώς σχεδόν όλα εγχώρια κανάλια ανταποκρίθηκαν θετικά και απέστειλαν τα ζητούμενα στοιχεία, τα οποία καταγράφονται αναλυτικά στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, αντλήθηκαν και αναλύθηκαν τρεις εξαιρετικά κρίσιμες μεταβλητές: ο ακριβής μέσος όρος παρακολούθησης (watchtime / audience retention), ο οποίος αποτυπώνει το πραγματικό χρονικό διάστημα που ο μαθητής παραμένει συγκεντρωμένος στο βίντεο πριν από την εγκατάλειψη, καθώς και η δημογραφική κατανομή του φύλου και της ηλικίας των θεατών. Η ενσωμάτωση αυτών των backend metrics προσέφερε στην έρευνα μια μοναδική δυνατότητα τριγωνοποίησης, καθώς επέτρεψε να επαληθευτούν οι προβλέψεις της θεωρίας του Mayer για την κατάκτηση και τη συνάφεια με βάση την πραγματική, μετρήσιμη

συμπεριφορά απόσπασης της προσοχής των χρηστών, καθιστώντας το τελικό μεθοδολογικό οικοδόμημα απόλυτα αλεξίσφαιρο και ακαδημαϊκά έγκυρο (Bates, 2015; Mayer, 2009; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

3. Ευρήματα της Έρευνας

3.1 Ποσοτική Ανάλυση Μελετών Περίπτωσης

Η παρούσα ενότητα είναι αφιερωμένη στην λεπτομερή παρουσίαση και την κριτική ανάλυση των ποσοτικών δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά την ερευνητική διαδικασία από τον Ιανουάριο έως και τον Μάρτιο του έτους 2026. Στόχος της ποσοτικής αυτής χαρτογράφησης είναι η αποτύπωση του ψηφιακού αποτυπώματος και των δεικτών εμπλοκής (engagement metrics) του κοινού μέσα από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα οκτώ διεθνών και εγχώριων καναλιών της πλατφόρμας του YouTube, τα οποία είναι αφιερωμένα ολοκληρωτικά ή σε μεγάλο βαθμό στη διδασκαλία και την εκλαΐκευση των Θετικών Επιστημών. Η μεθοδολογική αναγκαιότητα αυτής της προσέγγισης εδράζεται στην ανάγκη κατανόησης του τρόπου με τον οποίο οι διαφορετικές στρατηγικές και μορφές δυναμικής οπτικοποίησης επηρεάζουν τη συμπεριφορά κατανάλωσης, τη διατήρηση της προσοχής και την ενεργό συμμετοχή των εκπαιδευόμενων σε περιβάλλοντα ασύγχρονης εξ αποστάσεως εκπαίδευσης. Μέσα από τη συλλογή δεδομένων (analytics), όπως οι συνολικές προβολές, ο μέσος όρος θεάσεων ανά βίντεο, ο μέσος όρος likes, ο όγκος των σχολίων, η χρονική διάρκεια των βίντεο, το ποσοστό παρακολούθησης (watchtime) και η δημογραφική σύνθεση του κοινού, καθίσταται εφικτή η εξαγωγή ασφαλών παιδαγωγικών συμπερασμάτων. Τα ευρήματα αυτά δεν εξετάζονται αποκομμένα, αλλά συνδέονται οργανικά με τις θεμελιώδεις αρχές της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης (Mayer, 2014) και τις παραμέτρους του μοντέλου SECTIONS (Bates, 2019), προσφέροντας μια στέρεη γέφυρα μεταξύ της ποσοτικής καταγραφής και της ποιοτικής ερμηνείας που ακολουθεί.

Η παρουσίαση των ευρημάτων εκκινεί με την επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων (analytics), τα οποία προσεγγίζονται ως μετρήσιμοι δείκτες της γνωστικής και συναισθηματικής εμπλοκής των χρηστών με το περιεχόμενο (Carmichael et al., 2018; Welbourne & Grant, 2016), αξιοποιώντας την ευελιξία του ασύγχρονου περιβάλλοντος του YouTube για την εξατομίκευση του ρυθμού μελέτης (Bates, 1995). Το υπό εξέταση δείγμα συγκροτήθηκε στη βάση της σχεδιαστικής και οπτικής πολυμορφίας, περιλαμβάνοντας κανάλια τυπικής εκπαίδευσης και screen casting (Σχολική Χημεία, KhanAcademyGreek), κανάλια άτυπης εκλαΐκευσης βασισμένα σε vector animations (Kurzgesagt – In A Nutshell, CrashCourse, Καθημερινή Φυσική, Astronio), καθώς και περιβάλλοντα ζωντανής

βιντεοσκόπησης εργαστηριακών πειραμάτων (Periodic Videos). Η πολυμορφία αυτή επιτρέπει μια συστηματική συγκριτική καταγραφή των ποσοτικών και ποιοτικών ευρημάτων, προσφέροντας το απαραίτητο υλικό για την αξιολόγηση του σύγχρονου εκπαιδευτικού σχεδιασμού στις Θετικές Επιστήμες (Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

Μακρο-επίπεδο Ανάλυσης: Ψηφιακός Όγκος και Θεματική Διαφοροποίηση

Εξετάζοντας τα δεδομένα του συνολικού όγκου παραγωγής, παρατηρείται ένα τεράστιο χάσμα μεταξύ των καναλιών που λειτουργούν ως παγκόσμια ή εγχώρια αποθετήρια γνώσης και εκείνων που ακολουθούν μια στρατηγική επιλεκτικής, υψηλής ποιότητας παραγωγής. Στην κορυφή του συνολικού πλήθους βίντεο βρίσκεται το διεθνές κανάλι του Khan Academy με το εντυπωσιακό νούμερο των 9.074 βίντεο, ακολουθούμενο από το Crash Course με 1.681 βίντεο και το KhanAcademyGreek με 1.626 βίντεο. Στον αντίποδα, το εγχώριο κανάλι Σχολική Χημεία διαθέτει μόλις 50 βίντεο, η Καθημερινή Φυσική 81 βίντεο, το Astronio 151 βίντεο, ενώ τα διεθνή Kurzgesagt - In a Nutshell και Periodic Videos αριθμούν 349 και 744 βίντεο αντίστοιχα. Αυτό το αριθμητικό χάσμα αποτυπώνει δύο ριζικά διαφορετικές οργανωτικές και διδακτικές προσεγγίσεις στο πλαίσιο του μοντέλου SECTIONS (Bates, 2019), και συγκεκριμένα στο κριτήριο των Οργανωτικών Ζητημάτων (Organizational Issues) και του Κόστους (Costs), όπου η επιλογή του ασύγχρονου μοντέλου προσφέρει τη μέγιστη ευελιξία στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση (Bates, 1995). Τα κανάλια-αποθετήρια, όπως το Khan Academy, αξιοποιούν τη μέθοδο του screencasting για τη μαζική παραγωγή περιεχομένου με χαμηλό κόστος, καθώς δεν απαιτείται χρονοβόρο μοντάζ ή σύνθετο σενάριο. Η στρατηγική αυτή επιτρέπει την ευρεία κάλυψη της διδακτέας ύλης ποικίλων γνωστικών αντικειμένων, διαμορφώνοντας μια ολοκληρωμένη ψηφιακή βιβλιοθήκη.

Πίνακας 3.1 – Βασικά Analytics των υπό σύγκριση καναλιών

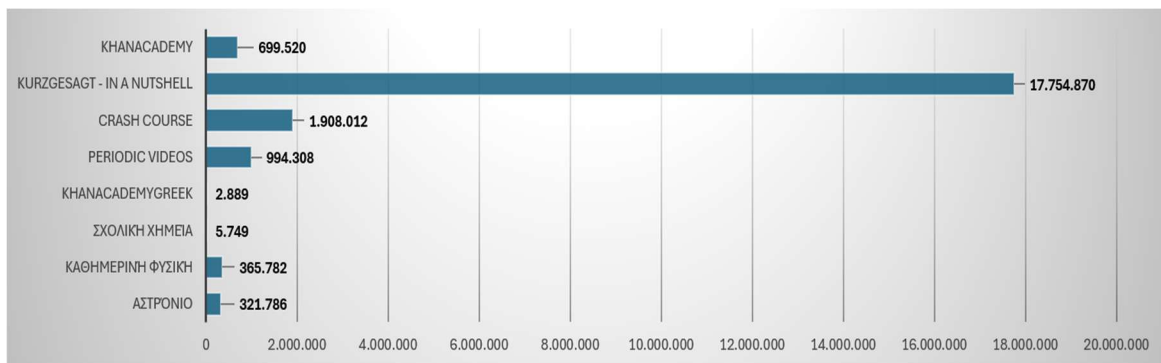
Κανάλια	Πλήθος Βίντεο	Πλήθος Θεματολογιών	Πλήθος Μορφών Οπτικοποίησης
<i>Astronio</i>	151	7	4
<i>Καθημερινή Φυσική</i>	81	6	6
<i>Σχολική Χημεία</i>	50	1	4
<i>KhanAcademyGreek</i>	1.626	4	3
<i>Periodic Videos</i>	744	5	8
<i>Crash Course</i>	1.681	59	7
<i>Kurzgesagt - In a Nutshell</i>	349	14	2
<i>Khan Academy</i>	9.074	17	3

Στον αντίποδα, το μοντέλο της επιλεκτικής παραγωγής (Καθημερινή Φυσική, Astronio, Kurzgesagt - In a Nutshell) χαρακτηρίζεται από περιορισμένο αριθμό βίντεο με υψηλή επένδυση χρόνου και πόρων ανά ψηφιακό πόρο. Οι απαιτήσεις για συγγραφή λεπτομερούς σεναρίου, σχεδιασμό πρωτότυπων vector animations και ακριβή συγχρονισμό της αφήγησης καθιστούν την αυτόνομη ανάπτυξη τέτοιου υλικού από μεμονωμένους εκπαιδευτικούς δυσχερή χωρίς την υποστήριξη εξειδικευμένης ομάδας. Η στρατηγική αυτή προσφέρει πολύτιμα στοιχεία για τη διαφοροποίηση της διδακτικής τους λειτουργίας (Teaching Functions). Το Crash Course ηγείται με διαφορά, παρουσιάζοντας 59 διαφορετικές θεματολογίες, γεγονός που εξηγείται από τον πολυθεματικό του χαρακτήρα, ο οποίος εκτείνεται από τις Θετικές Επιστήμες μέχρι τις Ανθρωπιστικές Επιστήμες και τις Τέχνες. Το Khan Academy ακολουθεί με 17 θεματολογίες και το Kurzgesagt - In a Nutshell με 14, ενώ το Astronio παρουσιάζει 7 διαφορετικές θεματικές ενότητες (κυρίως Αστρονομία, Μυστήρια του Διαστήματος, Διαστημικά Νέα, Αστροβιολογία και Συνεντεύξεις) και η Καθημερινή Φυσική 6 θεματολογίες (Φυσική, Χημεία, Βιολογία, Φιλοσοφία κ.λπ.). Στον αντίποδα, η Σχολική Χημεία περιορίζεται αυστηρά σε μία και μοναδική θεματολογία, η οποία αφορά αποκλειστικά το μάθημα της Γενικής Χημείας, επικεντρωμένη κατά κύριο λόγο στις ανάγκες των μαθητών του Γενικού Λυκείου.

Η ποσοτική καταγραφή των θεματολογιών αναδεικνύει τον βαθμό εξειδίκευσης κάθε μέσου. Κανάλια με ευρύ θεματικό φάσμα, όπως το Kurzgesagt - In a Nutshell και το CrashCourse, στοχεύουν στην προσέλκυση ενός μαζικού κοινού (Fiallos, 2021). Αντίθετα, η μονοθεματική προσέγγιση της Σχολικής Χημείας και η στοχευμένη ανάπτυξη του Khan Academy Greek (4 θεματολογίες) εξυπηρετούν μια κάθετη, εις βάθος παιδαγωγική λειτουργία προσαρμοσμένη σε συγκεκριμένα αναλυτικά προγράμματα. Η επιλογή αυτή επηρεάζει άμεσα το πλήθος των μορφών οπτικοποίησης. Το Periodic Videos παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ποικιλία με 8 μορφές (πειράματα, θερμικές κάμερες, στατικά μοντέλα), ακολουθούμενο από το Crash Course με 7 και την Καθημερινή Φυσική με 6 μορφές (σκίτσο, γραφήματα, κινούμενο σχέδιο). Οι στρατηγικές αυτές υλοποιούν την ανάγκη για πολλαπλές αναπαραστάσεις (Mayer, 2014), ενισχύοντας τη γνωστική ευελιξία, ενώ η ενσωμάτωση διαγραμμάτων υποστηρίζει την κριτική σκέψη των εκπαιδευόμενων (Carmichael et al., 2018).

Ανάλυση Δημοφιλίας και Διεισδυτικότητας στο Ψηφιακό Οικοσύστημα

Η ανάλυση των συνολικών θεάσεων (views) και των αντίστοιχων μέσων όρων ανά βίντεο αποκαλύπτει το πραγματικό μέγεθος της διεισδυτικότητας του κάθε καναλιού και επιτρέπει τη διεξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων για τη σχέση μεταξύ του σχεδιασμού του υλικού και της απήχισής του. Στο διεθνές επίπεδο, το Kurzgesagt - In a Nutshell κυριαρχεί με την ολοκληρωτική συγκέντρωση 3.636.200.380 συνολικών θεάσεων, έχοντας παράλληλα τον συγκλονιστικό μέσο όρο των 17.754.870 θεάσεων ανά μεμονωμένο βίντεο. Το Crash Course ακολουθεί με 2.231.389.287 συνολικές θεάσεις και μέσο όρο 1.908.012 θεάσεις, ενώ το Khan Academy συγκεντρώνει 2.209.783.252 συνολικές θεάσεις με μέσο όρο 699.520 θεάσεις ανά βίντεο. Το Periodic Videos, βασιζόμενο στην αυθεντική εργαστηριακή καταγραφή, σημειώνει 295.815.957 συνολικές θεάσεις με μέσο όρο 559.025 θεάσεις. Στο εγχώριο ψηφιακό οικοσύστημα, το Astronío ηγείται σε συνολικές θεάσεις με 50.120.007, παρουσιάζοντας μέσο όρο 321.786 θεάσεων ανά βίντεο. Η Καθημερινή Φυσική, ωστόσο, παρά τον μικρότερο όγκο συνολικών θεάσεων (26.565.486), καταγράφει υψηλότερο μέσο όρο θεάσεων ανά βίντεο, ο οποίος ανέρχεται σε 365.782. Στην ουρά της κατάταξης βρίσκονται η Σχολική Χημεία με 287.340 συνολικές θεάσεις (Μ.Ο. 5.749) και το KhanAcademyGreek με 1.854.394 συνολικές θεάσεις και τον εξαιρετικά χαμηλό μέσο όρο των 2.889 θεάσεων ανά βίντεο.



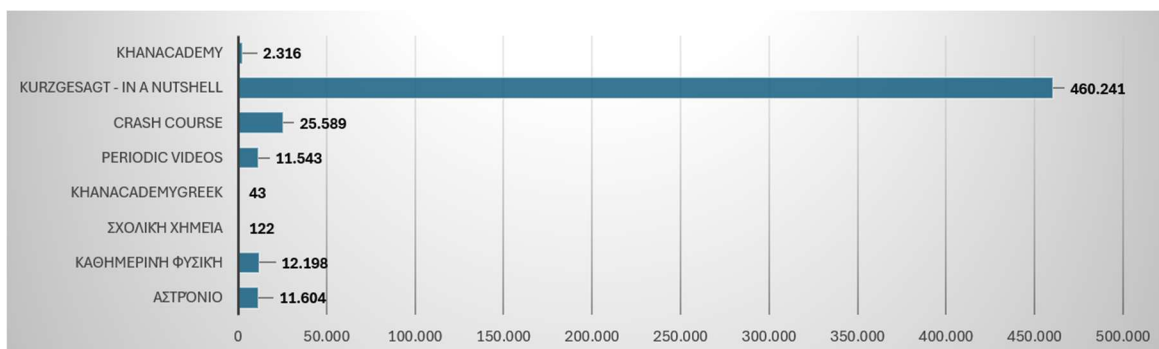
Σχήμα 3.1 Συγκριτικός Μέσος Όρος Θεάσεων ανά Βίντεο Εγχώριων και Διεθνών Καναλιών

Αυτό το τεράστιο ποσοτικό χάσμα μεταξύ των καναλιών δεν είναι τυχαίο, αλλά ερμηνεύεται βαθιά από τη Γνωστική Θεωρία της Πολυμεσικής Μάθησης (Mayer, 2014). Το Kurzgesagt - In a Nutshell, παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιεί μόλις 2 μορφές οπτικοποίησης (δισδιάστατο vector animation και στατικά γραφήματα), επιτυγχάνει τη μέγιστη δυνατή συμμόρφωση με την Αρχή της Συνάφειας (Coherence Principle) και την Αρχή της Σήμανσης (Signaling Principle). Η επιλογή ενός καθαρού, άκρως στυλιζαρισμένου μινιμαλιστικού σχεδιασμού (flat design) αφαιρεί κάθε περιττό οπτικό θόρυβο και ρεαλιστική λεπτομέρεια του φυσικού κόσμου, κατευθύνοντας το οπτικό πεδίο και την προσοχή του μαθητή αποκλειστικά στα κρίσιμα στοιχεία του φαινομένου. Αυτή η δραστική μείωση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου (extraneous cognitive load), σε συνδυασμό με μια επική, ανθρωποκεντρική αφήγηση, καθιστά το περιεχόμενο εξαιρετικά προσβάσιμο και ελκυστικό για ένα παγκόσμιο κοινό, εκτοξεύοντας τον μέσο όρο των θεάσεων, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι η χρήση βίντεο με μοναδικά και καλά οργανωμένα σύνολα δεδομένων ενισχύει την ανεξαρτησία των εκπαιδευόμενων (Harmer & Hill, 2021; Welbourne & Grant, 2016). Αντίθετα, ο χαμηλός μέσος όρος θεάσεων των καναλιών Khan Academy Greek και Σχολική Χημεία αναδεικνύει τους περιορισμούς του ψηφιακού μαυροπίνακα (screen casting) στην προσέλκυση ευρύτερου κοινού. Η αποκλειστική στήριξη στη χειρόγραφη ανάπτυξη τύπων και εξισώσεων παρουσιάζει ελλείμματα οπτικής ελκυστικότητας και αφηρημένης πλαισίωσης (storytelling) για την ενίσχυση της εγγενούς παρακίνησης των μαθητών. Ως εκ τούτου, η απήχηση των μέσων αυτών περιορίζεται κυρίως σε χρήστες που επιζητούν στοχευμένη υποστήριξη υπό συνθήκες άμεσων εξεταστικών απαιτήσεων.

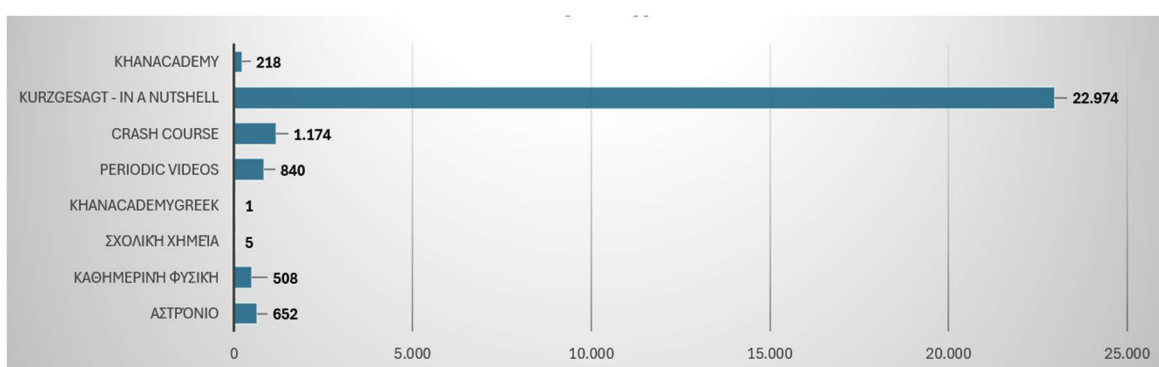
Η ενδιαφέρουσα σύγκριση μεταξύ των δύο κορυφαίων ελληνικών καναλιών, του Astronio και της Καθημερινής Φυσικής, προσφέρει μια ακόμα πιο λεπτή παιδαγωγική διάσταση. Το Astronio διαθέτει σχεδόν διπλάσιο συνολικό όγκο βίντεο και μεγαλύτερο αριθμό συνδρομητών (353.000 έναντι 298.000 της Καθημερινής Φυσικής), γεγονός που του εξασφαλίζει υψηλότερες συνολικές θεάσεις. Ωστόσο, η Καθημερινή Φυσική υπερέχει στον μέσο όρο θεάσεων ανά βίντεο κατά περίπου 44.000 προβολές. Αυτό το εύρημα υποδεικνύει ότι η στρατηγική της Καθημερινής Φυσικής να επενδύει σε μικρότερα, πλήρως οπτικοποιημένα βίντεο με τη χρήση σκίτσων και κινουμένων σχεδίων μικρού μήκους (6 μορφές οπτικοποίησης), διασφαλίζει μια πιο σταθερή και υψηλή ροή παρακολούθησης ανά βίντεο. Η πυκνότητα της οπτικής πληροφορίας και η συχνή εναλλαγή των αναπαραστάσεων στην Καθημερινή Φυσική φαίνεται να ανταποκρίνονται με μεγαλύτερη ακρίβεια στις προτιμήσεις της ψηφιακής γενιάς των εκπαιδευόμενων, οι οποίοι επιζητούν τη γρήγορη και οπτικά πλούσια κωδικοποίηση των επιστημονικών εννοιών, αποφεύγοντας τις μεγάλες σε διάρκεια αναλύσεις που θυμίζουν παραδοσιακές διαλέξεις.

Δείκτες Εμπλοκής και Διάδρασης του Κοινού (Likes & Comments)

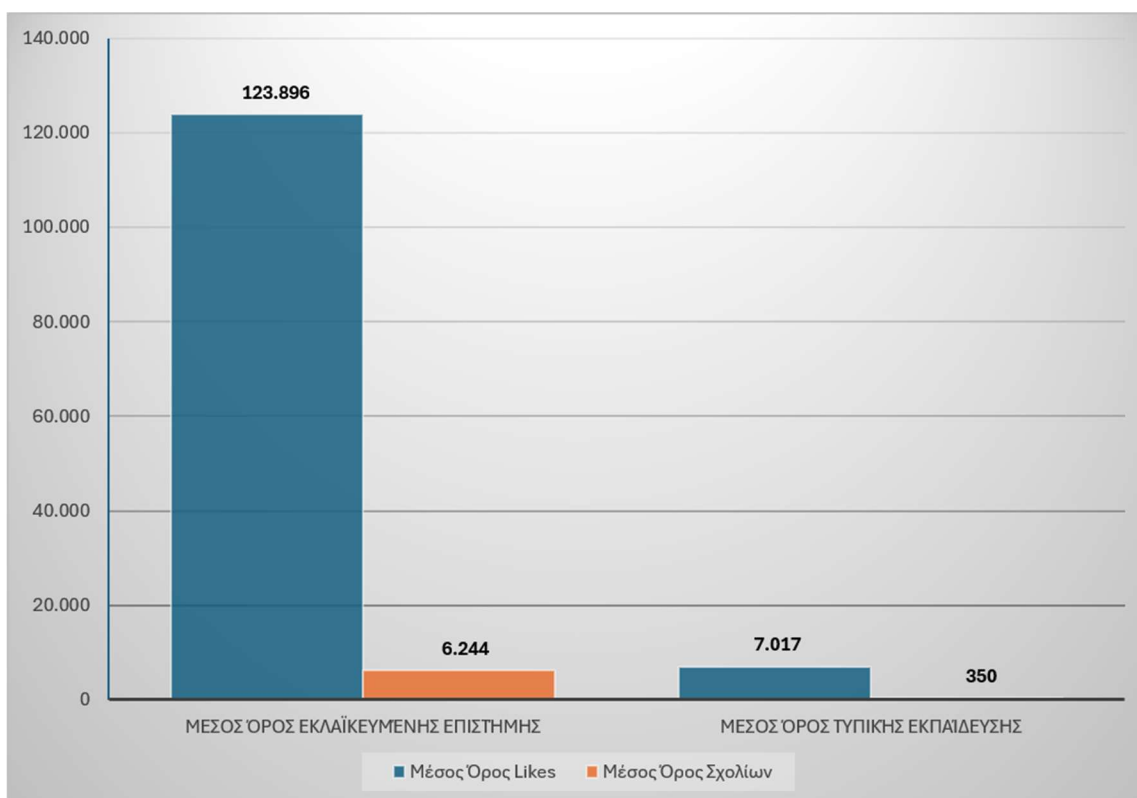
Οι μέσοι όροι των likes και των σχολίων αποτελούν τους κατεξοχήν δείκτες της συναισθηματικής εμπλοκής (affective engagement) και της διάθεσης για αλληλεπίδραση στο πλαίσιο της άτυπης ψηφιακής μάθησης (Smith, 2013). Στη διεθνή κλίμακα, το Kurzgesagt - In a Nutshell καταγράφει έναν συγκλονιστικό μέσο όρο 460.241 likes και 22.974 σχολίων ανά βίντεο, επιβεβαιώνοντας ότι η οπτική τελειότητα και τα υπαρξιακά/επιστημονικά ερωτήματα που θέτει προκαλούν μια έντονη ανάγκη στους θεατές να τοποθετηθούν, να εκφράσουν τον θαυμασμό τους ή να συμμετάσχουν σε συζητήσεις. Το Crash Course ακολουθεί με 25.589 likes και 1.174 σχόλια, ενώ το Periodic Videos σημειώνει 7.616 likes και 518 σχόλια. Στην ελληνική πραγματικότητα, η μάχη της αλληλεπίδρασης μεταξύ Καθημερινής Φυσικής και Astronio είναι εξαιρετικά αμφίρροπη. Η Καθημερινή Φυσική προηγείται ελαφρώς στα likes με μέσο όρο 12.198 έναντι 11.604 του Astronio. Ωστόσο, το Astronio υπερέχει σημαντικά στον μέσο όρο των σχολίων, συγκεντρώνοντας 652 σχόλια ανά βίντεο έναντι 508 της Καθημερινής Φυσικής. Στον αντίποδα, η Σχολική Χημεία καταγράφει μόλις 122 likes και 5 σχόλια κατά μέσο όρο, ενώ το KhanAcademyGreek παρουσιάζει τη χαμηλότερη δυνατή διάδραση με 43 likes και το αποκαρδιωτικό 1 σχόλιο ανά βίντεο.



Σχήμα 3.2 Συγκριτικός Μέσος Όρος Likes ανά Βίντεο Εγχώριων και Διεθνών Καναλιών



Σχήμα 3.3 Συγκριτικός Μέσος Όρος Σχολίων ανά Βίντεο Εγχώριων και Διεθνών Καναλιών



Σχήμα 3.4 Συσχέτιση Μέσου Όρου Likes και Σχολίων ανά Κατηγορία Καναλιού

Η τεράστια απόκλιση στους δείκτες εμπλοκής και διάδρασης αποκαλύπτει βαθιές παιδαγωγικές διαφορές που σχετίζονται άμεσα με το κριτήριο της Αλληλεπίδρασης (Interaction) και της Δικτύωσης (Networking) του μοντέλου SECTIONS (Bates, 2019). Τα κανάλια εκλαϊκευμένης επιστήμης (Astronio, Καθημερινή Φυσική, Kurzgesagt - In a Nutshell) δεν μεταδίδουν απλώς στεγνές πληροφορίες, αλλά χτίζουν μια εικονική Κοινότητα Μάθησης (Virtual Community of Practice). Το σενάριό τους είναι δομημένο με τέτοιο τρόπο ώστε να προκαλεί γνωστική σύγκρουση, να θέτει φιλοσοφικά ερωτήματα και να συνδέει τις Θετικές Επιστήμες με την καθημερινή ζωή και την ανθρώπινη ύπαρξη, ανατρέποντας πλήρως το παραδοσιακό ιεραρχικό μοντέλο διδασκαλίας (Fiallos, 2021). Η προσέγγιση αυτή ενεργοποιεί την παραγωγική γνωστική επεξεργασία κατά Mayer (2014), ενθαρρύνοντας την αλληλεπίδραση στην ενότητα των σχολίων. Ο υψηλός μέσος όρος σχολίων του Astronio συνδέεται με τη στοχευμένη θεματολογία και την ενεργή ψηφιακή παρουσία του δημιουργού, η οποία ενισχύει την Κοινωνική Παρουσία στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση. Αντίθετα, η περιορισμένη διάδραση στο Khan Academy Greek (1 σχόλιο) και στη Σχολική Χημεία (5 σχόλια) υποδεικνύει ότι οι χρήστες προσεγγίζουν τα μέσα αυτά κυρίως ως ψηφιακά αρχεία διαδικαστικής γνώσης για την επίλυση συγκεκριμένων ασκήσεων. Η απουσία ανθρώπινης εικόνας και η αποκλειστική χρήση γραφίδας (screen casting) περιορίζουν την αίσθηση της κοινωνικής εγγύτητας, αναδεικνύοντας ότι η μεταφορά της τυπικής εκπαίδευσης στο ψηφιακό περιβάλλον χωρίς παιδαγωγικό ανασχεδιασμό εμφανίζει δομικά ελλείμματα στην οικοδόμηση κοινότητας και στην αλληλεπίδραση μεταξύ των εκπαιδευόμενων (Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

Η Χρονική Διάρκεια των Βίντεο και η Δυναμική του Watchtime

Ένα από τα πιο κρίσιμα και παιδαγωγικά αξιοποιήσιμα ευρήματα της ποσοτικής ανάλυσης προκύπτει από τη συσχέτιση της μέσης διάρκειας των βίντεο με το μέσο ποσοστό προβολής (watchtime retention rate). Τα δεδομένα (analytics) για το watchtime ήταν διαθέσιμα για τα δύο κορυφαία ελληνικά κανάλια, προσφέροντας ένα ιδανικό πεδίο συγκριτικής μελέτης. Το Astronio παρουσιάζει έναν πολύ μεγάλο μέσο όρο διάρκειας βίντεο, ο οποίος ανέρχεται στα 42 λεπτά, καταγράφοντας μέσο ποσοστό προβολής 45,8%. Στον αντίποδα, η Καθημερινή Φυσική επιλέγει μια στρατηγική πολύ πιο σύντομων βίντεο,

με μέσο όρο διάρκειας τα 12 λεπτά, επιτυγχάνοντας το εντυπωσιακό μέσο ποσοστό προβολής 57,3%. Για τα υπόλοιπα κανάλια του δείγματος (Σχολική Χημεία με 18 λεπτά, KhanAcademyGreek με 6 λεπτά, Periodic Videos με 13 λεπτά, Crash Course με 10 λεπτά, Kurzgesagt - In a Nutshell με 13 λεπτά και Khan Academy με 15 λεπτά), τα συγκεκριμένα δεδομένα δεν κατέστη εφικτό να ανακτηθούν, γεγονός που αποτελεί μεθοδολογικό περιορισμό, όμως η σύγκριση των δύο ελληνικών καναλιών επαρκεί για την εξαγωγή θεμελιωδών συμπερασμάτων.

Πίνακας 3.2 – Μέσο Ποσοστό Προβολής και Μέσος Όρος Διάρκειας ανά Βίντεο

	Astronio	Καθημερινή Φυσική
<i>Μέσο Ποσοστό Προβολής (Watchtime)</i>	45,8 %	57,3 %
<i>Μέσος Όρος Διάρκειας Βίντεο</i>	42 λεπτά	12 λεπτά

Η υπεροχή της Καθημερινής Φυσικής στο watchtime (57,3% έναντι 45,8%) αποτελεί την απόλυτη μαθηματική και εμπειρική επιβεβαίωση της Αρχής της Κατάτμησης (Segmenting Principle) του Richard Mayer (2014). Σύμφωνα με την αρχή αυτή, οι άνθρωποι μαθαίνουν αποτελεσματικότερα όταν η πληροφορία παρουσιάζεται σε μικρά, αυτόνομα και ρυθμιζόμενα από τον ίδιο τον μαθητή τμήματα (user-paced segments), παρά σε μια συνεχή, μακροσκελή ροή, γεγονός που μειώνει δραστικά το συνολικό γνωστικό φορτίο (Sweller, 1988; Mayer, 2014). Ένα βίντεο διάρκειας 12 λεπτών επιτρέπει στο μνημονικό σύστημα (working memory) του εκπαιδευόμενου να παραμείνει εστιασμένο, χωρίς να υποστεί γνωστική κόπωση από την υπερφόρτωση πληροφοριών (Sweller, 2010). Αντίθετα, η παρακολούθηση ενός βίντεο 42 λεπτών (στρατηγική Astronio), το οποίο προσεγγίζει τη διάρκεια μιας παραδοσιακής σχολικής ή πανεπιστημιακής διάλεξης, προκαλεί αναπόφευκτα τη σταδιακή διάσπαση της προσοχής. Η πληροφορία καθίσταται παροδική (Transient Information Effect), καθώς οι νέες έννοιες που εισάγονται συνεχώς επικαλύπτουν και διαγράφουν τις προηγούμενες πριν προλάβει να ολοκληρωθεί η νοητική τους επεξεργασία και η ενσωμάτωσή τους στη μακροπρόθεσμη μνήμη. Αυτό εξηγεί γιατί το watchtime του Astronio πέφτει κάτω από το φράγμα του 50%, καθώς ένα σημαντικό μέρος των χρηστών είτε εγκαταλείπει το βίντεο στη μέση είτε κάνει αποσπασματική πλοήγηση (skipping).

Ωστόσο, το γεγονός ότι το Astronio καταφέρνει να διατηρήσει ένα watchtime της τάξης του 45,8% σε βίντεο διάρκειας 42 λεπτών αποτελεί ένα αξιοσημείωτο επίτευγμα για τα δεδομένα του YouTube, το οποίο πρέπει να αναλυθεί (Welbourne & Grant, 2016). Η διατήρηση αυτού του ποσοστού οφείλεται στην εξαιρετική χρήση της αφηγηματικής δομής (storytelling) και στην Αρχή της Προσωποποίησης (Personalization Principle). Ο δημιουργός χρησιμοποιεί ένα ανεπίσημο, άκρως επικοινωνιακό στυλ ομιλίας, απευθυνόμενος στον θεατή σε πρώτο πληθυντικό ή δεύτερο ενικό πρόσωπο, μετατρέποντας τη διάλεξη σε ένα συναρπαστικό ταξίδι. Αυτό ενισχύει το μαθησιακό κίνητρο και τη συναισθηματική εμπλοκή, επιτρέποντας στο κοινό να παρακολουθήσει μεγάλο μέρος του βίντεο παρά τη γνωστική κόπωση, αναδεικνύοντας τη συναισθηματική και παρακινητική αξία του οπτικοακουστικού υλικού για τη σύγχρονη γενιά μαθητών (Smith, 2013). Από την άποψη του εκπαιδευτικού σχεδιασμού, τα δεδομένα αυτά υποδεικνύουν ότι για την ασύγχρονη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών, η βέλτιστη διάρκεια κυμαίνεται μεταξύ 6 και 15 λεπτών (όπως επιλέγουν το Khan Academy, το Crash Course, το Kurzgesagt - In a Nutshell και η Καθημερινή Φυσική). Εάν ένα επιστημονικό ζήτημα απαιτεί εκτενέστερη ανάλυση, είναι προτιμότερο να σπάει σε μια σειρά μικρότερων επεισοδίων (playlist/microlearning segments), διασφαλίζοντας έτσι τη μέγιστη δυνατή διατήρηση της προσοχής και τη μείωση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου.

Δημογραφική Χαρτογράφηση και το Παράδοξο των Ηλικιακών Ομάδων

Η δημογραφική ανάλυση του κοινού προσφέρει μερικά από τα πιο ανατρεπτικά και ενδιαφέροντα ευρήματα της έρευνας, καταρρίπτοντας ορισμένες στερεοτυπικές αντιλήψεις για το ποιος καταναλώνει εκπαιδευτικό περιεχόμενο Θετικών Επιστημών στο διαδίκτυο. Τα δεδομένα φύλου και ηλικίας ήταν προσβάσιμα για το Astronio, την Καθημερινή Φυσική και το KhanAcademyGreek. Όσον αφορά τη σύνθεση του φύλου, παρατηρείται μια έντονη ανισορροπία στα κανάλια εκλαϊκευμένης επιστήμης. Στο Astronio, το κοινό αποτελείται κατά 82,2% από άνδρες και μόλις 17,8% από γυναίκες, ενώ στην Καθημερινή Φυσική το ποσοστό των ανδρών ανέρχεται σε 79,1% έναντι 20,9% των γυναικών. Αυτή η συντριπτική ανδρική κυριαρχία έρχεται σε πλήρη αντίθεση με την εικόνα του KhanAcademyGreek, όπου παρατηρείται μια σχεδόν απόλυτη ισορροπία, με τους άνδρες να αποτελούν το 51,8% και τις γυναίκες το 48,2% του συνολικού κοινού.

Πίνακας 3.3 Ποσοστό % Φύλου και Ηλικίας Θεατών ανά Κανάλι

Ποσοστό %	Φύλο Θεατών		Ηλικία Θεατών (σε έτη)						
	Άνδρες	Γυναίκες	13 - 17	18 - 24	25 - 34	35 - 44	45 - 54	55 - 64	65+
<i>Astronio</i>	82,2	17,8	3	4,4	26,3	27	19,2	12	8,2
<i>Καθημερινή Φυσική</i>	79,1	20,9	2,7	26,7	29,4	19,6	13,2	5,1	3,3
<i>Khan Academy Greek</i>	51,8	48,2	2,5	2,2	14,4	27,8	42,2	5,7	5,3

Η διαφοροποίηση αυτή συνδέεται με το κριτήριο των Μαθητών (Students) του μοντέλου SECTIONS (Bates, 2019). Ενώ τα κανάλια άτυπης εκλαϊκευσης προσελκύουν κοινό βάσει προσωπικού ενδιαφέροντος για τα πεδία των Θετικών Επιστημών (όπου καταγράφεται παραδοσιακά υψηλότερη συμμετοχή ανδρών) το Khan Academy Greek παρουσιάζει ισορροπημένη δημογραφική σύνθεση ανάμεσα στα δύο φύλα. Η στενή σύνδεση του τελευταίου με τη σχολική ύλη και τις εξεταστικές ανάγκες της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης καθιστά τα κανάλια που υποστηρίζουν την τυπική μάθηση περισσότερο συμπεριληπτικά και αντιπροσωπευτικά του πραγματικού μαθητικού πληθυσμού.

Το πραγματικό όμως «παράδοξο» της έρευνας εντοπίζεται στην ανάλυση των ηλικιακών ομάδων. Θα περίμενε κανείς ότι εκπαιδευτικά κανάλια στο YouTube θα είχαν ως κύριο κοινό εφήβους μαθητές ηλικίας 13-17 ετών. Τα ποσοτικά δεδομένα όμως δείχνουν το ακριβώς αντίθετο. Στην ομάδα 13-17 ετών, το Astronio καταγράφει μόλις το 3% του κοινού του, η Καθημερινή Φυσική το 2,7% και το KhanAcademyGreek το 2,5%. Στα κανάλια εκλαϊκευμένης επιστήμης, η πλειονότητα των χρηστών συγκεντρώνεται στις παραγωγικές και ώριμες ηλικίες. Το Astronio έχει το 26,3% του κοινού του στις ηλικίες 25-34 και το 27% στις ηλικίες 35-44, ενώ η Καθημερινή Φυσική παρουσιάζει το 26,7% στις ηλικίες 18-24 και το 29,4% στις ηλικίες 25-34. Το εύρημα αυτό αποδεικνύει ότι η εκλαϊκευμένη επιστήμη στο YouTube λειτουργεί ως ένα ισχυρό μέσο διά βίου μάθησης για ενήλικες που επιθυμούν να διευρύνουν τους ορίζοντές τους (Smith, 2013), και όχι ως εργαλείο για τους μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, οι οποίοι φαίνεται να απέχουν από την αυτόνομη αναζήτηση τέτοιου υλικού.

Η πιο εντυπωσιακή όμως ανατροπή έρχεται από το KhanAcademyGreek. Η κυρίαρχη ηλικιακή ομάδα του καναλιού είναι οι άνθρωποι ηλικίας 45-54 ετών, οι οποίοι αποτελούν το 42,2% του συνολικού κοινού, ακολουθούμενοι από την ομάδα 35-44 ετών με 27,8%. Συνολικά, το 70% των χρηστών ενός καναλιού που παραδίδει μαθήματα σχολικής Φυσικής, Χημείας και Μαθηματικών είναι άνω των 35 ετών! Πώς εξηγείται αυτό το ηλικιακό παράδοξο; Τα δεδομένα αυτά υποδηλώνουν ότι η πρόσβαση των εφήβων μαθητών στο εκπαιδευτικό υλικό του YouTube πραγματοποιείται κυρίως μέσω διαμεσολάβησης και όχι μέσω αυτόνομης αναζήτησης με προσωπικούς λογαριασμούς. Οι γονείς (ηλικίας 35-54) αναζητούν ψηφιακά εργαλεία για να βοηθήσουν τα παιδιά τους στα σχολικά μαθήματα ή για να επιλέξουν έγκυρο υποστηρικτικό υλικό. Επιπλέον, ένα μεγάλο μέρος αυτού του ποσοστού αφορά μάχιμους εκπαιδευτικούς της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, οι οποίοι επισκέπτονται το Khan Academy για να δανειστούν επεξηγηματικά μοντέλα, να βρουν ιδέες για τη δική τους διδασκαλία ή να προβάλλουν το βίντεο μέσα στην τάξη τους. Αυτό το εύρημα αλλάζει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να προσεγγίζουμε το εκπαιδευτικό design στην εξΑΕ: ο σχεδιαστής υλικού δεν πρέπει να απευθύνεται μόνο στον τελικό μαθητή, αλλά πρέπει να λαμβάνει υπόψη του ότι το υλικό του θα αξιολογηθεί και θα φιλτραριστεί από γονείς και εκπαιδευτικούς, οι οποίοι λειτουργούν ως διαμεσολαβητές (gatekeepers) της γνώσης, ένα εύρημα που επιβεβαιώνει την ανάγκη ανάπτυξης του οπτικοακουστικού γραμματισμού των εκπαιδευτικών (Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

Σύνθεση Ποσοτικών Ευρημάτων και Μεθοδολογικοί Περιορισμοί

Συνοψίζοντας, η ποσοτική ανάλυση αναδεικνύει ότι η αποτελεσματικότητα της δυναμικής οπτικοποίησης εξαρτάται συνδυαστικά από τη διάρκεια του βίντεο, τη σχεδιαστική επεξεργασία και τον επιδιωκόμενο εκπαιδευτικό στόχο. Τα δεδομένα επιτρέπουν την ταξινόμηση των καναλιών σε δύο άξονες: στα αποθετήρια τυπικής εκπαίδευσης, που χαρακτηρίζονται από περιορισμένη διάδραση και σταθερή διαδικαστική αξία, και στα κανάλια άτυπης εκλαΐκευσης, που καταγράφουν υψηλή συναισθηματική εμπλοκή, αυξημένους μέσους όρους προβολών και έντονη αλληλεπίδραση μέσω σχολίων. Τέλος, η μέτρηση του watchtime στην Καθημερινή Φυσική και τα δημογραφικά ευρήματα στο Khan Academy Greek προσφέρουν την εμπειρική επιβεβαίωση της Αρχής της Κατάταξης και του ηλικιακού παραδόξου των χρηστών στο ψηφιακό περιβάλλον.

Πριν προχωρήσουμε στην ποιοτική φάση της έρευνας, είναι απαραίτητο να αναγνωριστούν οι συγκεκριμένοι μεθοδολογικοί περιορισμοί που συνδέονται με τα ποσοτικά δεδομένα. Η απουσία των διεθνών καναλιών (Crash Course, Kurzgesagt - In a Nutshell, Khan Academy, Periodic Videos) καθώς και ορισμένων εγχώριων (Σχολική Χημεία) όσον αφορά το watchtime και τα δημογραφικά στοιχεία, οφείλεται στους περιορισμούς πρόσβασης στα εσωτερικά YouTube Analytics των καναλιών αυτών. Τα δημόσια εργαλεία ανάλυσης και οι εξωτερικές πλατφόρμες εξαγωγής δεδομένων δεν έχουν δικαίωμα πρόσβασης σε ευαίσθητα δεδομένα τρίτων δημιουργών, εκτός αν οι ίδιοι τα δημοσιοποιήσουν. Αυτός ο περιορισμός αναδεικνύει τη σημασία της μεθοδολογικής τριγωνοποίησης (triangulation) που υιοθετήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Τα κενά που αφήνει η ποσοτική ανάλυση έρχεται να τα καλύψει με απόλυτη πληρότητα η ποιοτική ανάλυση περιεχομένου των σχολίων των χρηστών. Μέσα από τον γραπτό λόγο των ίδιων των θεατών, θα καταφέρουμε στην επόμενη ενότητα να εισέλθουμε στα άδυτα της γνωστικής τους επεξεργασίας, να ανιχνεύσουμε τις παρανοήσεις τους και να δούμε στην πράξη πώς οι αρχές του Mayer και του Bates βιώνονται από τους ίδιους τους εκπαιδευόμενους.

3.2 Ποιοτική Ανάλυση Μελετών Περίπτωσης

Η παρούσα ενότητα είναι αφιερωμένη στη διεξοδική παρουσίαση και την κριτική αποτίμηση των ποιοτικών αποτελεσμάτων της έρευνας, τα οποία προέκυψαν από τη συστηματική ανάλυση περιεχομένου των σχολίων των χρηστών στα επιλεγμένα κανάλια του YouTube. Ενώ η ποσοτική φάση προσέφερε μια πολύτιμη χαρτογράφηση των δεικτών εμπλοκής και της συμπεριφοράς κατανάλωσης, η ποιοτική προσέγγιση κρίνεται ως παιδαγωγικά επιβεβλημένη, καθώς επιτρέπει την εις βάθος διεξόδυση στα άδυτα της γνωστικής επεξεργασίας των εκπαιδευόμενων. Μέσα από τον γραπτό λόγο των ίδιων των χρηστών, αποκαλύπτονται οι συναισθηματικές τους αντιδράσεις, οι νοητικές τους συγκρούσεις, οι εννοιολογικές τους παρανοήσεις, καθώς και οι στρατηγικές μεταγνωστικού στοχασμού που επιστρατεύουν κατά την αλληλεπίδρασή τους με το οπτικοακουστικό υλικό. Η διαδικασία αυτή υλοποιήθηκε μέσω της μεθοδολογίας της Θεματικής Ανάλυσης (Thematic Analysis) (Braun & Clarke, 2006), η οποία επέτρεψε την κωδικοποίηση των

πρωτογενών δεδομένων σε διακριτές θεματικές κατηγορίες, ευθυγραμμισμένες με τις αρχές της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης (Mayer, 2014) και τις παραμέτρους του μοντέλου SECTIONS (Bates, 2019).

Στο πλαίσιο αυτό, τα σχόλια των χρηστών δεν αντιμετωπίζονται ως απλές αυθόρμητες εκδηλώσεις ευαρέσκειας ή δυσαρέσκειας, αλλά ως τεκμήρια της «κοινωνικής παρουσίας» (social presence) και της γνωστικής εμπλοκής (cognitive engagement) σε άτυπα εξ αποστάσεως περιβάλλοντα μάθησης (Carmichael et al., 2018). Η συλλογή του υλικού κάλυψε το σύνολο των οκτώ καναλιών, προσφέροντας ένα εξαιρετικά πλούσιο και πολυδιάστατο σώμα δεδομένων. Η ανάλυση των σχολίων επέτρεψε την ανάδυση κρίσιμων παιδαγωγικών μοτίβων που αφορούν τη διαχείριση του γνωστικού φορτίου, την αξία της αφηγηματικής προσέγγισης (storytelling), τον αντισταθμιστικό ρόλο του YouTube έναντι των αδυναμιών της παραδοσιακής σχολικής τάξης και τη δυναμική των ψηφιακών Κοινοτήτων Διερεύνησης. Η ανάλυση που ακολουθεί δομείται γύρω από τις πέντε κύριες θεματικές κατηγορίες που αναδύθηκαν από την κωδικοποίηση, παραθέτοντας αυτούσια quotes χρηστών, τα οποία αναλύονται κριτικά υπό το πρίσμα της σύγχρονης εκπαιδευτικής θεωρίας, διασφαλίζοντας τη μεθοδολογική τριγωνοποίηση και την επιστημονική εγκυρότητα της εργασίας.

ΒΗΜΑ 1: ΣΥΛΛΟΓΗ & ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (RAW DATA)

Παρατήρηση και συλλογή σχολίων από τα οκτώ (8) επιλεγμένα κανάλια της έρευνας έως και τον Μάρτιο του 2026. Απομόνωση και ξεκαθάρισμα των σχολίων που σχετίζονται αποκλειστικά με τη γνωστική, συναισθηματική ή διαδικαστική εμπλοκή των εκπαιδευόμενων, αποκλείοντας περιττές ή άσχετες αναφορές.



ΒΗΜΑ 2: ΑΝΟΙΚΤΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ (OPEN CODING)

Πρώτη ενδεδειγμένη ανάγνωση του σώματος δεδομένων και απόδοση αρχικών εννοιολογικών ετικετών (labels/codes) σε αυτούσιες φράσεις-κλειδιά ή quotes των χρηστών.

- Παράδειγμα Α: «χρειάζεται συχνά παύση» → Έλεγχος προσωπικού ρυθμού μελέτης (pacing).
- Παράδειγμα Β: «αδιάφορος καθηγητής στο σχολείο» → Κριτική της δομής της τυπικής εκπαίδευσης.



ΒΗΜΑ 3: ΑΞΟΝΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ (AXIAL CODING)

Συστηματική ομαδοποίηση και κατηγοριοποίηση των αρχικών κωδικών σε ευρύτερες, συνεκτικές υποθεματικές ενότητες και στρατηγική σύνδεσή τους με τις θεωρητικές αρχές της Πολυμεσικής Μάθησης (Mayer, 2014) και τις παραμέτρους του μοντέλου SECTIONS (Bates, 2019).

- Παράδειγμα: Η χειροκίνητη παύση ως φυσικός μηχανισμός άμυνας του εγκεφάλου απέναντι στην ταχεία εξαφάνιση της πληροφορίας (Transient Information Effect).

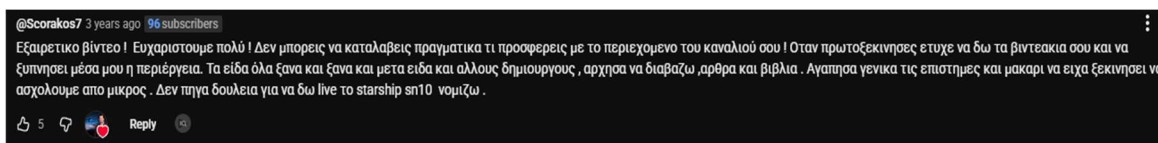
**ΒΗΜΑ 4: ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ & ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ (THEMATIC SYNTHESIS)**

Τελική αποκρυστάλλωση, εννοιολογικός προσδιορισμός και ονοματοδοσία των πέντε (5) Κύριων Θεματικών Κατηγοριών (Θεματικές Ενότητες Α έως Ε) της διπλωματικής εργασίας, οι οποίες αναλύονται κριτικά και ερμηνεύονται διεξοδικά στην ενότητα 3.2

Σχήμα 3.5: Εννοιολογικό Διάγραμμα Ροής της Ποιοτικής Κωδικοποίησης και Θεματικής Ανάλυσης των Σχολίων

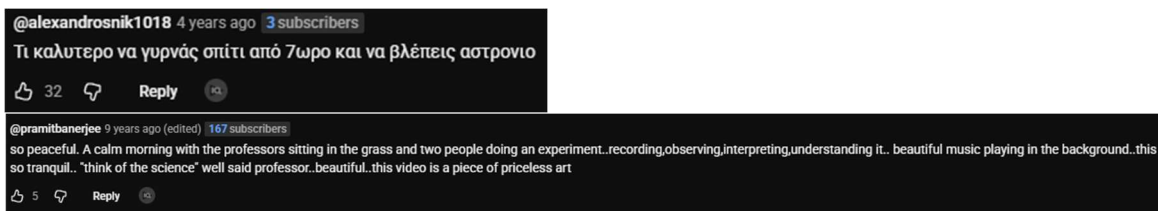
Θεματική Κατηγορία Α: Παρακίνηση, Συναισθηματική Εμπλοκή και Ίδρυση Ψηφιακών Κοινοτήτων Μάθησης

Η πρώτη θεματική κατηγορία που αναδύθηκε με εξαιρετική ένταση από τα δεδομένα αφορά την πυροδότηση της εγγενούς παρακίνησης (intrinsic motivation) και τη συναισθηματική εμπλοκή των εκπαιδευόμενων. Η διάσταση αυτή συνδέεται άμεσα με το κριτήριο των Μαθητών (Students) του μοντέλου SECTIONS, το οποίο εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο τα ψηφιακά μέσα επηρεάζουν τις στάσεις, τις προτιμήσεις και τις συναισθηματικές ανάγκες των χρηστών (Bates, 2019). Στα κανάλια εκλαϊκευμένης επιστήμης (Astronio, Καθημερινή Φυσική, Kurzgesagt - In a Nutshell), ο συνδυασμός της προηγμένης οπτικοποίησης και της αφηγηματικής προσέγγισης καταφέρνει να κάμψει τα συναισθηματικά φίλτρα και να μετατρέψει την επιστημονική γνώση σε μια ελκυστική εμπειρία. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του χρήστη @Scorakos7 στο κανάλι Astronio, ο οποίος αναφέρει ότι «η παρακολούθηση του περιεχομένου ζύπνησε μέσα του την περιέργεια, ωθώντας τον να δει και άλλους δημιουργούς, να διαβάσει άρθρα και βιβλία, με αποτέλεσμα να αγαπήσει γενικά τις επιστήμες, εκφράζοντας τη λύπη του που δεν ξεκίνησε από μικρός.»



Το εύρημα αυτό αποδεικνύει ότι η δυναμική οπτικοποίηση λειτουργεί ως καταλύτης για τη διά βίου μάθηση, μετατοπίζοντας τον χρήστη από την παθητική κατανάλωση στην ενεργό, αυτόνομη βιβλιογραφική αναζήτηση, επιβεβαιώνοντας τις θέσεις του Smith (2013) για την παρακινητική αξία των πολυμέσων σε ψηφιακά περιβάλλοντα Θετικών Επιστημών.

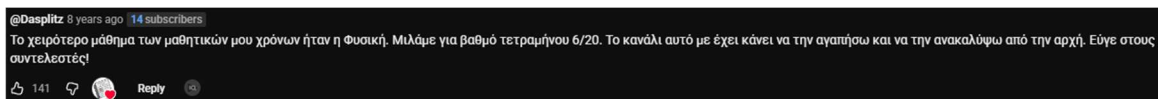
Η συναισθηματική αυτή σύνδεση αντανακλάται επίσης στην αναζήτηση του εκπαιδευτικού βίντεο ως μέσου ψυχαγωγίας και αποφόρτισης από την καθημερινή πίεση, όπως δηλώνει ο χρήστης @alexandrosnik1018, ο οποίος επισημαίνει ότι «*το καλύτερο συναίσθημα μετά από ένα κουραστικό «7ωρο» εργασίας είναι να επιστρέφει στο σπίτι και να παρακολουθεί Astronio*». Η μετατροπή ενός εκπαιδευτικού πόρου σε αντικείμενο αισθητικής και πνευματικής απόλαυσης συναντάται και στα διεθνή κανάλια. Στο κανάλι Periodic Videos, ο χρήστης @pramitbanerjee περιγράφει το βίντεο ως ένα «*ανεκτίμητο έργο τέχνης*» (*priceless art*), εστιάζοντας στη γαλήνη του τοπίου, την ήρεμη παρουσία των καθηγητών στο γρασίδι και την όμορφη μουσική υπόκρουση, στοιχεία που συνθέτουν μια ατμόσφαιρα ηρεμίας που ευνοεί την παρατήρηση και την ερμηνεία του πειράματος».



Η χρήση τέτοιων κοινωνικών και αισθητικών ερεθισμάτων ευθυγραμμίζεται με την Αρχή της Προσωποποίησης (Personalization Principle) του Mayer (2014), καθώς το ανεπίσημο, φιλικό ύφος και το προσεγμένο περιβάλλον μειώνουν την ψυχολογική απόσταση, ενισχύοντας την κοινωνική παρουσία και διευκολύνοντας τη βαθύτερη γνωστική επεξεργασία.

Επιπλέον, η ποιοτική ανάλυση αποκαλύπτει ότι η δυναμική οπτικοποίηση διαθέτει τη θεραπευτική ικανότητα να ανατρέπει αρνητικές προδιαθέσεις και σχολικά «τραύματα» του παρελθόντος, αμβλύνοντας το λεγόμενο άγχος απέναντι στις Θετικές Επιστήμες. Ο χρήστης @Dasplitz στο κανάλι Καθημερινή Φυσική εξομολογείται ότι «*το χειρότερο μάθημα των μαθητικών του χρόνων ήταν η Φυσική, έχοντας βαθμό τετράμηνου μόλις 6/20,*

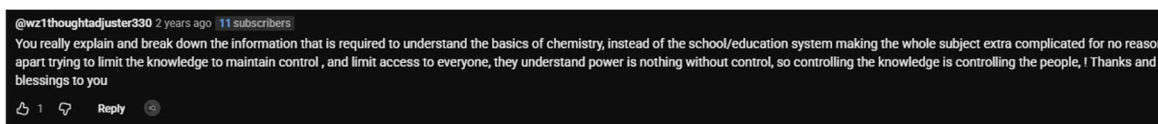
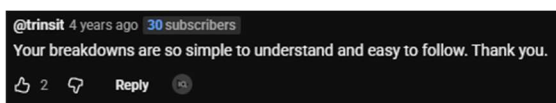
όμως το συγκεκριμένο κανάλι τον έκανε να την αγαπήσει και να την ανακαλύψει από την αρχή».



Η συναισθηματική αυτή μεταστροφή επιτυγχάνεται διότι η οπτικοποίηση προσφέρει μια εναλλακτική, νοητικά προσβάσιμη αναπαράσταση που υποκαθιστά τις διδακτικές αποτυχίες της παραδοσιακής εκπαίδευσης. Μέσα από αυτές τις αντιδράσεις, η ενότητα των σχολίων μετατρέπεται σε μια εικονική κοινότητα πρακτικής (Virtual Community of Practice), όπου οι χρήστες μοιράζονται κοινές εμπειρίες, αλληλεπιδρούν και αναπτύσσουν δεσμούς δικτύωσης (Networking), επιβεβαιώνοντας ότι το YouTube, όταν αξιοποιεί σωστά τον πολυμεσικό σχεδιασμό, ξεπερνά τα όρια ενός απλού αποθετηρίου και μετεξελίσσεται σε έναν ζωντανό κοινωνικό χώρο μάθησης (Fiallos, 2021; Welbourne & Grant, 2016).

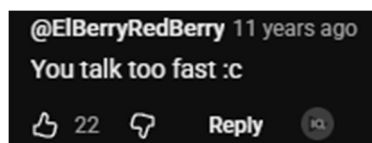
Θεματική Κατηγορία Β: Γνωστική Επεξεργασία, Διαχείριση Φορτίου και το Φαινόμενο της Παροδικής Πληροφορίας

Η δεύτερη θεματική κατηγορία επικεντρώνεται στη γνωστική επεξεργασία και τη διαχείριση του νοητικού φορτίου των εκπαιδευόμενων, προσφέροντας μια ξεκάθαρη πρακτική εφαρμογή της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης (Mayer, 2014) και της Θεωρίας του Γνωστικού Φορτίου (Sweller, 1988). Τα σχόλια των χρηστών αναδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο ο μινιμαλιστικός σχεδιασμός και η κατάτμηση της πληροφορίας συμβάλλουν στη μείωση του εξωγενούς γνωστικού φορτίου (extraneous cognitive load). Στο διεθνές κανάλι του Khan Academy, ο χρήστης @wz1thoughtadjuster330 επισημαίνει ότι «ο Sal Khan καταφέρνει να εξηγήσει και να αποδομήσει πλήρως την απαιτούμενη πληροφορία για την κατανόηση των βασικών αρχών της Χημείας, σε αντίθεση με το παραδοσιακό εκπαιδευτικό σύστημα που περιπλέκει το αντικείμενο χωρίς λόγο».

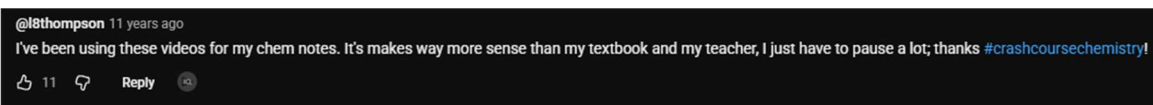


Η επιτυχία αυτή ερμηνεύεται από την αυστηρή τήρηση της Αρχής της Συνάφειας (Coherence Principle), καθώς ο ψηφιακός μαυροπίνακας αφαιρεί κάθε διακοσμητικό στοιχείο ή οπτικό θόρυβο, επιτρέποντας στον μαθητή να εστιάσει αποκλειστικά στη γνωστική ουσία του φαινομένου. Αντίστοιχα, στο κανάλι Kurzgesagt - In a Nutshell, ο χρήστης @trinsit τονίζει ότι οι αναλύσεις (breakdowns) είναι «εξαιρετικά απλές στην κατανόηση και εύκολες στην παρακολούθηση (easy to follow), αποδεικνύοντας ότι η χρήση στυλιζαρισμένων δισδιάστατων *vector animations* λειτουργεί ως ένας ενσωματωμένος μηχανισμός οπτικής καθοδήγησης (*visual scaffolding*) που διευκολύνει την επιλεκτική προσοχή και την οργάνωση των πληροφοριών στο εργαζόμενο μνημονικό σύστημα».

Ωστόσο, η ποιοτική ανάλυση φέρνει στην επιφάνεια και μια σοβαρή παιδαγωγική πρόκληση: το Φαινόμενο της Παροδικής Πληροφορίας (Transient Information Effect), το οποίο εμφανίζεται όταν ο ρυθμός παρουσίασης του βίντεο είναι ταχύτερος από τη γνωστική ικανότητα επεξεργασίας του μαθητή (Sweller, 2010). Το πρόβλημα αυτό αναδεικνύεται ανάγλυφα στα σχόλια του καναλιού Crash Course Chemistry.

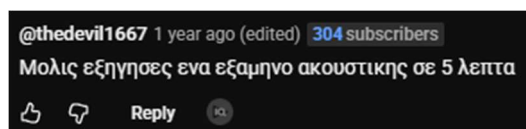


Ο χρήστης @ElBerryRedBerry διαμαρτύρεται άμεσα, αναφέροντας ότι ο παρουσιαστής μιλάει υπερβολικά γρήγορα, ενώ ο χρήστης @l8thompson σημειώνει ότι «χρησιμοποιεί τα συγκεκριμένα βίντεο για να κρατάει σημειώσεις επειδή βγάζουν περισσότερο νόημα από το σχολικό βιβλίο, συμπληρώνοντας όμως τη φράση-κλειδί: «απλώς χρειάζεται να πατάω συχνά παύση» (*I just have to pause a lot*)».

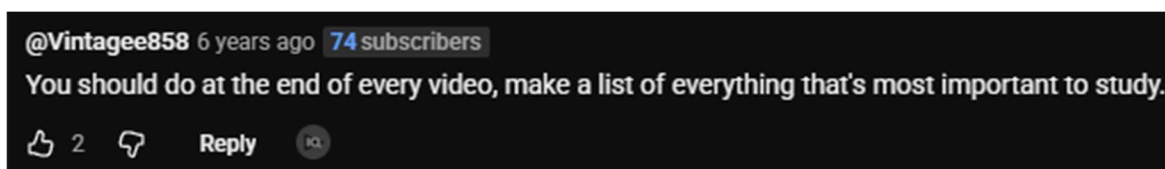


Η ανάγκη αυτή για συνεχή χειροκίνητη παρέμβαση στο ρυθμό ροής αποδεικνύει ότι ο καταγιστικός ρυθμός ομιλίας και η ταυτόχρονη προβολή περίπλοκων γραφικών υπερφορτώνουν το οπτικό και ακουστικό κανάλι του μαθητή. Η πληροφορία εξαφανίζεται από την οθόνη πριν ολοκληρωθεί η νοητική της ενσωμάτωση, αναγκάζοντας τους εκπαιδευόμενους να αναλάβουν οι ίδιοι τον έλεγχο του ρυθμού (pacing), μετατρέποντας το συνεχές βίντεο σε «κομμένα» τμήματα, προκειμένου να προστατευτούν από τη γνωστική υπερφόρτωση.

Αυτή η ανάγκη για έλεγχο του ρυθμού αναδεικνύει τη σημασία της Αρχής της Κατάτμησης (Segmenting Principle), σύμφωνα με την οποία η μάθηση διευκολύνεται όταν το υλικό είναι δομημένο σε αυτόνομα, user-paced τμήματα (Mayer, 2014). Η σημασία αυτής της αρχής επιβεβαιώνεται και από το σχόλιο του χρήστη @thedevil1667 στο κανάλι Καθημερινή Φυσική, ο οποίος αναφέρει χαρακτηριστικά: «Μόλις εξήγησες ένα εξάμηνο ακουστικής σε 5 λεπτά».



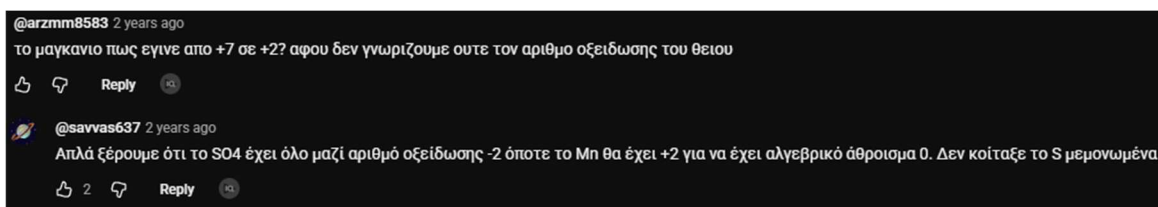
Η εντυπωσιακή αυτή συμπύκνωση (microlearning) δείχνει ότι όταν ένα σύντομο βίντεο συνδυάζει σωστά την προφορική αφήγηση με τη δυναμική ροή των γραφικών (Αρχή της Τροπικότητας), καταφέρει να μεταδώσει πολύπλοκες έννοιες με μέγιστη γνωστική οικονομία. Από την άποψη του εκπαιδευτικού σχεδιασμού (*instructional design*), η ποιοτική ανάλυση προειδοποιεί ότι οι δημιουργοί πρέπει να αποφεύγουν τον κατατρεγμένο ρυθμό και να ενσωματώνουν στατικές διαφάνειες ανακεφαλαίωσης, όπως πολύ εύστοχα προτείνει ο χρήστης @Vintagee858 στο Crash Course, ζητώντας «μια λίστα με τα σημαντικότερα σημεία μελέτης στο τέλος του βίντεο, ώστε να παρέχεται ο απαραίτητος χρόνος για στοχασμό και εδραίωση της γνώσης».



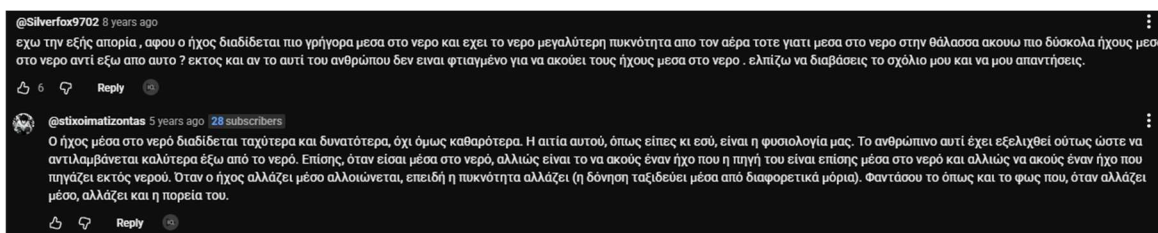
Θεματική Κατηγορία Γ: Επίλυση Παρανοήσεων, Διαδικαστική Καθοδήγηση και Ομότιμη Μάθηση

Η τρίτη θεματική κατηγορία αφορά τη διαχείριση των εννοιολογικών δυσκολιών, την ανίχνευση παρανοήσεων (misconceptions) και τη λειτουργία της ομότιμης μάθησης (peer-to-peer learning) στην ενότητα των σχολίων. Η διάσταση αυτή φωτίζει τα κριτήρια της Αλληλεπίδρασης (Interaction) και της Δικτύωσης (Networking) του μοντέλου SECTIONS, αποδεικνύοντας ότι η ασύγχρονη πλατφόρμα μπορεί να λειτουργήσει ως ένας χώρος συνεργατικής επίλυσης προβλημάτων (Bates, 2019). Στις Θετικές Επιστήμες, οι

μαθητές αντιμετωπίζουν συχνά σοβαρές δυσκολίες επειδή καλούνται να συνδέσουν διαφορετικά επίπεδα αναπαράστασης (Μακροσκοπικό, Υποατομικό, Συμβολικό επίπεδο). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ερώτηση του χρήστη @arzzmm8583 στο κανάλι Σχολική Χημεία, ο οποίος εκφράζει μια κλασική διαδικαστική απορία σχετικά με μια οξειδοαναγωγική αντίδραση: «το μαγγάνιο πως έγινε από +7 σε +2; αφού δεν γνωρίζουμε ούτε τον αριθμό οξείδωσης του θείου». Η επίλυση της απορίας δεν έρχεται από τον καθηγητή, αλλά από έναν άλλο χρήστη, τον @savvas637, ο οποίος προσφέρει άμεση καθοδήγηση (scaffolding), εξηγώντας τη μεθοδολογία: «το SO_4 έχει όλο μαζί αριθμό οξείδωσης -2 οπότε το Mn θα έχει +2 για να έχει αλγεβρικό άθροισμα 0... Δεν κοιτάξεις το S μεμονωμένα».



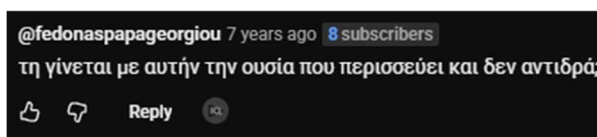
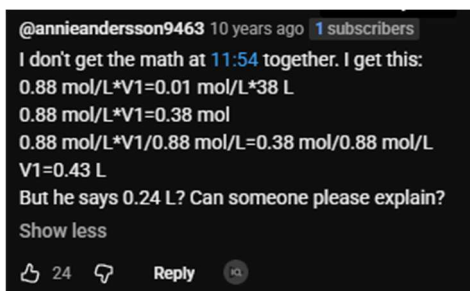
Αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ των εκπαιδευόμενων (Learner-to-Learner Interaction) αποδεικνύει ότι η ενότητα των σχολίων λειτουργεί ως ένας αυτόνομος μηχανισμός ομότιμης διδασκαλίας (peer tutoring). Οι έμπειροι χρήστες επιστρατεύουν μεθοδολογικούς κανόνες για να βοηθήσουν τους νεότερους, διευκολύνοντας τη μετάβαση στο Συμβολικό επίπεδο της Χημείας. Παρόμοιο φαινόμενο εντοπίζεται και στο κανάλι Καθημερινή Φυσική, όπου ο χρήστης @Silverfox9702 διατυπώνει μια εύλογη παρανόηση σχετικά με τη διάδοση του ήχου, αναρωτώμενος γιατί, αφού ο ήχος διαδίδεται ταχύτερα στο νερό, ο ίδιος ακούει πιο δύσκολα όταν βρίσκεται στη θάλασσα. Η απάντηση δίνεται από τον χρήστη @stixoiomatizontas, ο οποίος αναπτύσσει μια εξαιρετική παιδαγωγική επεξήγηση βασισμένη στη φυσιολογία του ανθρώπινου αυτιού και στην αλλαγή μέσου διάδοσης, χρησιμοποιώντας μάλιστα μια πολύ εύστοχη αναλογία με τη διάθλαση του φωτός.



Η ικανότητα των ίδιων των χρηστών να αναπτύσσουν αναλογίες αποδεικνύει ότι η

παρακολούθηση του βίντεο πυροδότησε μια βαθιά, παραγωγική γνωστική επεξεργασία (generative processing), επιτρέποντας την επιτυχή επίλυση της εννοιολογικής σύγκρουσης.

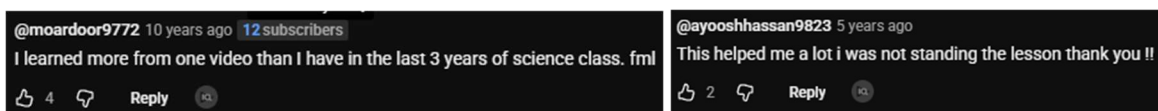
Ωστόσο, όταν το εκπαιδευτικό βίντεο μετακινείται στο πεδίο των σύνθετων μαθηματικών υπολογισμών, οι εννοιολογικές απορίες γίνονται πιο έντονες και απαιτούν συστηματική υποστήριξη. Στο κανάλι Crash Course, η χρήστρια @annieandersson9463 παραθέτει αναλυτικά ολόκληρη τη στοιχειομετρική της πράξη για τον υπολογισμό του όγκου $V1$ ($0.88 \text{ mol/L} * V1 = 0.01 \text{ mol/L} * 38 \text{ L}$), εκφράζοντας την απόγνωσή της καθώς η ίδια καταλήγει στο αποτέλεσμα 0.43 L, ενώ ο παρουσιαστής αναφέρει 0.24 L, ζητώντας από την κοινότητα να της εξηγήσει το λάθος. Αντίστοιχα, στο κανάλι Khan Academy Greek, ο χρήστης @fedonaspapageorgiou θέτει ένα κρίσιμο ερώτημα σχετικά με τη στοιχειομετρία και το περιοριστικό αντιδρών: «τι γίνεται με αυτήν την ουσία που περισσεύει και δεν αντιδρά;». Τα ευρήματα αυτά προειδοποιούν ότι η δυναμική οπτικοποίηση, παρόλο που υπερέχει στην περιγραφή φαινομένων, μπορεί να αφήσει κενά όταν μεταβαίνει στο αλγοριθμικό επίπεδο. Η παντελής απουσία απαντήσεων στο σχόλιο του @fedonaspapageorgiou αναδεικνύει το «έλλειμμα αλληλεπίδρασης» (interaction gap) στα κανάλια-αποθετήρια, καθώς η μαζική παραγωγή υλικού καθιστά αδύνατη την εποπτεία από τον δημιουργό, αφήνοντας τις γνωστικές απορίες των μαθητών μετέωρες, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη για ενσωμάτωση πιο οργανωμένων δομών υποστήριξης (Bates, 2019; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).



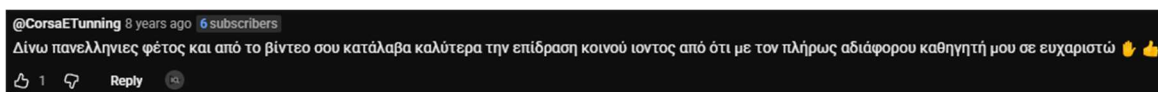
Θεματική Κατηγορία Δ: Θεσμική Εγκυρότητα, Αντισταθμιστικός Ρόλος και Κριτική της Τυπικής Εκπαίδευσης

Η τέταρτη θεματική κατηγορία αποκαλύπτει μια έντονα κριτική στάση των εκπαιδευόμενων απέναντι στο επίσημο εκπαιδευτικό σύστημα και αναδεικνύει τον ισχυρό αντισταθμιστικό ρόλο (compensatory role) που διαδραματίζει η πλατφόρμα του YouTube.

Η κατηγορία αυτή συνδέεται στενά με τη διδακτική λειτουργία (Teaching Functions) του μοντέλου SECTIONS, εξετάζοντας αν το ψηφιακό υλικό καλύπτει αποτελεσματικά τους μαθησιακούς στόχους του αναλυτικού προγράμματος (Bates, 2019). Τα σχόλια των χρηστών στα διεθνή κανάλια εκφράζουν μια βαθιά απογοήτευση από την παραδοσιακή σχολική τάξη. Ο χρήστης @moardoor9772 στο κανάλι Kurzgesagt - In a Nutshell γράφει χαρακτηριστικά: «Έμαθα περισσότερα από αυτό το βίντεο απ' όσα έμαθα τα τελευταία 3 χρόνια στο μάθημα των φυσικών επιστημών», ενώ στο ίδιο κανάλι ο @ayooshhassan9823 ευχαριστεί τον δημιουργό σημειώνοντας ότι το βίντεο τον βοήθησε πάρα πολύ καθώς δεν μπορούσε να καταλάβει το μάθημα στο σχολείο. Οι αντιδράσεις αυτές αποδεικνύουν ότι η ασύγχρονη πολυμεσική μάθηση λειτουργεί ως ένα ασφαλές «καταφύγιο» για μαθητές που βιώνουν μαθησιακή αποστασιοποίηση στο τυπικό σχολικό περιβάλλον, προσφέροντας μια εξαιρετικά συμπυκνωμένη και οπτικά πλούσια εναλλακτική διδασκαλία.



Στην ελληνική πραγματικότητα, ο αντισταθμιστικός αυτός ρόλος αποκτά έναν έντονα εξετασιοκεντρικό χαρακτήρα, συνδεδεμένο με την υψηλή διακύβευση (high-stakes) των Πανελλαδικών εξετάσεων. Ο χρήστης @CorsaETunning στο κανάλι KhanAcademyGreek δηλώνει: «Δίνω πανελλήνιες φέτος και από το βίντεο σου κατάλαβα καλύτερα την επίδραση κοινού ιόντος από ότι με τον πλήρως αδιάφορο καθηγητή μου σε ευχαριστώ».



Το σχόλιο αυτό, σε συνδυασμό με την αναφορά του @petrosmk4258 (μαθητή Γ' Λυκείου που βοηθήθηκε σημαντικά), επιβεβαιώνει ότι οι υποψήφιοι στρέφονται στο YouTube για να καλύψουν τα κενά της ζωντανής διδασκαλίας. Το κίνητρο των χρηστών εδώ είναι καθαρά χρησιμοθηρικό, προσανατολισμένο στην ακαδημαϊκή επιβίωση, όπως αποτυπώνεται και στο σχόλιο του χρήστη @Marios1_1 στο κανάλι Σχολική Χημεία, ο οποίος εκφράζει την ελπίδα ότι μέσω αυτών των βίντεο θα καταφέρει να γράψει «18» στις εξετάσεις. Η οπτικοποίηση μέσω του ψηφιακού μαυροπίνακα (screencasting) στα κανάλια αυτά λειτουργεί ως ένας μηχανισμός διαδικαστικής υποστήριξης (procedural scaffolding), ο οποίος στερείται μεν της γενικής ελκυστικότητας, ικανοποιεί όμως απόλυτα την ανάγκη

για γρήγορη και δομημένη επανάληψη (Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

@petrosmk4258 9 years ago
Πολυ ωραιο βιντεο. Ειμαι μαθητης γ' λυκειου και με βοηθησε πολυ!!

@Marios1_1 1 year ago
Ευχαριστώ τόσο καταφέρω και γράφω 18 τώρα στις πανελλήνιες με αυτά τα βίντεο.

Μια μοναδική πτυχή που αναδύθηκε από την έρευνα αφορά τη «θεσμική εγκυρότητα» του ψηφιακού υλικού και την ανάγκη αυστηρής προσκόλλησης στο επίσημο σχολικό εγχειρίδιο («ITYE Διόφαντος»). Στο κανάλι Σχολική Χημεία, ο χρήστης @chimiokb (επιστήμονας χημικός) διατυπώνει μια αυστηρή παρατήρηση, υποστηρίζοντας ότι η χημική ενέργεια περιλαμβάνει μόνο τη δυναμική ενέργεια των δεσμών, ενώ οι κινητικές ενέργειες των μορίων αποτελούν τη θερμική ενέργεια. Η απάντηση του δημιουργού-εκπαιδευτικού @dimileve είναι άκρως αποκαλυπτική: παραθέτει αυτούσιο το κείμενο από τη σελίδα 44 του σχολικού βιβλίου της Γ' Λυκείου για να αποδείξει ότι, σύμφωνα με τη «διδασκτέα-εξεταστέα ύλη», οι κινητικές ενέργειες συμπεριλαμβάνονται στη χημική ενέργεια, καταλήγοντας ότι η επιλογή του βασίστηκε στην ασφάλεια των υποψηφίων. Το εύρημα αυτό αναδεικνύει μια έντονη παιδαγωγική σύγκρουση: στην τυπική εκπαίδευση, η εγκυρότητα του ψηφιακού υλικού δεν κρίνεται από την ευρύτερη επιστημονική ορθότητα, αλλά από τη θεσμική του ευθυγράμμιση με το σχολικό βιβλίο. Ο δημιουργός αναγκάζεται να περιορίσει τον επιστημονικό στοχασμό προς όφελος της εξεταστικής ασφάλειας, επιβεβαιώνοντας ότι το YouTube στην Ελλάδα λειτουργεί συχνά ως ένας ψηφιακός καθρέφτης της παραδοσιακής, εξετασιοκεντρικής σχολικής αίθουσας.

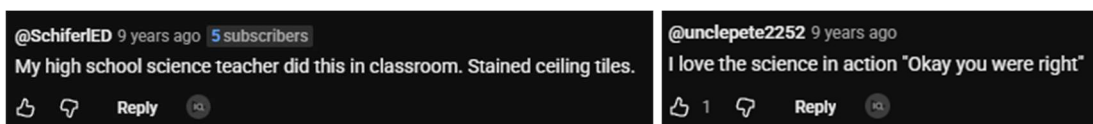
@chimiokb 7 years ago
Η χημική ενέργεια (3:14) είναι μόνο η δυναμική ενέργεια των χημικών δεσμών. Οι κινητικές ενέργειες των μορίων (μεταφορική, δόνηση, περιστροφή) είναι η θερμότητα (θερμική ενέργεια). Κατά την χημική αντίδραση μέρος της χημικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα (εξώθερμη) ή μέρος της θερμότητας μετατρέπεται σε χημική ενέργεια (ενδόθερμη).

@dimileve 7 years ago 27 subscribers
Κιωνταντίνε ευχαριστώ πολύ για το σχόλιο,
Στην σελίδα 44 του σχολικού βιβλίου αναφέρονται ακριβώς τα εξής:
"Κάθε ουσία, εκτός από άτομα μόρια ή ιόντα, «κουβαλά» ενέργεια, τη χημική ενέργεια. Η χημική ενέργεια οφείλεται στις δυνάμεις του δεσμού (που συγκρατούν τα άτομα στο μόριο), στις έλξεις των μορίων και των υποατομικών σωματιδίων, στην κίνηση των ατόμων, μορίων και ηλεκτρονίων κλπ. Είναι, δηλαδή, συνδυασμός κινητικής και δυναμικής ενέργειας. Η χημική ενέργεια είναι μια «κρυμμένη» μορφή ενέργειας και μέρος αυτής μπορεί να αποδοθεί άλλοτε εύκολα (π.χ. στη βενζίνη με ένα σπινθήρα) και άλλοτε δύσκολα (π.χ. στα πυρηνικά καύσιμα) στο περιβάλλον".
Οπότε στην χημική ενέργεια συμπεριλαμβάνονται σύμφωνα με την διδασκτέα-εξεταστέα ύλη και οι κινητικές ενέργειες.
Και πάλι ευχαριστώ
Show less

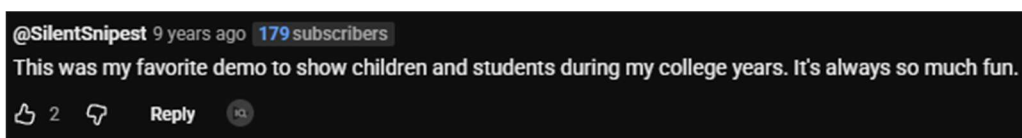
Θεματική Κατηγορία Ε: Αυθεντικότητα, Ασφάλεια και Οργανωτική Βιωσιμότητα των Ανοικτών Πόρων

Η πέμπτη θεματική κατηγορία εστιάζει στην αξία της αυθεντικότητας, τη διαχείριση του κινδύνου και τη μακροχρόνια οργανωτική βιωσιμότητα (sustainability) των βίντεο ως

Ανοικτών Εκπαιδευτικών Πόρων (OER). Η κατηγορία αυτή απαντά με απόλυτη πληρότητα στα κριτήρια του Κόστους (Costs), της Ασφάλειας (Safety) και των Οργανωτικών Ζητημάτων (Organizational Issues) του μοντέλου SECTIONS (Bates, 2019). Στο κανάλι Periodic Videos, το οποίο βασίζεται στη βιντεοσκοπήση πραγματικών εργαστηριακών πειραμάτων, οι χρήστες εξαίρουν την αξία της «επιστήμης σε δράση» (science in action), όπως σημειώνει ο @unclepete2252. Η οπτικοποίηση εδώ δεν στηρίζεται σε τεχνητά ψηφιακά γραφικά, αλλά στην αυθεντική καταγραφή του φυσικού φαινομένου. Η προσέγγιση αυτή προσφέρει μια τεράστια υπηρεσία στο σχολικό σύστημα, καθώς επιτρέπει την παρακολούθηση πειραμάτων υψηλού ρίσκου (εκρήξεις, χρήση τοξικών ουσιών) με απόλυτη ασφάλεια.



Χαρακτηριστικό είναι το σχόλιο του χρήστη @SchiferIED, ο οποίος θυμάται ότι ο δικός του καθηγητής στο Λύκειο προσπάθησε να εκτελέσει το ίδιο πείραμα μέσα στην τάξη, με αποτέλεσμα να λερώσει τις πλάκες της οροφής. Η ψηφιακή αναπαράσταση, επομένως, εξαλείφει τους κινδύνους ασφάλειας (safety hazards) και το υψηλό κόστος των αναλωσίμων, προσφέροντας ένα επαναχρησιμοποιήσιμο υλικό επίδειξης, κατάλληλο ακόμα και για μικρότερα παιδιά, όπως αναφέρει ο χρήστης @SilentSnipest.



Η οργανωτική βιωσιμότητα και η διαχρονική αξία των Ανοικτών Εκπαιδευτικών Πόρων αναδεικνύεται με συγκλονιστικό τρόπο από ένα σχόλιο στο διεθνές κανάλι του Khan Academy. Ο χρήστης @iamnotfitforadventure8108 γράφει: «Ήμουν 10 χρονών όταν αναρτήθηκε αυτό το βίντεο, και τώρα είναι εδώ για μένα στο μάθημα της Χημείας μου σε ηλικία 26 ετών». Το εύρημα αυτό αποκαλύπτει τη μοναδική «διάρκεια ζωής» του σωστά σχεδιασμένου ψηφιακού υλικού. Ένα εκπαιδευτικό βίντεο που εστιάζει στην ουσία της γνώσης και τηρεί τις αρχές του Mayer, αποφεύγοντας εφήμερα διακοσμητικά στοιχεία, διατηρεί την παιδαγωγική του χρηστικότητα σε βάθος δεκαετιών. Το αρχικό κόστος παραγωγής αποσβένεται στο έπακρο, καθώς ο πόρος παραμένει ανοικτός και προσβάσιμος, εξυπηρετώντας τον ίδιο άνθρωπο σε εντελώς διαφορετικές φάσεις της ακαδημαϊκής του εξέλιξης (από το Δημοτικό έως το Πανεπιστήμιο).

@iamnotfitforadventure8108 1 month ago 2 subscribers
I was 10 when this was posted, and it's here for me now in my chemistry class at age 26. neat.

Η ποιότητα αυτή επιτρέπει επίσης την επίτευξη του ανώτερου γνωστικού στόχου της οικοδόμησης της γνώσης σε εξειδικευμένα επαγγελματικά περιβάλλοντα. Στο ίδιο κανάλι (Khan Academy), ο χρήστης @garyporlin παραθέτει μια εκτενή τεχνική ανάλυση, εξηγώντας πώς η θεωρητική επεξήγηση για την ενθαλπία και την πίεση κορεσμού εφαρμόζεται με απόλυτη ακρίβεια στη λειτουργία των πραγματικών συστημάτων ψύξης (συμπυκνωτής, εξατμιστής).

@garyporlin 1 year ago
This is a perfect explanation of the heat content of air in a space that is to be manipulated by a refrigeration system. Even though the pressure changes between the condenser and the evaporator, the enthalpy is the same throughout the system (except for losses in the lineset). The saturation pressure is constant in the condenser. The saturation pressure in the evaporator is also constant. The difference between these two constant pressures is what allows heat from the air in the space at the evaporator to be carried through the system (via the refrigerant) where it is rejected into the air outside the condenser. Well done!

Το σχόλιο αυτό αποδεικνύει ότι ο μινιμαλιστικός πολυμεσικός σχεδιασμός διαθέτει τη δύναμη να γεφυρώσει την αφηρημένη πανεπιστημιακή θεωρία με την πρακτική μηχανική εφαρμογή. Τέλος, η μεταγνωστική αξία του μέσου ωθεί τους ίδιους τους χρήστες να οραματιστούν το μέλλον της εκπαίδευσης. Ο χρήστης @Xhanthan στο Periodic Videos

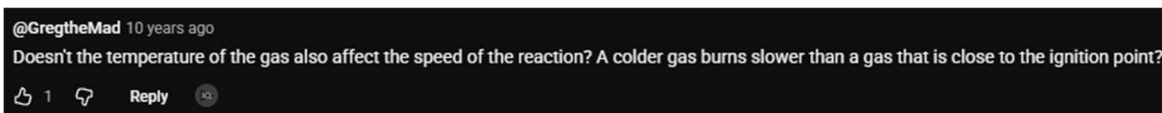
@Xhanthan 9 years ago 3 subscribers
watching these videos is making me think whether this is the future of studying - to just have educated people explain things in videos and you can watch them over and over again; maybe you chat with the professors afterwards for further questions

στοχάζεται αν αυτό είναι το μέλλον της μελέτης, δηλαδή να υπάρχουν μορφωμένοι άνθρωποι να εξηγούν έννοιες σε βίντεο ώστε να μπορείς να τα βλέπεις ξανά και ξανά, και στη συνέχεια να συνομιλείς με τους καθηγητές για περαιτέρω ερωτήσεις. Το σχόλιο αυτό περιγράφει αυτούσια τη φιλοσοφία της Αντεστραμμένης Τάξης (Flipped Classroom), αναδεικνύοντας το βίντεο ως το ιδανικό εργαλείο για την ασύγχρονη μετάδοση του περιεχομένου, απελευθερώνοντας τον σύγχρονο χρόνο για ουσιαστική, υψηλού επιπέδου αλληλεπίδραση (Bates, 1995; Mayer, 2014).

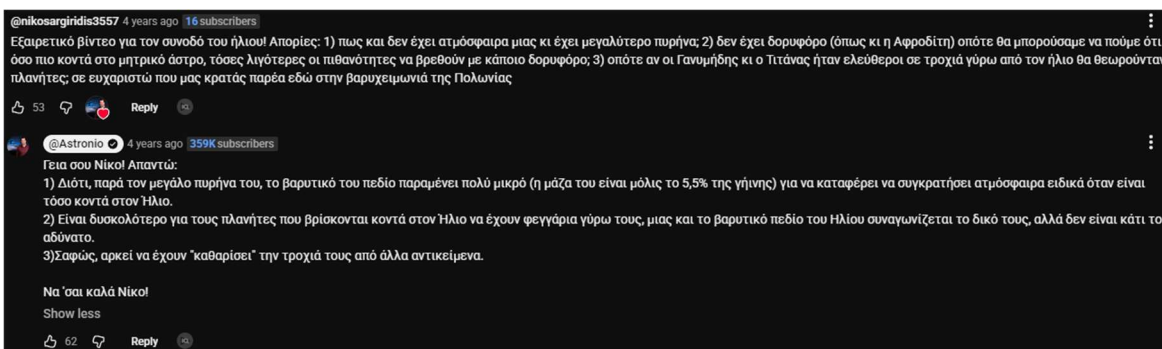
Συνολική Σύνθεση και Τριγωνοποίηση των Ευρημάτων

Η ολοκλήρωση της ποιοτικής ανάλυσης επιτρέπει την επίτευξη της μεθοδολογικής τριγωνοποίησης (triangulation), συνδέοντας τα ποιοτικά ευρήματα με τα ποσοτικά δεδομένα που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 3.1. Η ποσοτική καταγραφή έδειξε ότι τα κανάλια εκλαϊκευμένης επιστήμης (Kurzgesagt - In a Nutshell, Astronio, Καθημερινή Φυσική) συγκεντρώνουν τεράστιους μέσους όρους προβολών, likes και σχολίων. Η

ποιοτική ανάλυση περιεχομένου έρχεται να ερμηνεύσει αυτή τη δημοφιλία, αποκαλύπτοντας ότι τα συγκεκριμένα μέσα λειτουργούν ως εικονικές κοινότητες μάθησης που διεγείρουν την περιέργεια, μειώνουν το άγχος στις Θετικές Επιστήμες και προκαλούν στοχαστικά ερωτήματα (Inquiry-Based Learning), όπως το ερώτημα του χρήστη @GregtheMad στο Periodic Videos σχετικά με την επίδραση της θερμοκρασίας στην ταχύτητα της αντίδρασης, ή τα ερωτήματα του @nikosargiridis3557 στο Astronio για την ατμόσφαιρα των πλανητών. Αντίστοιχα, η μαθηματική υπεροχή της Καθημερινής Φυσικής



στο watchtime (57,3%) ερμηνεύεται ποιοτικά από την επιτυχή εφαρμογή της Αρχής της Κατάτμησης και της Τροπικότητας, η οποία προσφέρει στους μαθητές τη μέγιστη γνωστική άνεση μέσα από σύντομα, οπτικά πυκνά βίντεο (microlearning).



Στον αντίποδα, η ποσοτική υστέρηση των καναλιών τυπικής εκπαίδευσης (KhanAcademyGreek με 2.888 θεάσεις και 1 σχόλιο, Σχολική Χημεία με 5.749 θεάσεις) φωτίζεται ποιοτικά από τον αυστηρά χρησιμοθηρικό και εξετασιοκεντρικό τους χαρακτήρα. Οι μαθητές προσεγγίζουν αυτά τα κανάλια καθαρά ως εργαλεία διαδικαστικής υποστήριξης για τις εξετάσεις, αποχωρώντας αμέσως μετά την επίλυση της άσκησης χωρίς διάθεση για κοινωνική δικτύωση ή σχολιασμό. Η παντελής απουσία απαντήσεων στις εννοιολογικές απορίες των μαθητών σε αυτά τα κανάλια επιβεβαιώνει το δομικό έλλειμμα κοινωνικής παρουσίας που προκαλεί η μονοδιάστατη χρήση του screencasting χωρίς παιδαγωγικό ανασχεδιασμό. Συμπερασματικά, η σύνθεση των ποσοτικών και ποιοτικών ευρημάτων αποδεικνύει ότι η δυναμική οπτικοποίηση στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση δεν πρέπει να αποτελεί μια στεγνή ψηφιοποίηση του μαυροπίνακα, αλλά πρέπει να ενσωματώνει την αισθητική αφαίρεση, τον έλεγχο του ρυθμού και την αφηγηματική πλαισίωση,

μετατρέποντας το οπτικοακουστικό υλικό σε μια διαχρονική, συμπεριληπτική και βαθιά μεταγνωστική εμπειρία μάθησης.

Πίνακας 3.4

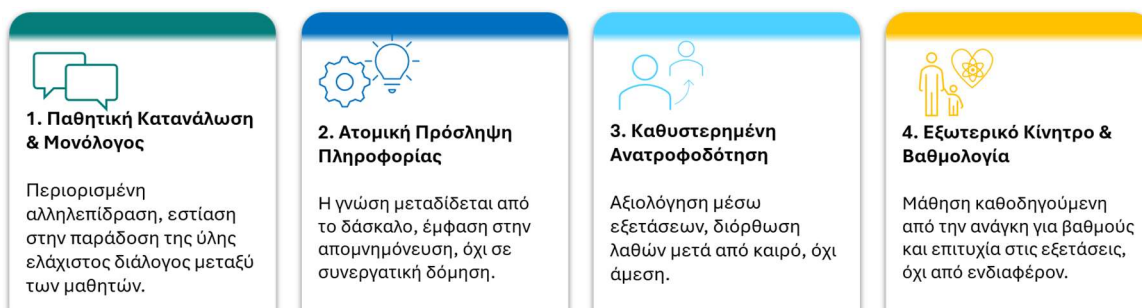
Συγκεντρωτικός Πίνακας Μεθοδολογικής Τριγωνοποίησης Ποσοτικών Δεικτών και Ποιοτικών Θεματικών Κατηγοριών

Τύπος / Όνομα Καναλιού	Κυρίαρχα Ποσοτικά Δεδομένα (Analytics)	Κυρίαρχες Ποιοτικές Κατηγορίες (Θεματική Ανάλυση Σχολίων)	Παιδαγωγική Σύνδεση και Θεωρητικό Υπόβαθρο
Εκλαϊκευμένη Επιστήμη (Astronio, Καθημερινή Φυσική, Kurzgesagt – In a Nutshell)	• Κορυφαίος Μ.Ο. προβολών (έως 17.7 εκατ. ανά βίντεο). • Εξαιρετικά υψηλοί δείκτες likes και σχολίων. • Μέγιστο ποσοστό διατήρησης προσοχής (Watchtime: 57,3% στην Καθημερινή Φυσική).	• Έναυσμα εγγενούς μαθησιακής περιέργειας και διά βίου μάθησης. • Άμβλυνση του γνωστικού άγχους απέναντι στις επιστήμες. • Ίδρυση εικονικών κοινοτήτων και ασύγχρονου επιστημονικού διαλόγου.	• Mayer (2014): Πλήρης συμμόρφωση με την Αρχή της Συνάφειας και της Σήμανσης (flat design, απουσία οπτικού θορύβου). • Bates (2019): Ικανοποίηση κριτηρίων Students (συναισθηματική εμπλοκή) και Networking (κοινωνική δικτύωση).
Καταιγιστικό Animation (Crash Course Chemistry)	• Υψηλός Μ.Ο. προβολών. • Μεγάλος πλούτος και πυκνότητα μορφών οπτικοποίησης (7 διακριτές μορφές).	• Εμφάνιση του Φαινομένου της Παροδικής Πληροφορίας (Transient Information Effect). • Αναγκαιότητα για χειροκίνητο έλεγχο του ρυθμού μελέτης (pacing) μέσω συχνών παύσεων (prause). • Γνωστικό χάσμα κατά τη μετάβαση από το εννοιολογικό στο αλγοριθμικό επίπεδο ασκήσεων.	• Mayer (2014): Παραβίαση της Αρχής της Κατάταξης λόγω ταχύτητας. Ανάγκη για Pre-training (προετοιμασία). • Sweller (1988, 2010): Υπερφόρτωση της περιορισμένης χωρητικότητας της εργαζόμενης μνήμης.
Τυπική Εκπαίδευση / Αποθετήρια (Σχολική Χημεία, Khan Academy / Greek)	• Χαμηλός Μ.Ο. προβολών και εξαιρετικά περιορισμένη διάδραση (1 σχόλιο ανά βίντεο). • Ανατροπή ηλικιακών ομάδων: Κυριαρχία ηλικιών 35-54 (70% του συνολικού κοινού).	• Χρησιμοθηρική, εξετασιοκεντρική προσέγγιση. • Αντισταθμιστικός ρόλος κάλυψης σχολικών κενών. • Απόλυτη ανάγκη για θεσμική εγκυρότητα μέσω προσκόλλησης στο σχολικό βιβλίο. • Πρόσβαση με	• Mayer (2014): Αξιοποίηση της Αρχής της Τροπικότητας και της Φωνής μέσω μινιμαλιστικού screencasting. • Bates (2019): Εστίαση αποκλειστικά στο Teaching Functions (διαδικαστική γνώση).

		διαμεσολάβηση μέσω γονέων/εκπαιδευτικών.	Δομικό έλλειμμα Social Presence και Interaction.
Αυθεντική Καταγραφή (Periodic Videos)	- Μέγιστος πλούτος οπτικοποίησης (8 μορφές αναπαράστασης). - Σταθερά υψηλός και ισορροπημένος Μ.Ο. θεάσεων.	- Ανάδειξη της αυθεντικότητας, του πειράματος και της ζωντανής επιστημονικής μεθόδου (science in action). - Ψηφιακή υποκατάσταση του σχολικού εργαστηρίου με απόλυτη ασφάλεια και εκμηδένιση του κόστους αναλωσίμων. - Μεταγνωστικοί οραματισμοί για την εφαρμογή του μοντέλου της Αντεστραμμένης Τάξης (Flipped Classroom).	- Mayer (2014): Αξιοποίηση της καθοδηγούμενης προσοχής μέσω της φυσικής παρουσίας των επιστημόνων. - Bates (2019): Υποδειγματική κάλυψη των κριτηρίων Costs (κόστος) και Security/Safety (ασφάλεια).



Σχήμα 3.6 Διαγραμματική Απεικόνιση του τρόπου που τα Κανάλια Επικοινωνίας της Επιστήμης, μετεξελίσσονται σε Δυναμικές Κοινότητες Διερεύνησης



Σχήμα 3.7 Διαγραμματική Απεικόνιση του τρόπου που τα Κανάλια Τυπικής Εκπαίδευσης / Αποθετήρια δεν μετεξελίσσονται σε Δυναμικές Κοινότητες Διερεύνησης

4. Συμπεράσματα και Συζήτηση

Η παρούσα εργασία επιχείρησε να διερευνήσει τη συμβολή της δυναμικής οπτικοποίησης στον σχεδιασμό εκπαιδευτικού υλικού για τη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών στην εξΑΕ. Η έρευνα αναπτύχθηκε γύρω από μελέτες περίπτωσης οκτώ δημοφιλών ελληνικών και διεθνών εκπαιδευτικών καναλιών της πλατφόρμας YouTube, έχοντας ως στόχο να αναδείξει τις βέλτιστες πρακτικές που ενισχύουν την εμπλοκή των μαθητών και προστατεύουν το γνωστικό τους φορτίο από την υπερφόρτωση (Mayer, 2009). Στο θεωρητικό μέρος της εργασίας εξετάστηκαν η μετάβαση σε σύγχρονα και ασύγχρονα περιβάλλοντα μάθησης για τις Θετικές Επιστήμες, καθώς και η οργανική σύζευξη δύο κορυφαίων θεωρητικών πλαισίων: της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης του Richard Mayer (2009) και του μοντέλου SECTIONS του Tony Bates (2015). Παράλληλα, παρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά και τα εκπαιδευτικά οφέλη των δημοφιλέστερων μορφών δυναμικής οπτικοποίησης, όπως τα κινούμενα σχέδια, οι γραφικές αναπαραστάσεις δεδομένων, τα μοντέλα προσομοίωσης και οι τεχνολογίες ψηφιακού πίνακα (Agustian & Seery, 2017; Beheshti et al., 2018), οι παιδαγωγικές θεωρίες που υποστηρίζουν την αξιοποίησή τους στην εκπαίδευση, καθώς και ο ρόλος του YouTube και των Μέσων Κοινωνικής Δικτύωσης ως ισχυρών εργαλείων άτυπης μάθησης και επικοινωνίας της επιστήμης (Lijo et al., 2024; Smith, 2014).

Το ερευνητικό μέρος της μελέτης βασίστηκε στο συνδυασμό ποσοτικών και ποιοτικών μεθόδων συλλογής δεδομένων, με στόχο την πληρέστερη διερεύνηση του υπό μελέτη φαινομένου και την ενίσχυση της εγκυρότητας των ευρημάτων μέσω τριγωνοποίησης των δεδομένων (Creswell & Creswell, 2017). Συγκεκριμένα, η ποσοτική διάσταση της έρευνας υλοποιήθηκε μέσω της συστηματικής καταγραφής των δημόσιων στατιστικών δεικτών (analytics) του YouTube και της άντλησης εξειδικευμένων ιδιωτικών δεδομένων παρασκήνιου (backend metrics / watchtime) (Giannakos et al., 2015; Shoufan, 2019), ενώ η ποιοτική διάσταση επικεντρώθηκε στη Θεματική Ανάλυση (Thematic Analysis) του ψηφιακού λόγου των χρηστών και της ανατροφοδότησής τους (feedback) μέσα από τα σχόλια των βίντεο (Braun & Clarke, 2006). Μέσα από την ανάλυση των ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων επιδιώχθηκε να απαντηθούν τρία ερευνητικά ερωτήματα: Το πρώτο αφορούσε τον τρόπο με τον οποίο τα δομικά και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των καναλιών (όπως η μορφή οπτικοποίησης, το θεματικό εύρος και η

διάρκεια των βίντεο) επηρεάζουν τους δείκτες δημόσιας εμπλοκής και τη διατήρηση της προσοχής του κοινού (watchtime), το δεύτερο αφορούσε τον βαθμό ενσωμάτωσης των αρχών της πολυμεσικής μάθησης του Mayer στα κανάλια, και πώς αυτό αντανακλάται στα σχόλια των μαθητών αναφορικά με τη γνωστική υπερφόρτωση (Mayer, 2009) και το τρίτο αφορούσε τη συνολική αποτίμηση της παιδαγωγικής και τεχνολογικής καταλληλότητας των ψηφιακών μέσων για την εξ αποστάσεως εκπαίδευση, βάσει των αξόνων του μοντέλου SECTIONS (Bates, 2015)

4.1 Συμπεράσματα Πρώτου Ερευνητικού Ερωτήματος

Εστιάζοντας στο πρώτο ερευνητικό ερώτημα, η παρούσα ανάλυση επιχειρεί να αποσαφηνίσει τη σχέση ανάμεσα στα δομικά χαρακτηριστικά των εκπαιδευτικών πόρων και στη συμπεριφορά των χρηστών. Τα ευρήματα που προκύπτουν αποτυπώνουν με σαφήνεια πώς η σχεδιαστική προσέγγιση και η χρονική διάρκεια των βίντεο καθορίζουν τη δυναμική της ασύγχρονης θέασης.

Πώς επηρεάζουν τα δομικά και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά (μορφή οπτικοποίησης, θεματικό εύρος, διάρκεια βίντεο) των επιλεγμένων καναλιών τους δείκτες δημόσιας εμπλοκής (προβολές, likes, σχόλια) και διατήρησης προσοχής του κοινού (watchtime);

Η συστηματική ποσοτική και ποιοτική ανάλυση των επιλεγμένων καναλιών του YouTube επιτρέπει την εξαγωγή θεμελιωδών συμπερασμάτων αναφορικά με το πώς τα δομικά και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των ψηφιακών πόρων διαμορφώνουν τη συμπεριφορά κατανάλωσης, τη δημόσια εμπλοκή και τη διατήρηση της προσοχής των χρηστών. Τα ποσοτικά ευρήματα ανέδειξαν ένα βαθύ αριθμητικό χάσμα μεταξύ των καναλιών μαζικής παραγωγής, όπως το Khan Academy και των καναλιών επιλεκτικής παραγωγής υψηλής ποιότητας, όπως το Kurzgesagt – In a Nutshell και η Καθημερινή Φυσική. Το χάσμα αυτό δεν αποτελεί μια απλή τεχνική απόκλιση, αλλά αποτυπώνει δύο ριζικά διαφορετικές στρατηγικές εκπαιδευτικού σχεδιασμού με άμεσο αντίκτυπο στους δείκτες δημόσιας εμπλοκής (προβολές, likes, σχόλια) (Shoufan, 2019; Welbourne & Grant, 2016). Τα κανάλια που βασίζονται στο screen casting και τον ψηφιακό μαυροπίνακα καταφέρνουν να δημιουργήσουν εκτενή αποθετήρια γνώσης καλύπτοντας το σύνολο

σχεδόν της σχολικής ύλης, ωστόσο υστερούν δραστικά σε δείκτες διάδρασης και συναισθηματικής εμπλοκής, προσελκύοντας χρήστες αποκλειστικά υπό συνθήκες άμεσης εξεταστικής πίεσης (Lijo et al., 2024; Welbourne & Grant, 2016). Αντίθετα, τα κανάλια που επενδύουν σε προηγμένα vector animations και αφηγηματικά πλαίσια (storytelling) επιτυγχάνουν εξαιρετικά υψηλούς μέσους όρους προβολών και likes, μετατρέποντας την ασύγχρονη θέαση σε μια ελκυστική εμπειρία που καλλιεργεί την εγγενή παρακίνηση και την ανάγκη για διά βίου μάθηση (Fiallos, 2021; Otchie et al., 2020).

Η διερεύνηση της χρονικής διάρκειας των βίντεο σε σχέση με το μέσο ποσοστό προβολής (watchtime) προσέφερε μια σαφή εμπειρική και μαθηματική επιβεβαίωση της Αρχής της Κατάτμησης του Mayer (Mayer, 2014). Η υπεροχή της Καθημερινής Φυσικής, η οποία επιτυγχάνει μέσο ποσοστό προβολής 57,3% με βίντεο μέσης διάρκειας 12 λεπτών, έναντι του 45,8% του Astronio με βίντεο διάρκειας 42 λεπτών, αποδεικνύει ότι τα σύντομα και στοχευμένα ψηφιακά μηνύματα (microlearning) προστατεύουν το μνημονικό σύστημα των εκπαιδευόμενων από τη γνωστική κόπωση και την υπερφόρτωση πληροφοριών (Brame, 2016; Mayer, 2014). Στα μακροσκελή βίντεο που προσεγγίζουν τη διάρκεια μιας παραδοσιακής σχολικής διάλεξης, η πληροφορία καθίσταται παροδική (Transient Information Effect), καθώς οι νέες έννοιες που εισάγονται συνεχώς επικαλύπτουν τις προηγούμενες πριν ολοκληρωθεί η νοητική τους επεξεργασία και η εδραίωσή τους στη μακροπρόθεσμη μνήμη (Sweller, 2010). Το γεγονός ότι το Astronio διατηρεί ένα αξιοσημείωτο ποσοστό watchtime παρά τη μεγάλη διάρκεια των βίντεο, αποδίδεται στην υποδειγματική αξιοποίηση της Αρχής της Προσωποποίησης και της αφηγηματικής ροής, η οποία ενισχύει το συναισθηματικό κίνητρο του κοινού, αντισταθμίζοντας εν μέρει τη γνωστική υπερφόρτωση (Smith, 2013; Welbourne & Grant, 2016). Συνεπώς, για τον σχεδιασμό αποτελεσματικού ασύγχρονου υλικού στις Θετικές Επιστήμες, η βέλτιστη χρονική διάρκεια κυμαίνεται μεταξύ 6 και 15 λεπτών (Brame, 2016), ενώ εκτενέστερα επιστημονικά ζητήματα επιβάλλεται να κατατέμνονται σε μικρότερες, αυτόνομες υποενότητες οργανωμένες σε ψηφιακές λίστες αναπαραγωγής (playlists).

1.2 Συμπεράσματα Δεύτερου Ερευνητικού Ερωτήματος

Προσεγγίζοντας το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, η παρούσα ενότητα επιχειρεί να αποσαφηνίσει τον βαθμό ενσωμάτωσης των αρχών πολυμεσικής μάθησης του Mayer στα εξεταζόμενα κανάλια. Μέσα από την ποιοτική ανάλυση των σχολίων, αποτυπώνεται η άμεση επίδραση του ψηφιακού σχεδιασμού στη γνωστική επεξεργασία των μαθητών και στην ανάδυση φαινομένων γνωστικής υπερφόρτωσης.

Σε ποιο βαθμό τα εξεταζόμενα κανάλια ενσωματώνουν τις αρχές της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης του Mayer και πώς η σχεδιάσή τους αντανακλάται στην ποιοτική ανατροφοδότηση (σχόλια) των μαθητών αναφορικά με τη γνωστική υπερφόρτωση;

Η ποιοτική ανάλυση περιεχομένου των σχολίων των χρηστών αναδεικνύει τις «κρυφές πτυχές» της γνωστικής επεξεργασίας των εκπαιδευόμενων, προσφέροντας μια ξεκάθαρη αποτύπωση του τρόπου με τον οποίο οι αρχές της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης του Mayer (Mayer, 2014) και της Θεωρίας του Γνωστικού Φορτίου του Sweller (Sweller, 1988) εφαρμόζονται ή παραβιάζονται στην πράξη. Τα κανάλια που υιοθετούν έναν μινιμαλιστικό σχεδιασμό, όπως το Kurzgesagt – In a Nutshell, επιτυγχάνουν τη μέγιστη δυνατή συμμόρφωση με την Αρχή της Συνάφειας και την Αρχή της Σήμανσης. Αφαιρώντας κάθε περιττό οπτικό θόρυβο και ρεαλιστική λεπτομέρεια του φυσικού κόσμου, κατευθύνουν το οπτικό πεδίο και την προσοχή του μαθητή αποκλειστικά στα κρίσιμα στοιχεία του φαινομένου, μειώνοντας δραστικά το εξωγενές γνωστικό φορτίο και διευκολύνοντας την οργάνωση των πληροφοριών στη μνήμη εργασίας (Clark & Mayer, 2016; Sweller, 2010). Αντίστοιχα, τα κανάλια τυπικής εκπαίδευσης μέσω screencasting αξιοποιούν αποτελεσματικά την Αρχή της Τροπικότητας και της Φωνής, καθώς ο συνδυασμός της ανθρώπινης προφορικής αφήγησης με τη ζωντανή σχεδίαση συμβόλων επιτρέπει τη διπλή κωδικοποίηση της γνώσης χωρίς να επιβαρύνει το οπτικό κανάλι με περιττό γραπτό κείμενο (Bates, 1995).

Ωστόσο, η έρευνα ανέδειξε ότι ορισμένες σχεδιαστικές επιλογές προκαλούν έντονα φαινόμενα γνωστικής υπερφόρτωσης, με χαρακτηριστικότερο το παράδειγμα του CrashCourse Chemistry. Η ταυτόχρονη προβολή περίπλοκων, ταχύτατα εναλλασσόμενων γραφικών και ο καταγιστικός ρυθμός ομιλίας του παρουσιαστή παραβιάζουν την Αρχή της Κατάτμησης, εμποδίζοντας τη νοητική ενσωμάτωση της πληροφορίας πριν αυτή

εξαφανιστεί από την οθόνη (Mayer, 2014). Τα σχόλια των χρηστών αποκαλύπτουν ότι οι μαθητές αναγκάζονται να αναπτύξουν χειροκίνητους μηχανισμούς άμυνας, προβαίνοντας σε συχνές παύσεις και επαναλήψεις προκειμένου να ελέγξουν τον ρυθμό παρουσίασης και να προστατευτούν από τη γνωστική κόπωση (Sweller, 2010). Επιπλέον, διαπιστώνεται ένα σαφές γνωστικό χάσμα κατά τη μετάβαση από το εννοιολογικό στο αλγοριθμικό επίπεδο. Ενώ η δυναμική οπτικοποίηση υπερέχει στην περιγραφή των ποιοτικών και σωματιδιακών χαρακτηριστικών ενός φαινομένου, συχνά αποτυγχάνει να καθοδηγήσει τον μαθητή στην επίλυση σύνθετων στοιχειομετρικών και μαθηματικών υπολογισμών, αφήνοντας εννοιολογικά κενά που απαιτούν πρόσθετες γνωστικές «σκαλωσιές» (pre-training scaffolding) και στατικές διαφάνειες ανακεφαλαίωσης στο τέλος του ψηφιακού πόρου (Kuhlmann et al., 2024).

4.3 Συμπεράσματα Τρίτου Ερευνητικού Ερωτήματος

Όσον αφορά το τρίτο ερευνητικό ερώτημα, η παρούσα ενότητα αποσαφηνίζει την παιδαγωγική και τεχνολογική καταλληλότητα των οπτικοποιήσεων μέσα από το πρίσμα του μοντέλου SECTIONS. Η ανάλυση αποτυπώνει τις πολυδιάστατες παραμέτρους της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης, αναδεικνύοντας ανατρεπτικά δημογραφικά δεδομένα για τους χρήστες, αλλά και τη δυναμική των σχολίων ως χώρων αλληλεπίδρασης.

Πώς αποτιμάται η παιδαγωγική και τεχνολογική καταλληλότητα των δυναμικών οπτικοποιήσεων για την εξ αποστάσεως εκπαίδευση, βάσει των αξόνων του μοντέλου SECTIONS (Students, Ease of Use, Teaching Functions, Interaction), όπως αυτοί προκύπτουν από τη βιβλιογραφική διασταύρωση και τα δεδομένα των μελετών περίπτωσης;

Η αξιολόγηση του ψηφιακού υλικού υπό το πρίσμα του μοντέλου SECTIONS του A. W. Bates (Bates, 2019) επιτρέπει μια ολιστική αποτίμηση της καταλληλότητας του για την εξ αποστάσεως εκπαίδευση, συνθέτοντας τις παιδαγωγικές, τεχνολογικές και θεσμικές παραμέτρους. Στον άξονα των Μαθητών (Students), η δημογραφική ανάλυση κατέρριψε τη στερεοτυπική αντίληψη ότι οι έφηβοι αναζητούν αυτόνομα εκπαιδευτικά βίντεο στο

διαδίκτυο, αποκαλύπτοντας ένα αξιοσημείωτο ηλικιακό παράδοξο. Στα κανάλια τυπικής εκπαίδευσης, όπως το KhanAcademyGreek, το 70% του συνολικού κοινού ανήκει στις ηλικιακές ομάδες 35 - 54 ετών. Το εύρημα αυτό αποδεικνύει ότι οι έφηβοι μαθητές δεν πλοηγούνται αυτόνομα με δικούς τους λογαριασμούς, αλλά η πρόσβαση στο υλικό γίνεται με τη διαμεσολάβηση των γονέων που αναζητούν υποστήριξη για τα παιδιά τους, ή μάχιμων εκπαιδευτικών που δανείζονται επεξηγηματικά μοντέλα για τη διδασκαλία τους (Kohler & Dietrich, 2021; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022). Παράλληλα, η σύνθεση του φύλου εμφάνισε έντονη ανδρική κυριαρχία στα κανάλια άτυπης εκλαϊκευσης (έως 82%), ενώ κατέγραψε απόλυτη ισορροπία στα σχολικά κανάλια, επιβεβαιώνοντας ότι η ανάγκη για εξεταστική επιτυχία καθιστά τους ψηφιακούς πόρους πολύ πιο συμπεριληπτικούς και αντιπροσωπευτικούς του πραγματικού μαθητικού πληθυσμού.

Στους άξονες των Διδακτικών Λειτουργιών (Teaching Functions), της Αλληλεπίδρασης (Interaction) και της Δικτύωσης (Networking), η έρευνα ανέδειξε τη λειτουργία της ενότητας των σχολίων ως ενός αυτόνομου χώρου ομότιμης μάθησης (peer tutoring) και εικονικής Κοινότητας Διερεύνησης (Fiallos, 2021; Welbourne & Grant, 2016). Στα κανάλια εκλαϊκευμένης επιστήμης, τα σχόλια των χρηστών προκαλούν γνωστικές συγκρούσεις, θέτουν στοχαστικά ερωτήματα και επιτρέπουν σε έμπειρους χρήστες να προσφέρουν γνωστικές «σκαλωσιές» (scaffolding) σε νεότερους, όπως αποτυπώθηκε στο παράδειγμα της επεξήγησης των αριθμών οξείδωσης του μαγγανίου ή στην αναλογία για τη διάδοση του ήχου στη θάλασσα (Duboni & Tabak, 2020). Αντίθετα, στα μαζικά κανάλια-αποθετήρια εντοπίζεται ένα έντονο έλλειμμα αλληλεπίδρασης, καθώς η απουσία ανθρώπινης εικόνας μειώνει την αίσθηση της Κοινωνικής Παρουσίας, ενώ ο τεράστιος όγκος υλικού καθιστά αδύνατη την εποπτεία από τον δημιουργό, αφήνοντας τις εννοιολογικές απορίες των μαθητών μετέωρες (Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022). Τέλος, στον άξονα του Κόστους (Costs) και της Ασφάλειας και Ιδιωτικότητας (Safety and Privacy), η αυθεντική βιντεοσκόπηση πειραμάτων, όπως στο Periodic Videos, αποδείχθηκε εξαιρετικά πολύτιμη, καθώς προσφέρει μια επαναχρησιμοποιήσιμη και οικονομικά βιώσιμη εναλλακτική λύση που υποκαθιστά το σχολικό εργαστήριο, επιτρέποντας την παρακολούθηση πειραμάτων υψηλού ρίσκου με απόλυτη ασφάλεια και εκμηδενίζοντας το κόστος των αναλωσίμων.

4.4 Προτάσεις για τη Συνέχεια της Έρευνας και τον Μελλοντικό Εκπαιδευτικό Σχεδιασμό

Τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας ανοίγουν νέους ορίζοντες και επιτρέπουν τη διατύπωση συγκεκριμένων, εφαρμόσιμων προτάσεων για τη συνέχεια της έρευνας και την αναβάθμιση του σχεδιασμού εκπαιδευτικού υλικού στα ψηφιακά περιβάλλοντα των Θετικών Επιστημών. Η πρώτη κεντρική πρόταση αφορά τη συστηματική μετάβαση από τη συγκριτική μέθοδο της παρούσας εργασίας προς τη θεσμοθέτηση μιας ολοκληρωμένης, τυποποιημένης μεθόδου αξιολόγησης της παιδαγωγικής και γνωστικής ποιότητας των δυναμικών οπτικοποιήσεων στην εξΑΕ (Creswell & Creswell, 2017). Η μελλοντική έρευνα μπορεί να αναπτύξει ένα έγκυρο διαγνωστικό εργαλείο, το οποίο θα βασίζεται στην επιχειρησιακή μεθοδικότητα των μεταβλητών μικρο-σχεδιασμού και μακρο-σχεδιασμού που εξετάστηκαν στην ανάλυση μελετών περιπτώσεων της παρούσας εργασίας (Kuhlmann et al., 2024; Shoufan, 2019). Η μέθοδος αυτή προτείνεται να δομηθεί γύρω από δύο κεντρικούς άξονες ποιοτικού ελέγχου, οι οποίοι θα μετατρέπουν τις θεωρητικές παραδοχές σε μετρήσιμα κριτήρια για τους δημιουργούς εκπαιδευτικού υλικού (Brame, 2016).

Ο πρώτος άξονας αυτού του προτεινόμενου εργαλείου αξιολόγησης πρέπει να επικεντρωθεί στις μεταβλητές μικρο-σχεδιασμού, ελέγχοντας τη γνωστική ποιότητα της οθόνης και του ήχου βάσει της ανθρώπινης γνωστικής αρχιτεκτονικής και των ορίων της μνήμης εργασίας (Chandler & Sweller, 1991). Συγκεκριμένα, η μέθοδος θα μετατρέπει σε λειτουργικά κριτήρια τις δώδεκα αρχές της Γνωστικής Θεωρίας της Πολυμεσικής Μάθησης του Mayer (Mayer, 2009), παρέχοντας μια κλίμακα αποτίμησης για την Αρχή της Συνάφειας και τον εντοπισμό ελκυστικών περισπασμών (seductive details), όπως η άσκοπη μουσική υπόκρουση και τα διακοσμητικά γραφικά, που επιβαρύνουν τους αρχάριους μαθητές (Ibrahim et al., 2012; Kohler & Dietrich, 2021). Παράλληλα, ο μικρο-σχεδιασμός θα αξιολογεί τη χρήση οπτικών και προφορικών σημάτων καθοδήγησης της προσοχής (Αρχή της Σήμανσης) (Mayer & Moreno, 2003), την αποφυγή του φαινομένου της διάσπασης προσοχής μέσω του ελέγχου της Αρχής του Πλεονασμού και της Τροπικότητας (Clark & Mayer, 2016; Sweller, 1988), καθώς και την ορθή συγχρονισμένη εμφάνιση των χημικών και μαθηματικών συμβόλων δίπλα στις αναπαραστάσεις του μικρόκοσμου, διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τις αρχές της χωρικής και χρονικής συνέχειας (Herrington & Sweeder, 2025; Mayer, 2009). Τέλος, ο άξονας αυτός θα περιλαμβάνει

κριτήρια για την Αρχή της Κατάτμησης σε αυτόνομα, σύντομα τμήματα (micro lectures) και την ύπαρξη κατάλληλης προετοιμασίας ορολογίας (pre-training Principle), ελέγχοντας παράλληλα τις μεταβλητές της Κοινωνικής Παρουσίας, δηλαδή τη χρήση συνομιλητικού ύφους (Personalization Principle) (Moreno & Mayer, 2000), τη φυσικότητα της ανθρώπινης φωνής και τη στρατηγική, μη παρεμβατική προβολή του προσώπου του διδάσκοντα στην οθόνη (Guo et al., 2014; Lowenthal et al., 2020; Scagnoli et al., 2017).

Ο δεύτερος άξονας του εργαλείου αξιολόγησης θα εστιάζει στις μεταβλητές μακρο-σχεδιασμού, μεταφράζοντας τις οκτώ παραμέτρους του μοντέλου SECTIONS του Bates σε λειτουργικά κριτήρια καταλληλότητας για τα συστήματα εξ αποστάσεως διδασκαλίας και μάθησης (Bates, 2015). Ο άξονας αυτός θα παρέχει δείκτες για την αξιολόγηση των αναγκών και του ψηφιακού γραμματισμού των Μαθητών (Students) (Harrison, 2020; Nielsen, 2020), της Ευκολίας Χρήσης (Ease of Use) αναφορικά με τη διαισθητική πλοήγηση και τη δυνατότητα ελέγχου του ρυθμού μέσω χρονικών σημάνσεων (Kay & Mann, 2022), καθώς και του Κόστους (Costs), προκρίνοντας βιώσιμα μοντέλα παραγωγής χαμηλού κόστους (Cresswell et al., 2019; Simo et al., 2010). Ιδιαίτερη βαρύτητα θα δίνεται στην αποτίμηση των Διδακτικών Λειτουργιών (Teaching Functions) και της Αλληλεπίδρασης (Interaction), ελέγχοντας αν ο ψηφιακός πόρος προάγει την ενεργητική γνωστική εμπλοκή (Gedera & Zalipour, 2018) και αν γεφυρώνει το εννοιολογικό με το αλγοριθμικό επίπεδο των Θετικών Επιστημών, ενώ παράλληλα θα εξετάζονται τα Οργανωτικά Θέματα (Organizational Issues), οι δυνατότητες κοινωνικής Δικτύωσης (Networking) για την ίδρυση εικονικών κοινοτήτων πρακτικής (Duboni & Tabak, 2020), καθώς και η Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα (Security and Privacy) αναφορικά με τα πνευματικά δικαιώματα (copyright) και τη θεσμική σταθερότητα των Ανοικτών Εκπαιδευτικών Πόρων (Lijo et al., 2024; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

Η δεύτερη πρόταση επικεντρώνεται στη δημιουργία ενός πρακτικού, βήμα προς βήμα οδηγού παραγωγής εκπαιδευτικών βίντεο, ειδικά σχεδιασμένου για καθηγητές Θετικών Επιστημών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης που επιθυμούν να αναπτύξουν το δικό τους σύγχρονο υλικό χαμηλού κόστους (Cresswell et al., 2019; Simo et al., 2010). Ο οδηγός αυτός οφείλει να μεταφράζει τις αφηρημένες πολυμεσικές θεωρίες σε εφαρμόσιμες τεχνικές προδιαγραφές, καθορίζοντας τον ιδανικό ρυθμό ομιλίας, τον τρόπο ενσωμάτωσης

οπτικών σημάτων καθοδήγησης της προσοχής, τη στρατηγική τοποθέτηση του προσώπου του εκπαιδευτικού μόνο κατά τις φάσεις της εισαγωγής και των εννοιολογικών μεταβάσεων, καθώς και τη μεθοδολογία για τη μετατροπή του παθητικού βίντεο σε διαδραστικό μέσω ανοικτών εργαλείων όπως το H5P (Box et al., 2017; Fernández et al., 2023; Gedera & Zalipour, 2018). Η καλλιέργεια αυτού του οπτικοακουστικού γραμματισμού θα ενισχύσει την αποτελεσματικότητα των καθηγητών, επιτρέποντάς τους να δημιουργούν σενάρια που ανταποκρίνονται στις πραγματικές ανάγκες των μαθητών τους, αποφεύγοντας τον τεχνικό εγκλωβισμό (Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

Η τρίτη αφορά την πρακτική υλοποίηση μιας σχεδιαστικής έρευνας με αντικείμενο την παραγωγή και τη συστηματική αξιολόγηση ενός πρωτότυπου, εκπαιδευτικού animated βίντεο για το μάθημα της Χημείας, ειδικά προσαρμοσμένου στο ελληνικό ψηφιακό οικοσύστημα του YouTube (Agustian & Seery, 2017; Brame, 2016). Το βίντεο αυτό θα αποτελέσει την έμπρακτη εφαρμογή του συνόλου των ευρημάτων της παρούσας εργασίας, συνδυάζοντας την αισθητική αφαίρεση του flat design για τη μείωση του εξωγενούς φορτίου (Mayer, 2014), την αυστηρή τήρηση της χρονικής και χωρικής συνάφειας κατά την παρουσίαση του υποατομικού επιπέδου της ύλης και την ενσωμάτωση μιας προσωποποιημένης αφήγησης που θα συνδέει τους χημικούς δεσμούς με καθημερινά φαινόμενα (Smith, 2013). Η μελλοντική ερευνητική καταγραφή της συμπεριφοράς θέασης (Learning analytics) (Giannakos et al., 2015) και η θεματική ανάλυση των σχολίων αυτού του βίντεο θα προσφέρουν πολύτιμα πρωτογενή δεδομένα για το πώς ο παιδαγωγικά ορθός σχεδιασμός μπορεί να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ της εξετασιοκεντρικής ανάγκης και της ελκυστικής μάθησης, αναβαθμίζοντας τη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών στην ψηφιακή εποχή (Shoufan, 2019; Παπαδημητρίου & Σοφός, 2022).

Βιβλιογραφία

- Abeysekera, L., & Dawson, P. (2015). Motivation and cognitive load in the flipped classroom: definition, rationale and a call for research. *Higher Education Research & Development*, 34(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/07294360.2014.934336>
- Abdelhamid, M., & Katz, A. (2021). Revolutionizing education: Unlocking the potential of asynchronous video for interactive online learning. *Journal of E-Learning and Higher Education*, 2021, 1–14. [https://doi.org/10.58557/\(ijeh\).v3i2.149](https://doi.org/10.58557/(ijeh).v3i2.149)
- Agustian, H. Y., & Seery, M. K. (2017). Reasserting the role of pre-laboratory activities in chemistry education: A proposed framework for their design. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 518-532. <https://doi.org/10.1039/C7RP00140A>
- Alksne, L. (2016). How to produce video lectures to engage students and deliver the maximum amount of information. *Proceedings of the International Scientific Conference*, (2), 503-516. <http://dx.doi.org/10.17770/sie2016vol2.1424>
- Allchin, D. (2017). Beyond the consensus view: Whole science. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 17(1), 18–26. <https://doi.org/10.1080/14926156.2016.1271921>
- Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556–559. <https://doi.org/10.1126/science.1736359>
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Bates, A. W. (1995). *Technology, open learning and distance education*. Routledge.
- Bates, A. W. (2015). *Teaching in a digital age: Guidelines for designing teaching and learning*. SFU Document Repository. <http://opentextbc.ca/teachinginadigitalage>
- Beheshti, M., Taspolat, A., Uzunboyly, H., & Karagozlu, D. (2018). Characteristics of instructional videos. *World Journal on Educational Technology: Current Issues*, 10(2), 79–87. <https://doi.org/10.18844/wjet.v10i2.3418>

- Bell, L., & Bull, G. L. (2010). Digital video and teaching. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 10(1), 1-6.
- Benedict, L., & Pence, H. E. (2012). Teaching chemistry using student-created videos and photo blogs accessed with smartphones and two-dimensional barcodes. *Journal of Chemical Education*, 89(4), 492–496. <https://doi.org/10.1021/ed2005399>
- Berk, R. A. (2009). Multimedia teaching with video clips: TV, movies, YouTube, and mtvU in the college classroom. *International Journal of Technology in Teaching and Learning*, 5(1), 1–21.
- Box, M. C., Dunnagan, C. L., Hirsh, L. A. S., Cherry, C. R., Christianson, K. A., Gibson, R. J., Wolfe, M. I., & Gallardo-Williams, M. T. (2017). Qualitative and quantitative evaluation of three types of student-generated videos as instructional support in organic chemistry laboratories. *Journal of Chemical Education*, 94(2), 164–170. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00451>
- Brame, C. J. (2016). Effective educational videos: Principles and guidelines for maximizing student learning from video content. *CBE—Life Sciences Education*, 15(2), es6. <https://doi.org/10.1187/cbe.16-03-0125>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Bravo, E., Amante, B., Simo, P., Enache, M., & Fernández, V. (2011). Video as a new teaching tool to increase student motivation. *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 638–642. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2011.5773205>
- Bruner, J. S. (1960). *The process of education*. Harvard University Press
- Burewicz, A., & Miranowicz, N. (2006). Effectiveness of multimedia laboratory instruction in chemistry teaching. *Journal of Science Education and Technology*, 15(1), 1–12. <https://doi.org/10.1039/B4RP90006E>
- Carmichael, M., Reid, A. K., & Karpicke, J. D. (2018). *Assessing the impact of educational video on student engagement, critical thinking and learning: The current state of play* (SAGE Whitepaper). SAGE Publishing.

- Černá, M., & Borkovcová, A. (2020). YouTube Dominance in Sustainability of Gaining Knowledge via Social Media in University Setting—Case Study. *Sustainability*, 12(21), 9126. <https://doi.org/10.3390/su12219126>
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293–332. https://doi.org/10.1207/s1532690xc0804_2
- Chaytor, J. L., Al Mughalaq, M., & Butler, H. (2017). Development and use of online prelaboratory activities in organic chemistry to improve students' laboratory experience. *Journal of Chemical Education*, 94(7), 859–866. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.6b00850>
- Cherif, A. H., Adams, G., & Movahedzadeh, F. (2014). College students' use of YouTube videos in learning biology and chemistry concepts. *Pinnacle Educational Research & Development*, 2(6), 334–347
- Chi, M. T. H., & Wylie, A. N. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219–243. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823>
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2016). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning* (4th ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119239086>
- Conde-Caballero, D., Ballesteros-Regaña, C., & Alonso-Díaz, L. (2024). Microlearning through TikTok in higher education: A study on student engagement and learning outcomes. *Computers & Education*, 210, Article 104921. https://doi.org/10.1007/s10639-023-11904-4?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Cresswell, S. L., Loughlin, W. A., Coster, M. J., & Green, D. M. (2019). Development and production of interactive videos for teaching chemical techniques during laboratory

- sessions. *Journal of Chemical Education*, 96(5), 1033–1036.
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.8b00647>
- DeVaney, T. A. (2009). Impact of video tutorials in an online educational statistics course. *MERLOT Journal of Online Learning and Teaching*, 5(4), 600–608.
http://jolt.merlot.org/vol5no4/devaney_1209.pdf
- Dori, Y. J., & Hameiri, M. (2003). Multidimensional analysis system for quantitative chemistry problems: Symbol, macro, micro, and process aspects. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(3), 278–302. <https://doi.org/10.1002/tea.10077>
- Dori, Y. J., Ngai, C., & Szteinberg, G. (Eds.). (2021). *Digital learning and teaching in chemistry*. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781839167942-00001>
- Drahl, C. (2010). Lights, camera, chemistry: Capturing procedures on video. *Chemical & Engineering News*, 88(6), 56–58.
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.4c00619>
- Dubovi, I., & Tabak, I. (2020). An empirical analysis of knowledge co-construction in YouTube comments. In *Proceedings of the 14th International Conference of the Learning Sciences (ICLS 2020)* (Vol. 1, pp. 326–333). International Society of the Learning Sciences. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103939>.
- Escamilla-Fajardo, P., Alguacil, M., & López-Carril, S. (2021). Incorporating TikTok in higher education: Pedagogical perspectives from a corporal expression sport sciences course. *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education*, 28, 100302. <https://doi.org/10.1016/j.jhlste.2021.100302>
- Evans, H. K., & Cordova, V. (2015). Lecture Videos in Online Courses: A Follow-Up. *Journal of Political Science Education*, 11(4), 472–482.
<https://doi.org/10.1080/15512169.2015.1069198>
- Fernández, A. A., López-Torres, M., Fernández, J. J., & Vázquez-García, D. (2023). Student-generated videos to promote understanding of chemical reactions. *Journal of Chemical Education*. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.2c00813>

- Fernández, V., Simo, P., Sallan, J. M., & Enache, M. (2023). Podcasting and video streaming to facilitate good practice in higher education. *Computers & Education*, 53(2), 385-392. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.02.014>
- Fiallos, A., Fiallos, C., & Figueroa, S. (2021). TikTok and Education: Discovering Knowledge through Learning Videos. *IEEE Ecuador Section*, 228-233. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG52154.2021.9530988>
- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2021). What works in multimedia learning: Principles for design. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Eds.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (3rd ed., pp. 233–249). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108894333.024>
- Fyfield, M., Henderson, M., & Phillips, M. (2021). Navigating four billion videos: teacher search strategies and the YouTube algorithm. *Learning, Media and Technology*, 46(1), 47–59. <https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1781890>
- Gallardo-Williams, M. T., Hineman, A. K., & Burgess, C. A. (2021). The effects of student-generated organic chemistry laboratory videos on students' perceptions and intrinsic motivation. *Journal of Chemical Education*, 97(11), 3982-3987. <https://doi.org/10.31756/jrmste.435>
- Gedera, D. S. P., & Zalipour, A. (2018). Use of interactive video for teaching and learning. In *ASCILITE 2018 Conference Proceedings* (pp. 362–367). Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education. <https://hdl.handle.net/10289/12216>
- Giamellaro, M., & Siegel, D. R. (2018). Coaching teachers to implement innovations in STEM. *Teaching and Teacher Education*, 76, 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2018.08.002>
- Giannakos, M. N., Chorianopoulos, K., & Chrisochoides, N. (2015). Making sense of video analytics: Lessons learned from clickstream interactions, attitudes, and learning outcome in a video-assisted course. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 16(2), 260–283. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v16i1.1976>

- Giannakos, M. N., Jaccheri, L., & Krogstie, J. (2015). How video usage styles affect student engagement? Implications for video-based learning environments. *Smart Learning Environments*, 3(1), 1-15. https://doi.org/10.1007/978-981-287-868-7_18
- Guo, P. J., Kim, J., & Rubin, R. (2014). How video production affects student engagement: An empirical study of MOOC videos. *Proceedings of the First ACM Conference on Learning @ Scale*, 41–50. <https://doi.org/10.1145/2556325.2566239>
- Harmer, N. J., & Hill, A. M. (2021). Unique data sets and bespoke laboratory videos: Teaching and assessing of experimental methods. *Journal of Chemical Education*, 98(12), 4094–4100. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.1c00853>
- Harrison, T. (2020). How distance education students perceive the impact of teaching videos on their learning. *Open Learning: The Journal of Open, Distance and e-Learning*, 35(3), 260–276. <https://doi.org/10.1080/02680513.2019.1702518>
- He, Y., Swenson, S., & Lents, N. (2012). Online video tutorials increase learning of difficult concepts in an undergraduate analytical chemistry course. *Journal of Chemical Education*, 89, 1128–1132. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed200685p>
- Herrington, D. G., & Sweeder, R. D. (2025). Is this a helpful YouTube video? A research-based framework for evaluating and developing conceptual chemistry instructional videos. *Journal of Chemical Education*, 102(1), 621–629. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01085>
- Herrington, D. G., & Sweeder, R. D. (2025). Unveiling cognitive qualities: Evaluating popular YouTube videos for physics and chemistry education. *Journal of Research in Science Teaching*, 62(1), 145-162. <https://doi.org/10.31681/jetol.1835750>
- Hibbert, M. (2014). What makes an online instructional video compelling? *EDUCAUSE Review*. <https://er.educause.edu/articles/2014/4/what-makes-an-online-instructional-video-compelling>
- Hsin, W., & Cigas, J.F. (2013). Short videos improve student learning in online education. *J. Comput. Sci. Coll.*, 28, 253-259. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2458569.2458622>

- Hubbard, B. A., Jones, G. C., & Gallardo-Williams, M. T. (2019). Student-generated digital tutorials in an introductory organic chemistry course. *Journal of Chemical Education*, 96(3), 597–600. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.8b00457>
- Hudson, R., & Luska, K. L. (2013). Recording tutorials to increase student use and incorporating demonstrations to engage live participants. *Journal of Chemical Education*, 90(4), 527–530. [dx.doi.org/10.1021/ed300497g](https://doi.org/10.1021/ed300497g)
- Ibrahim, M., Antonenko, P. D., Greenwood, C. M., & Wheeler, D. (2012). Effects of segmenting, signaling, and weeding on application and retention of science knowledge from video. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 21(3), 215–235. <https://doi.org/10.1080/17439884.2011.585993>
- Jackman, W. M. (2019). YouTube usage in the university classroom: An argument for its pedagogical benefits. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(3), 157–166. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i09.10475>
- Jordan, J. T., Box, M. C., Eguren, K. E., Parker, T. A., Saraldi-Gallardo, V. M., Wolfe, M. I., & Gallardo-Williams, M. T. (2016). Effectiveness of student-generated video as a teaching tool for an instrumental technique in the organic chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*, 93, 141–145. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.5b00354>
- Kanetaki, Z., Stergiou, C., Bekas, G., Jacques, S., Troussas, C., Sgouropoulou, C., & Ouahabi, A. (2022). Acquiring, analyzing and interpreting knowledge data for sustainable engineering education: An experimental study using YouTube. *Electronics*, 11(15), 2322. <https://doi.org/10.3390/electronics11142210>
- Kaplan, A. M., & Haenlein, M. (2016). Higher education and the digital revolution: About MOOCs, SPOCs, social media, and the Cookie Monster. *Business Horizons*, 59(4), 441–450. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2016.03.008>
- Kay, R. H., & Mann, A. (2022). Chapter 29: Effective video use in online learning. In *Handbook of Online Learning* (pp. 310–325). DOI: 10.51357/WFGH7740
- Kerres, M. (2018). *Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote* (5th ed.). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110456837>

- Kohler, S., & Dietrich, G. (2021). Potentials and limitations of educational videos on YouTube for science communication. *Frontiers in Communication*, 6, Article 613253. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2021.581302>
- Kuhlmann, S. L., et al. (2024). Students' active cognitive engagement with instructional videos. *Computers & Education*, 216, Article 105050. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.105050>
- Lage, M. J., Platt, G. J., & Treglia, M. (2000). Inverting the Classroom: A Gateway to Creating an Inclusive Learning Environment. *The Journal of Economic Education*, 31(1), 30–43. <https://doi.org/10.1080/00220480009596759>
- Lijo, R., Castro, J. J., & Quevedo, E. (2024). Comparing educational and dissemination videos in a STEM YouTube channel: A six-year data analysis. *Heliyon*, 10(3), e24856. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24856>
- Lijo, R., Quevedo, E., & Castro, J. J. (2024). The dual use of didactic videos in STEM education and dissemination: A survey-based analysis. *IEEE Transactions on Education*, 66(4), 312-321. <https://doi.org/10.1109/RITA.2024.3465020>
- Ljubojevic, M., Vaskovic, V., Stankovic, S., & Vaskovic, J. (2014). Using supplementary video in multimedia instruction as a teaching tool to increase efficiency of learning and quality of experience. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 15(3), 275-291. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v15i3.1825>
- Lowenthal, P., West, R., Archambault, L., & Borup, J. (2020, August). Engaging students through asynchronous video-based discussions in online courses. *EDUCAUSE Review*. <https://er.educause.edu/articles/2020/8/engaging-students-through-asynchronous-video-based-discussions-in-online-courses>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43–52. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_6

- Mohamed Taher, F., & Öncü, S. (2026). Unveiling cognitive qualities: Evaluating popular YouTube videos for physics education. *Journal of Educational Technology and Online Learning*, 9(1), 63–76. <https://doi.org/10.31681/jetol.1835750>
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2000). Engaging students in active learning: The case for personalized multimedia messages. *Journal of Educational Psychology*, 92(4), 724–733.
- Mthembu, S., & Roodt, S. (2017). Engaging the net generation via YouTube: An academic approach for undergraduate teaching. 2017 1st International Conference on Next Generation Computing Applications (NextComp), Mauritius, 2017, pp. 81-91, doi: 10.1109/NEXTCOMP.2017.8016180.
- Nielsen, K. L. (2020). Students' video viewing habits during a flipped classroom course in engineering mathematics. *Research in Learning Technology*, 28. <https://doi.org/10.25304/rlt.v28.2404>
- Otchie, W. O., Pedaste, M., Bardone, E., Chounta, I. A., Can YouTube videos facilitate teaching and learning of STEM subjects in high schools? (2020). Bulletin of the Technical Committee on Learning Technology, (ISSN: 2306-0212), Volume 20, Number 1, 3-8 (2020)
- Otchie, W. O., & Pedaste, M. (2020). Using Social Media for Learning in High Schools: A Systematic Literature review. *European Journal of Educational Research*, volume–9–2020(volume–9–issue–2–april–2020), 889–903. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.9.2.889>
- Pattier, D. (2021). Science on Youtube: Successful edutubers. *Techno Review. International Technology, Science and Society Review*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.37467/gka-revtechno.v10.2696>
- Priyakanth, R., Abburi, R., & Praveena, M. (2021). Design and Impact of Interactive Video Content for the Improvement of Student Engagement and Learning. *Journal of Engineering Education Transformations*. <https://doi.org/10.16920/jeet/2021/v34i0/157204>

- Rahmatika, R., Yusuf, M., & Agung, L. (2021). The effectiveness of Youtube as an online learning media. *Journal of Education Technology*, 5(1), 152–158. <https://doi.org/10.23887/jet.v5i1.33628>
- Reid, S. A. (2016). A flipped classroom redesign in general chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(4), 914–922. <https://doi.org/10.1039/C6RP00129G>
- Richards-Babb, M., et al. (2014). Video-based pre-lab instruction on college students' attitudes and achievement in organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(11), 1892-1899. <https://pubs.acs.org/toc/jceda8/91/11>
- Rodriguez-Berrios, R. R., Munoz-Hernandez, L., & Rivera-Gonzalez, U. (2025). Student-generated stop-motion videos for assessing reaction mechanisms in the laboratory of organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 102(2), 935–942. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.4c01020>
- Saldivar-A., M. M., & Flores-H., L. A. (2024). E-learning challenges in STEM education: A review of technological and pedagogical barriers. *Sustainability*, 16(2), Article 100487. <https://doi.org/10.3390/educsci14121370>
- Sams, A., & Bergmann, J. (2012). Flip your classroom: Reach every student in every class every day. International Society for Technology in Education (ISTE).
- Scagnoli, N. I., Choo, J., & Tian, J. (2017). Students' insights on the use of video lectures in online classes. *British Journal of Educational Technology*, 46(6), 1259-1275. <https://doi.org/10.1111/bjet.12572>
- Seery, M. K. (2015). Flipped learning in higher education chemistry: Emerging trends and potential directions. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(4), 758–768. <https://doi.org/10.1039/C5RP00136F>
- Sharmin N, Carbonaro M, Chow AK. Whiteboard animation: A potential teaching tool for health science education. *Can J Dent Hyg*. 2024 Oct 1;58(3):174-181. PMID: 39513094; PMCID: PMC11539945. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11539945/>

- Shoufan, A. (2019). Estimating the cognitive value of YouTube's educational videos: A learning analytics approach. *Computers in Human Behavior*, 92, 450–458. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.03.036>
- Shoufan, A., & Mohamed, F. (2022). YouTube and Education: A scoping review. *IEEE Access*, 10, 125576–125599. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3225419>
- Simo, P., Bravo, E., Fernandez, V., & Sallan, J. M. (2010). Video stream and teaching channels: Quantitative analysis of the use of low cost educational videos on the web. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 2937–2941. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.444>
- Smith, D. K. (2014). iTube, YouTube, WeTube: Social media videos in chemistry education and outreach. *Journal of Chemical Education*, 91, 1594–1599. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed400715s>
- Stieff, M., Werner, S. M., Fink, B., & Meador, D. (2018). Online prelaboratory videos improve student performance in the general chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*, 95, 1260–1266. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.8b00109>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Sweller J. Cognitive Load Theory: Recent Theoretical Advances. In: Plass JL, Moreno R, Brünken R, eds. *Cognitive Load Theory*. Cambridge University Press; 2010:29-47. DOI: 10.1017/CBO9780511844744.004
- Vygotsky, L. S. (1978). Mind in society: The development of higher psychological processes (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Eds.). Harvard University Press.
- Welbourne, D. J., & Grant, W. J. (2016). Science communication on YouTube: Factors that affect channel and video popularity. *Public Understanding of Science*, 25(6), 706–718. <https://doi.org/10.1177/0963662515572068>

Παπαδημητρίου, Σ., & Σοφός, Α. (2022). *Αξιοποίηση οπτικοακουστικών μέσων στο σύγχρονο σχολείο: Οδηγός για εκπαιδευτικούς*. Εθνικό Κέντρο Οπτικοακουστικών Μέσων και Επικοινωνίας - ΕΚΟΜΕ. ISBN: 978-618-85398-1-5.

Παράρτημα Α: Ποσοτικά Δεδομένα

Α.1 Συλλογή Analytics του καναλιού Astronio

Πίνακας Α.1.1 Δεδομένα Διάδρασης ανά Βίντεο

Comments	Likes	Views
660,00	13.158,00	207.029,00
300,00	5.261,00	81.434,00
605,00	11.171,00	197.332,00
253,00	6.078,00	88.397,00
339,00	10.197,00	187.486,00
274,00	9.279,00	156.807,00
614,00	11.027,00	174.407,00
234,00	5.714,00	120.887,00
403,00	8.084,00	178.701,00
489,00	10.396,00	189.886,00
220,00	7.536,00	150.572,00
728,00	7.254,00	481.140,00
512,00	4.206,00	125.366,00
428,00	8.364,00	193.172,00
735,00	17.191,00	532.425,00
554,00	10.087,00	455.962,00
251,00	9.292,00	176.781,00
952,00	14.458,00	546.566,00
258,00	8.454,00	177.994,00
257,00	7.912,00	169.801,00
1.626,00	12.512,00	458.744,00
2.166,00	12.300,00	305.719,00
211,00	7.021,00	171.803,00
762,00	14.152,00	367.962,00
93,00	2.579,00	40.202,00
156,00	6.394,00	103.998,00
227,00	8.423,00	231.689,00
304,00	6.176,00	123.685,00
591,00	9.146,00	161.054,00
686,00	8.725,00	179.879,00
133,00	2.756,00	61.483,00
741,00	12.769,00	337.981,00
262,00	7.110,00	134.968,00
300,00	8.683,00	160.728,00
331,00	10.532,00	302.975,00
244,00	8.451,00	164.297,00

1.498,00	15.074,00	340.570,00
358,00	7.453,00	144.473,00
814,00	13.028,00	330.656,00
1.132,00	13.265,00	434.552,00
898,00	14.630,00	400.775,00
555,00	11.731,00	303.901,00
2.304,00	45.025,00	586.205,00
726,00	15.211,00	464.993,00
1.302,00	21.148,00	1.158.814,0
805,00	9.662,00	455.939,00
515,00	11.543,00	360.535,00
616,00	11.519,00	318.268,00
876,00	12.145,00	348.647,00
514,00	11.299,00	329.415,00
1.201,00	12.560,00	194.132,00
511,00	12.922,00	360.099,00
186,00	4.497,00	81.612,00
744,00	12.287,00	369.267,00
490,00	9.293,00	232.587,00
659,00	13.212,00	409.302,00
552,00	11.790,00	315.629,00
998,00	13.491,00	384.298,00
559,00	12.045,00	351.924,00
510,00	12.543,00	330.177,00
566,00	10.962,00	307.631,00
1.653,00	14.393,00	445.304,00
249,00	2.843,00	31.407,00
393,00	11.085,00	352.311,00
290,00	4.316,00	70.307,00
752,00	17.407,00	561.706,00
409,00	8.383,00	217.294,00
143,00	2.199,00	145.113,00
998,00	21.992,00	712.396,00
544,00	12.557,00	386.927,00
264,00	5.692,00	143.981,00
588,00	11.006,00	614.285,00
304,00	8.066,00	141.896,00
383,00	10.986,00	197.227,00
298,00	11.416,00	231.811,00

514,00	14.279,00	401.899,00
627,00	13.352,00	241.359,00
555,00	12.124,00	240.854,00
370,00	7.032,00	344.499,00
555,00	15.057,00	296.809,00
812,00	13.528,00	354.607,00
1.285,00	14.493,00	396.542,00
732,00	13.288,00	298.929,00
606,00	12.745,00	290.946,00
374,00	5.266,00	68.747,00
531,00	11.198,00	207.520,00
419,00	11.511,00	461.030,00
1.758,00	23.370,00	811.017,00
1.446,00	13.895,00	332.072,00
614,00	18.087,00	705.064,00

2.698,00	33.040,00	908.521,00
779,00	17.134,00	601.001,00
105,00	5.842,00	178.526,00
524,00	8.310,00	292.437,00
2.154,00	34.261,00	1.412.183,0
446,00	12.984,00	527.764,00
278,00	11.227,00	375.190,00
Μέσοι Όροι		
651,94	11.603,58	321.785,51
Comments	Likes	Views

Πίνακας Α.1.2 Θεματολογίες και πλήθος βίντεο ανά θεματολογία

Θεματολογίες (7)	Πλήθος Βίντεο ανά Θεματολογία
Αστρονομία - Ουράνια Σώματα	31
Μυστήρια του Διαστήματος	21
Διαστημικά Νέα	10
Φιλοσοφικές Σκέψεις και Ανατροφοδότηση	31
Συνεντεύξεις	7
Ζωντανές Συνδέσεις	34
Αστροβιολογία	9

Πίνακας Α.1.3 Κυρίαρχες Οπτικοποιήσεις

Οπτικοποιήσεις
βίντεο που παίζουν όσο γίνεται η αφήγηση
Μοντέλα Προσομοίωσης
γραφήματα
φωτογραφίες

Α.2 Συλλογή Analytics του καναλιού Καθημερινή Φυσική

Πίνακας Α.2.1 Δεδομένα Διάδρασης ανά Βίντεο

Comments	Likes	Views
66,00	3.247,00	125.412,00
33,00	2.258,00	91.170,00
215,00	3.473,00	140.594,00
51,00	1.856,00	76.176,00
47,00	1.950,00	65.902,00
40,00	2.574,00	97.400,00
82,00	3.664,00	123.190,00
276,00	5.570,00	217.227,00

225,00	8.247,00	303.202,00
205,00	7.211,00	270.167,00
237,00	13.031,00	647.067,00
108,00	6.316,00	213.472,00
99,00	2.286,00	72.356,00
284,00	8.065,00	285.106,00
664,00	17.637,00	650.625,00
331,00	9.724,00	357.567,00
663,00	5.986,00	192.874,00
147,00	5.851,00	210.981,00
1.069,00	40.315,00	1.744.524,00

707,00	17.403,00	751.734,00
548,00	16.166,00	705.475,00
635,00	10.903,00	369.250,00
612,00	11.273,00	328.726,00
315,00	12.539,00	289.003,00
866,00	2.504,00	47.364,00
407,00	12.860,00	434.286,00
92,00	2.028,00	67.804,00
580,00	14.426,00	446.407,00
694,00	20.303,00	692.627,00
1.084,00	41.841,00	1.842.125,00
481,00	10.663,00	355.174,00
1.367,00	32.357,00	1.116.421,00
1.009,00	20.903,00	888.171,00
436,00	8.820,00	298.613,00
1.441,00	19.772,00	1.079.600,00
1.182,00	27.004,00	757.183,00
606,00	15.793,00	506.592,00
313,00	10.756,00	253.704,00
745,00	14.538,00	477.361,00
95,00	4.397,00	126.446,00
782,00	19.424,00	356.374,00
415,00	12.017,00	389.918,00
2.031,00	32.308,00	683.860,00
461,00	12.828,00	353.802,00
587,00	14.489,00	349.799,00
122,00	5.571,00	106.039,00
623,00	15.875,00	358.446,00

556,00	11.132,00	247.038,00
737,00	27.532,00	792.679,00
535,00	13.143,00	271.010,00
370,00	16.437,00	355.414,00
449,00	15.481,00	432.040,00
611,00	14.113,00	322.948,00
1.323,00	18.273,00	314.459,00
750,00	16.463,00	411.413,00
184,00	8.746,00	133.086,00
323,00	10.318,00	145.318,00
269,00	8.657,00	97.471,00
283,00	9.144,00	190.009,00
284,00	14.407,00	307.819,00
81,00	5.460,00	107.440,00
335,00	12.702,00	233.811,00
463,00	8.849,00	147.482,00
234,00	7.424,00	140.261,00
91,00	3.165,00	49.072,00
513,00	10.628,00	209.691,00
577,00	11.737,00	223.046,00
1.860,00	8.542,00	101.016,00
562,00	11.137,00	217.773,00
162,00	5.815,00	85.917,00
458,00	7.718,00	117.005,00
Μέσοι Όροι		
508,28	12.197,82	365.782,17
Comments	Likes	Views

Πίνακας Α.2.2 Θεματολογίες και πλήθος βίντεο ανά θεματολογία

Θεματολογίες (6)	Πλήθος Βίντεο
Βιολογία	8
Φυσική	42
Χημεία	9
Συζήτηση	3
Οικονομικά - Μαθηματικά	5
Επιστημολογία - Φιλοσοφία - Κοινωνιολογία	10

Πίνακας Α.2.3 Κυρίαρχες Οπτικοποιήσεις

Οπτικοποιήσεις
βίντεο που παίζουν όσο γίνεται η αφήγηση
σκίτσο
γραφήματα
κείμενο πάνω στην βιντεοσκόπηση

κινούμενο σχέδιο μικρού μήκους
κινούμενο σχέδιο πάνω στη βιντεοσκόπηση

Α.3 Συλλογή Analytics του καναλιού Σχολική Χημεία

Πίνακας Α.3.1 Δεδομένα Διάδρασης ανά Βίντεο

Γενική Χημεία	Views	Likes	Σχόλια
ΧΗΜΕΙΑ Γ ΛΥΚΕΙΟΥ ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΗ ΜΕΡΟΣ 1	11.557,00	251,00	10,00
ΧΗΜΕΙΑ Γ ΛΥΚΕΙΟΥ ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΗ ΜΕΡΟΣ 2	6.865,00	133,00	10,00
ΧΗΜΕΙΑ Γ ΛΥΚΕΙΟΥ ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΗ ΜΕΡΟΣ 3	2.676,00	52,00	3,00
ΧΗΜΕΙΑ Γ ΛΥΚΕΙΟΥ ΘΕΡΜΟΧΗΜΕΙΑ	7.635,00	154,00	3,00
ΧΗΜΕΙΑ Γ ΛΥΚΕΙΟΥ ΧΗΜΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ 1- ΘΕΩΡΙΑ	15.896,00	286,00	10,00
ΧΗΜΕΙΑ Γ ΛΥΚΕΙΟΥ ΧΗΜΙΚΗ ΚΙΝΗΤΙΚΗ 2- ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ-ΑΣΚΗΣΕΙΣ	10.166,00	200,00	4,00
ΧΗΜΕΙΑ Γ ΛΥΚΕΙΟΥ -ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ 3	6.725,00	130,00	2,00
ΧΗΜΕΙΑ Γ ΛΥΚΕΙΟΥ- ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ 2	13.539,00	295,00	7,00
ΧΗΜΕΙΑ Γ ΛΥΚΕΙΟΥ ΙΟΝΤΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ 1	12.567,00	289,00	10,00
ΧΗΜΕΙΑ Γ ΛΥΚΕΙΟΥ ΙΟΝΤΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ 2	4.447,00	95,00	0,00
ΧΗΜΕΙΑ Α ΛΥΚΕΙΟΥ ΔΟΜΙΚΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΤΗΣ ΥΛΗΣ	5.708,00	91,00	5,00
ΧΗΜΕΙΑ Α ΛΥΚΕΙΟΥ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ 1 (ΘΕΩΡΙΑ)	10.262,00	131,00	4,00
ΧΗΜΕΙΑ Α ΛΥΚΕΙΟΥ ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΗΜΙΚΟ ΔΕΣΜΟ	7.036,00	129,00	8,00
ΧΗΜΕΙΑ Α ΛΥΚΕΙΟΥ ΙΟΝΤΙΚΟΣ & ΟΜΟΙΟΠΟΛΙΚΟΣ ΔΕΣΜΟΣ	11.200,00	199,00	9,00
ΧΗΜΕΙΑ Α ΛΥΚΕΙΟΥ – ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1.672,00	30,00	1,00
ΧΗΜΕΙΑ Α ΛΥΚΕΙΟΥ – ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ 2 – ΑΠΛΗΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	1.474,00	23,00	0,00
ΧΗΜΕΙΑ Α ΛΥΚΕΙΟΥ – ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ 3 – ΜΕΤΑΛΛΟ + ΟΞΥ	1.181,00	23,00	1,00
ΧΗΜΕΙΑ Α ΛΥΚΕΙΟΥ – ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ 4 – ΜΕΤΑΛΛΟ + ΝΕΡΟ	1.309,00	10,00	0,00
ΧΗΜΕΙΑ Α ΛΥΚΕΙΟΥ – ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ 5 – ΔΙΑΠΗΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	3.155,00	22,00	0,00
ΧΗΜΕΙΑ Α ΛΥΚΕΙΟΥ – ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ 6 – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	2.272,00	25,00	0,00
ΔΙΑΜΟΡΙΑΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ	23.401,00	603,00	45,00
ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ (Γ ΛΥΚΕΙΟΥ)	3.172,00	84,00	5,00
ΘΕΡΜΟΧΗΜΕΙΑ (Γ ΛΥΚΕΙΟΥ) ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑ	7.486,00	182,00	0,00
Αντιδράσεις προσθήκης	1.771,00	42,00	1,00
Αντιδράσεις απόσπασης	1.050,00	21,00	3,00
Αντιδράσεις υποκατάστασης	4.193,00	98,00	9,00
ΚΑΡΒΟΞΥΛΙΚΑ ΟΞΕΑ	2.657,00	48,00	4,00
ΧΗΜΕΙΑ Γ ΛΥΚΕΙΟΥ ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ 1 (διορθωμένο)	10.980,00	296,00	9,00
Αριθμός οξείδωσης- Η γλώσσα της Χημείας- μέρος 1ο	5.909,00	141,00	8,00
Αριθμός οξείδωσης- Η γλώσσα της Χημείας- μέρος 2ο	3.981,00	88,00	3,00
ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ	3.726,00	86,00	3,00

Τροχιακό Κβαντικοί αριθμοί	12.147,00	305,00	8,00
Ορισμός και πλήθος οργανικών ενώσεων	774,00	25,00	0,00
Ταξινόμηση οργανικών ενώσεων	1.551,00	35,00	3,00
Αρχές δόμησης πολυηλεκτρονιακών ατόμων	6.213,00	201,00	8,00
Ονοματολογία άκυκλων οργανικών ενώσεων	1.634,00	26,00	3,00
Ομόλογες σειρές	1.793,00	34,00	2,00
Μεταβολή ορισμένων περιοδικών ιδιοτήτων	4.005,00	92,00	17,00
Δομή Περιοδικού Πίνακα τομείς s, p, d, f, στοιχεία μετάπτωσης	10.013,00	218,00	23,00
ΧΗΜΕΙΑ Α ΛΥΚΕΙΟΥ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ 1 (ΘΕΩΡΙΑ)	1.819,00	24,00	0,00
Σχετική ατομική μάζα -Σχετική μοριακή μάζα	2.564,00	53,00	1,00
Συγκέντρωση-Molarity	1.493,00	29,00	1,00
Θεωρία διαλυμάτων και % περιεκτικότητα	1.681,00	49,00	3,00
Διαλυτότητα	4.520,00	95,00	4,00
Εφαρμογές στην περιεκτικότητα και την διαλυτότητα	3.867,00	73,00	0,00
Βασικές έννοιες για τους χημικούς υπολογισμούς: mol, αριθμός Avogadro, γραμμομοριακός όγκος	4.851,00	115,00	1,00
Αραίωση Συμπύκνωση Ανάμειξη διαλυμάτων	9.690,00	182,00	5,00
Καταστατική εξίσωση των αερίων	3.345,00	82,00	8,00
Στοιχειομετρικοί υπολογισμοί	5.643,00	95,00	1,00
Ασκήσεις καύσης	4.176,00	87,00	4,00
Μέσοι Όροι			
	5.748,94	121,54	5,38
	Views	Likes	Σχόλια

↓ Πίνακας A.3.2 Θεματολογίες και πλήθος βίντεο ανά θεματολογία

Θεματολογίες (1)	Πλήθος Βίντεο	Οπτικοποιήσεις
Χημεία	50	Μαυροπίνακας
		σκίτσο
		γραφήματα
		φωτογραφίες

Πίνακας A.2.3 Κυρίαρχες Οπτικοποιήσεις →

A.4 Συλλογή Analytics του καναλιού KhanAcademyGreek

Πίνακας A.4.1 Δεδομένα Διάδρασης ανά Βίντεο

Γενική Χημεία	Views	Likes	Σχόλια
Εισαγωγή στο άτομο	12.487,00	109,00	2,00
Στοιχεία και άτομα	9.491,00	87,00	0,00
Τροχιακά	22,65	325,00	12,00
Τροχιακά 2	11.030,00	157,00	0,00
Ηλεκτρονική δομή	8.327,00	88,00	1,00
Ηλεκτρονική δομή 2	6.542,00	77,00	4,00
Ισοστάθμισης χημικών εξισώσεων	3.477,00	29,00	0,00
Ισοσταθμίση πιο συνθετων Χημικών Εξισώσεων	5.533,00	47,00	2,00

Οπτική κατανόηση ισοσταθμικής αντιδράσεων	751,00	3,00	0,00
Ισοστάθμιση μιας άλλης αντίδρασης καύσης	1.527,00	16,00	0,00
Ισοστάθμιση αντίδρασης με αντικατάσταση	953,00	8,00	0,00
pH ασθενών οξέων	4.695,00	47,00	0,00
Στοιχειομετρία	13.940,00	201,00	1,00
Στοιχειομετρία παράδειγμα - Πρόβλημα # 2	2.599,00	44,00	1,00
Περιοριστικό Αντιδραστήριο - Παράδειγμα Πρόβλημα #1	339,00	2,00	0,00
Εμπειρικός μοριακός και συντακτικός τύπος	6.418,00	71,00	3,00
Αντιδράσεις σε Ισορροπία	2.289,00	23,00	23,00
Κεq Διαίσθηση	406,00	5,00	0,00
Όξινες και Βασικές Ιδιότητες Διαλυμάτων Αλάτων	493,00	2,00	0,00
Αρχή Le Chatelier	1.595,00	31,00	2,00
pH Διαλυμάτων Αλάτων	667,00	8,00	0,00
Φασματοφωτομετρία Εισαγωγή	3.763,00	90,00	1,00
Φασματοφωτομετρία Παραδειγμα	3.622,00	59,00	1,00
Κβαντικοί Αριθμοί	3.128,00	71,00	0,00
Ιοντικοί, Ομοιοπολικοί και Μεταλλικοί Δεσμοί	7.186,00	121,00	0,00
Ενθαλπία	1.190,00	18,00	0,00
Θερμότητα Σχηματισμού	628,00	8,00	0,00
Νόμος του Hess και Αλλαγή Ενθαλπίας	680,00	9,00	1,00
Νόμος του Hess - Παράδειγμα	948,00	13,00	0,00
Αρχή της Αβεβαιότητας του Heisenberg	7.580,00	88,00	2,00
Κβαντικοί αριθμοί για τις τέσσερις πρώτες στιβάδες	7.140,00	94,00	0,00
θεωρία των Συγκρούσεων	1.909,00	26,00	0,00
Νόμοι ταχύτητας στοιχειωδών αντιδράσεων	526,00	5,00	1,00
Μηχανισμοί και καθοριστικό στάδιο αντίδρασης	921,00	10,00	0,00
Καταλύτες	1.063,00	10,00	0,00
Εισαγωγή στην Οξείδωση και Αναγωγή	4.541,00	63,00	0,00
Προσδιορισμός Αριθμών Οξείδωσης	1.652,00	28,00	1,00
Εισαγωγή στα Ρυθμιστικά Διαλύματα	1.813,00	20,00	1,00
Επίδραση Κοινού Ιόντος και Ρυθμιστικά Διαλύματα	4.070,00	54,00	6,00
Ρυθμιστικά Διαλύματα - Εξίσωση Henderson-Hasselbalch	4.297,00	63,00	2,00
Στοιχεία και άτομα	126,00	5,00	0,00
Khan Academy Μαθηματικά	69,00	0,00	0,00
Ιοντικοί δεσμοί και νόμος του Coulomb	114,00	2,00	0,00
Διάλυση και καθίζηση	130,00	3,00	0,00
Φάσμα εκπομπής υδρογόνου	979,00	15,00	0,00
Ηλεκτρικότητα	648,00	11,00	0,00
Τάσεις ατομικής ακτίνας στον Περιοδικό Πίνακα	237,00	4,00	0,00

Οξειδωτικοί και αναγωγικοί παράγοντες	165,00	6,00	0,00
Διαλύματα ισχυρών οξέων	21,00	1,00	0,00
Λυμένο παράδειγμα: Διάγραμμα Lewis του διφθοριούχου ξένου (XeF ₂)	26,00	1,00	0,00
Συντονισμός και δομές Lewis	272,00	4,00	0,00
Λυμένο παράδειγμα: Το διάγραμμα Lewis των ιόντων κυανίου (CN ⁻)	52,00	2,00	0,00
Η κινητική μοριακή θεωρία των αερίων	24,00	1,00	0,00
Μέσοι Όροι			
	2.888,71	43,11	1,26

↓ Πίνακας A.4.2 Θεματολογίες και πλήθος βίντεο ανά θεματολογία

Θεματολογίες (4)	Πλήθος Βίντεο
Φυσική	134
Χημεία	62
Μαθηματικά	126
Αστρονομία	8

↓ Πίνακας A.4.3 Κυρίαρχες Οπτικοποιήσεις

Οπτικοποιήσεις
Μαυροπίνακας
γραφήματα
φωτογραφίες

A.5 Συλλογή Analytics του καναλιού Periodic Videos

Πίνακας A.5.1 Δεδομένα Διάδρασης ανά Βίντεο

Πειράματα	Views	Likes	Σχόλια
Elephant's Toothpaste (slow motion)	294.806	7.200	471
Burning Iron in Liquid Oxygen	274.813	9.200	680
Looking at Mercury Vapour	227.810	6.600	409
Ultimate Jägerbomb	711.661	17.000	1.161
Cool Explosions and Bags of Hydrogen	127.410	3.800	233
Burning Ping Pong Balls	196.217	5.600	245
U-Tube on YouTube	453.271	5.900	448
Underwater Sodium	197.038	5.200	439
10-foot Barking Dog	286.101	7.600	345
Methane Explosion (SLOW MOTION)	140.166	2.900	142
Flesh-Eating Hydrofluoric Acid	5.495.257	69.000	4.737
Methane	278.917	4.000	336
Caesium or Cesium	797.385	5.300	638
Chemistry of Lunar Lift-Off	123.597	2.200	209
Rubidium	500.585	3.200	306
Hydrogen	2.557.546	16.000	1.191
Oxygen	1.765.718	15.000	1.345
Iron (version 1)	68.976	438	76
Sulfur	758.860	5.700	491
Potassium	1.396.658	6.900	622
Caesium or Cesium (version 2)	182.874	994	249

Nitrogen	455.275	2.100	182
Μέσοι Όροι			
	561.699	6.325	487
Ραδιενέργεια	Views	Likes	Σχόλια
REAL PLUTONIUM	12.189.989	99.000	8.680
How to make Plutonium	1.306.881	30.000	2.030
Thorium	1.048.412	23.000	1.408
Radon	946.572	14.000	889
Nuclear Lab (RADIOACTIVE)	760.036	11.000	462
Uranium	719.092	3.800	564
Americium	661.660	6.900	418
How to enrich Uranium	594.267	10.000	289
Naked Uranium	537.508	5.600	226
Strontium	498.716	5.700	154
How Plutonium got us to Pluto	425.427	9.300	708
Neptunium	397.562	4.600	190
Splitting atoms in the kitchen?	319.180	3.600	308
Nuclear Reactors in Japan	309.975	5.500	355
Magnetic Uranium	290.711	3.700	355
New Uranium Bond	273.552	5.100	386
The X-10 Nuclear Reactor	204.572	7.400	459
Radioactive Alcohol	163.848	2.200	138
Μέσοι Όροι			
	556.351	8.906	549
Γενικοί Μέσοι Όροι			
	Views	Likes	Comments
	559.025	7.616	518

Πίνακας Α.5.2 Θεματολογίες και πλήθος βίντεο ανά θεματολογία

Θεματολογίες (35)	Πλήθος Βίντεο
Πειράματα	33
Αλκάλια	20
Ευγενή Αέρια	10
Χημεία στα Πορτογαλικά	191
Εκπαιδευτικό Ταξίδι στη Σουηδία	7
Επιστημονικό Ταξίδι στην Αιθιοπία	6
Μοριακά Βίντεο	47
Τα Πάντα για το Καίσιο	6
Εκπαιδευτικό Ταξίδι στο Τορίνο	5
Χημικοί Ορισμοί	7
Ερωτήσεις του Κοινού	10
Εκπαιδευτικό Ταξίδι στη Βραζιλία	9

Εκπαιδευτικό Ταξίδι στην Αυστραλία	10
Παρουσίαση των 118 Χημικών Στοιχείων του Π.Π.	118
Χημικές Αντιδράσεις	25
Βραβεία Νόμπελ	22
Η Χημεία στο Halloween	8
Βίντεο για τον Χρυσό	13
Χημεία σε Αργή Κίνηση	19
Βίντεο για τον Λευκόχρυσο	10
Εκπαιδευτικό Ταξίδι στις Πυρηνικές Εγκαταστάσεις του Sellafield	4
Ραδιενέργεια	18
Βίντεο για το Αργύλιο	7
Εκπαιδευτικό Ταξίδι στην Ινδία	11
Βίντεο για το Μεθάνιο	5
Βίντεο για το Θείο	9
Η Χημεία στα Χριστούγεννα	12
Η Χημεία υπό Θερμική Κάμερα	7
Βίντεο στις Υπερακτινίδες	20
Εκπαιδευτικό Ταξίδι στη Ρωσία	5
Εκπαιδευτικό Ταξίδι στο Εθνικό Εργαστήριο του Oak Ridge	6
Ερωτήσεις με τον Καθηγητή	3
Οξεία	16
Ταξίδι στο GSI στη Γερμανία	8

Πίνακας Α.5.3 Κυρίαρχες Οπτικοποιήσεις

Οπτικοποιήσεις
Πειράματα
Πειράματα σε Αργή Κίνηση
Πειράματα με Θερμική Κάμερα
Παρουσίαση Πραγματικών αντικειμένων
γραφήματα
μοντέλα
φωτογραφίες
βίντεο που παίζουν όσο γίνεται η αφήγηση

Α.6 Συλλογή Analytics του καναλιού CrashCourse

Πίνακας Α.6.1 Δεδομένα Διάδρασης ανά Βίντεο

Χημεία	Views	Likes	Σχόλια
Preview	1.358.644,00	17.000,00	1.684,00
The Nucleus	7.955.871,00	94.000,00	5.967,00
Unit Conversion & Significant Figures	4.635.331,00	68.170,00	4.875,00

The Creation of Chemistry	2.933.814,00	33.991,00	1.740,00
The Periodic Table	8.479.800,00	88.025,00	3.179,00
The Electron	3.957.012,00	47.135,00	3.213,00
Stoichiometry - Chemistry for Massive Creatures	4.234.936,00	51.301,00	2.907,00
Water & Solutions - for Dirty Laundry	2.294.793,00	21.936,00	1.874,00
Acid-Base Reactions in Solution	3.584.212,00	34.698,00	2.167,00
Precipitation Reactions	2.323.393,00	22.204,00	1.056,00
Redox Reactions	3.543.842,00	40.731,00	2.243,00
How to Speak Chemistrian	1.762.492,00	22.749,00	1.483,00
The Ideal Gas Law	3.247.274,00	39.395,00	1.432,00
Ideal Gas Problems	1.192.378,00	14.281,00	9.58
Real Gases	970.381,00	13.019,00	747,00
Partial Pressures & Vapor Pressure	1.288.894,00	14.616,00	730,00
Passing Gases Effusion, Diffusion and the Velocity of a Gas	688.357,00	7.882,00	496,00
Energy & Chemistry	1.699.373,00	16.862,00	1.307,00
Enthalpy	2.923.960,00	34.671,00	1.327,00
Calorimetry	1.587.538,00	15.907,00	718,00
Entropy: Embrace the Chaos!	1.993.979,00	28.109,00	1.619,00
Lab Techniques & Safety	2.815.070,00	25.117,00	1.247,00
Atomic Hook-Ups - Types of Chemical Bonds	4.017.173,00	44.376,00	1.500,00
Polar & Non-Polar Molecules	4.564.252,00	47.966,00	1.877,00
Bonding Models and Lewis	2.555.282,00	28.124,00	1.022,00
Orbitals	3.436.940,00	49.112,00	1.843,00
Liquids	816.536,00	9.012,00	1.000,00
Solutions	1.536.127,00	15.145,00	539,00
Equilibrium	2.680.201,00	32.751,00	1.053,00
Equilibrium Equations	1.350.204,00	15.480,00	556,00
pH and pOH	2.304.859,00	25.130,00	1.116,00
Buffers, the Acid Rain Slayer	1.262.283,00	14.924,00	666,00
Kinetics: Chemistry's Demolition Derby	1.065.236,00	12.238,00	535,00
Doing Solids	908.613,00	8.531,00	583,00
Network Solids and Carbon	350.490,00	4.619,00	291,00
Silicon - The Internet's Favorite Element	385.684,00	6.230,00	474,00
Electrochemistry	2.363.273,00	27.283,00	867,00
The History of Atomic Chemistry	3.133.438,00	29.933,00	1.022,00
Nuclear Chemistry	2.158.539,00	21.113,00	1.094,00
Nuclear Chemistry Part 2	1.321.139,00	14.863,00	887,00
Hydrocarbon Power!	2.314.499,00	32.397,00	1.141,00
Alkenes & Alkynes	1.375.054,00	16.867,00	586,00
Aromatics & Cyclic Compounds	973.385,00	12.729,00	414,00
Hydrocarbon Derivatives	860.659,00	10.918,00	517,00

Nomenclature	1.845.042,00	21.257,00	912,00
Polymers	1.811.134,00	20.565,00	653,00
The Global Carbon Cycle	1.336.649,00	13.547,00	920,00
	Μέσοι Όροι		
	2.387.192,23	27.381,04	1.393,02
Φυσική	Views	Likes	Σχόλια
Preview	2.122.743,00	37.648,00	2.763,00
Motion in a Straight Line	5.562.675,00	76.092,00	4.171,00
Derivatives	2.040.069,00	29.836,00	2.155,00
Integrals	1.098.112,00	15.867,00	1.057,00
Vectors and 2D Motion	1.727.388,00	20.998,00	853,00
Newton's Laws	5.799.312,00	61.689,00	1.991,00
Friction	1.881.234,00	20.700,00	925,00
Uniform Circular Motion	2.059.918,00	26.494,00	842,00
Newtonian Gravity	1.358.422,00	16.073,00	719,00
Work, Energy and Power	3.334.591,00	41.089,00	1.215,00
Collisions	1.519.875,00	16.940,00	595,00
Rotational Motion	1.356.099,00	16.200,00	693,00
Torque	1.262.207,00	18.694,00	847,00
Statics	677.044,00	10.231,00	489,00
Fluids at Rest	1.125.966,00	17.555,00	495,00
Fluids in Motion	1.353.923,00	23.192,00	584,00
Simple Harmonic Motion	1.880.375,00	26.065,00	613,00
Traveling Waves	2.037.727,00	23.428,00	568,00
Sound	1.957.788,00	20.152,00	563,00
The Physics of Music	846.190,00	12.634,00	602,00
Temperature	518.668,00	6.965,00	282,00
Kinetic Theory and Phase Changes	577.931,00	6.907,00	327,00
The Physics of Heat	876.033,00	10.794,00	500,00
Thermodynamics	1.981.923,00	30.096,00	826,00
Engines	372.769,00	5.395,00	231,00
Electric Charge	2.783.957,00	36.436,00	848,00
Electric Fields	1.729.798,00	210.106,00	601,00
Voltage, Electric Energy and Capacitors	885.541,00	10.227,00	525,00
Electric Current	1.303.241,00	13.760,00	569,00
DC Resistors & Batteries	482.413,00	5.870,00	264,00
Circuit Analysis	1.142.180,00	15.874,00	595,00
Capacitors and Kirchhoff	434.890,00	5.535,00	215,00
Magnetism	2.159.235,00	27.296,00	872,00
Ampere's Law	677.130,00	10.608,00	282,00
Induction - An Introduction	1.084.075,00	14.746,00	542,00
How Power Gets to Your Home	315.445,00	4.378,00	296,00

AC Circuits	611.135,00	8.905,00	528,00
Maxwell's Equations	881.981,00	15.050,00	643,00
Geometric Optics	1.014.233,00	14.786,00	419,00
Light Is Waves	1.264.684,00	13.318,00	580,00
Spectra Interference	276.790,00	3.694,00	165,00
Optical Instruments	378.212,00	5.093,00	226,00
Special Relativity	1.390.141,00	27.290,00	1.291,00
Quantum Mechanics - Part 1	2.190.285,00	36.128,00	1.286,00
Quantum Mechanics - Part 2	540.464,00	9.968,00	435,00
Nuclear Physics	1.098.446,00	19.151,00	580,00
Astrophysics	668.454,00	16.612,00	576,00
	Μέσοι Όροι		
	1.460.461,96	23.756,70	792,43
Astronomy	Views	Likes	Σχόλια
Introduction to Astronomy	5.487.399,00	98.618,00	3.659,00
Naked Eye Observations	2.251.660,00	39.172,00	1.225,00
Cycles in the Sky	1.775.358,00	27.256,00	1.009,00
Moon Phases	4.082.425,00	44.874,00	1.700,00
Eclipses	2.063.368,00	21.956,00	1.170,00
Telescopes	1.694.401,00	23.889,00	792,00
The Gravity of the Situation	1.704.900,00	21.153,00	1.214,00
Tides	1.941.777,00	22.224,00	1.133,00
Introduction to the Solar System	2.286.438,00	24.468,00	1.049,00
The Sun	2.734.311,00	32.459,00	1.495,00
The Earth	1.714.577,00	20.067,00	1.311,00
The Moon	1.872.428,00	21.460,00	1.131,00
Mercury	1.646.862,00	19.382,00	748,00
Venus	1.811.309,00	19.883,00	1.125,00
Mars	1.446.934,00	18.459,00	865,00
Jupiter	1.996.567,00	23.857,00	982,00
Jupiter Moons	1.797.098,00	22.749,00	969,00
Saturn	1.620.933,00	22.325,00	1.121,00
Uranus & Neptune	2.094.521,00	24.465,00	1.740,00
Asteroids	1.313.964,00	15.842,00	690,00
Comets	1.155.137,00	14.382,00	519,00
The Oort Cloud	2.016.996,00	26.689,00	1.296,00
Meteors	1.074.047,00	13.181,00	506,00
Light	2.802.920,00	40.865,00	1.433,00
Distances	2.042.295,00	28.106,00	1.267,00
Stars	2.186.052,00	24.613,00	836,00
Exoplanets	1.481.519,00	18.309,00	706,00
Brown Dwarfs	1.507.839,00	23.008,00	1.113,00

Low Mass Stars	1.454.270,00	18.987,00	861,00
White Dwarfs & Planetary Nebulae	1.164.353,00	15.363,00	583,00
High Mass Stars	2.131.211,00	29.349,00	1.694,00
Neutron Stars	2.419.684,00	35.728,00	2.128,00
Black Holes	2.822.197,00	39.718,00	2.924,00
Binary and Multiple Stars	1.467.109,00	21.266,00	852,00
Star Clusters	1.026.151,00	14.482,00	634,00
Nebulae	1.177.297,00	17.356,00	805,00
The Milky Way	1.481.470,00	18.274,00	881,00
Galaxies, Part 1	1.699.596,00	19.092,00	792,00
Galaxies, Part 2	1.424.415,00	19.859,00	1.769,00
Gamma-Ray Bursts	1.247.624,00	19.906,00	1.114,00
Dark Matter	1.840.777,00	30.499,00	1.445,00
The Big Bang, Cosmology, Part 1	1.670.896,00	22.735,00	2.708,00
Dark Energy, Cosmology Part 2	1.184.133,00	18.149,00	1.383,00
A Brief History of the Universe	1.182.012,00	17.766,00	1.125,00
Deep Time	2.325.444,00	39.700,00	3.805,00
Everything, The Universe...And Life	990.836,00	26.955,00	3.124,00
	Μέσοι Όροι		
	1.876.380,65	25.628,15	1.335,46
	Γενικοί Μέσοι Όροι		
	Views	Likes	Comments
	1.908.011,61	25.588,63	1.173,63

Πίνακας Α.6.2 Θεματολογίες και πλήθος βίντεο ανά θεματολογία

Θεματολογίες (59)	Πλήθος Βίντεο
Επιστημονική Σκέψη	8
Το Μέλλον της ΓΝ	6
Λατινοαμερικανική Λογοτεχνία	14
Ιστορία των Ιθαγενών Αμερικανών	25
Σεξουαλική Διαπαιδαγώγιση	16
Ιστορία των Γυναικών	30
Πρόεδροι και Προεδρίες των ΗΠΑ	12
Πολιτική Θεωρία	14
Θρησκείες	25
Podcast: Το Σύμπαν	12
Ιστορία της Τέχνης	23
Κινηματογράφος	27
Δοξασίες και Τρόμος	12

Βιολογία	51
Βοτανική	16
Περιβαντολογία	21
Κλίμα και Ενέργεια	13
Πως να Ξεκινήσεις στο Σχολείο	70
Δημόσια Υγεία	11
Πως να Ξεκινήσεις στο Πανεπιστήμιο	16
Επιδημιολογία	16
Ιστορία των Μαύρων Αμερικανών	52
Ζωολογία	15
Γεωγραφία	52
Γλωσσολογία	17
Κοσμολογία	18
Οργανική Χημεία	51
Λογοτεχνία	49
Επιχειρηματικότητα	18

Τεχνιτή Νοημοσύνη	21
Ευρωπαϊκή Ιστορία	51
Επιχειρηματικές Δεξιότητες	18
Κριτική Κινηματογράφου	16
Κινηματογραφική Παραγωγή	16
Πλοήγηση σε Ψηφιακές Πληροφορίες	11
Μηχανική	47
Ιστορία των Επιστημών	47
Γραμματισμός στο ΜΜΕ	13
Θέατρο και Δράμα	51
Στατιστική	45
Παγκόσμια Ιστορία στα Αραβικά	42
Δεξιότητες Μελέτης	11
Ιστορία του Κινηματογράφου	17

Κοινωνιολογία	45
Μυθολογία του Κόσμου	42
Πληροφορική	41
Παιχνίδια	30
Φυσική	47
Φιλοσοφία	47
Οικονομικά	36
Πνευματική Ιδιοκτησία	8
Κυβέρνηση των ΗΠΑ και Πολιτική	50
Αστρονομία	48
Ανατομία και Φυσιολογία	49
Παγκόσμια Ιστορία	74
Ψυχολογία	41
Χημεία	47
Ιστορία των ΗΠΑ	49
Οικολογία	13

Οπτικοποιήσεις
βίντεο που παίζουν όσο γίνεται η αφήγηση
Σκίτσο
Γραφήματα
κείμενο πάνω στην βιντεοσκόπηση
κινούμενο σχέδιο μικρού μήκους
κινούμενο σχέδιο πάνω στη βιντεοσκόπηση
φωτογραφίες

↑ Πίνακας Α.6.3 Κυρίαρχες Οπτικοποιήσεις

A.7 Συλλογή Analytics του καναλιού Kurzgesagt - In a Nutshell

Πίνακας Α.7.1 Δεδομένα Διάδρασης ανά Βίντεο

Εξερεύνηση του Διαστήματος	Views	Likes	Σχόλια
Why Alien Life Would Be Our Doom - The Great Filter	27.496.371	631.000	46.000
Astronomy is in Crisis...and it's incredibly exciting	4.864.381	217.000	13.000
How to Win An Interstellar War	12.003.955	319.000	14.000
There are Thousands of Alien Empires in the Milky Way	8.636.941	242.000	12.000
Ancient Life As Old As the Universe	8.054.748	284.000	10.000
True Limits of Humanity - The Final Boarder we will Never Cross	23.253.486	881.000	45.000
What Happens If the Moon Crushes Into Earth	21.875.694	547.000	28.000

What Actual Aliens Might Look Like	9.565.432	263.000	9.100
How to Make A Dyson Sfear - The Ultimate Mega Structure	24.126.895	603.000	41.000
How we Could Build a Moon Base Today - Sace Colonization 1	17.212.853	405.000	31.000
The Most Extreme Explosion In The Universe	10.919.172	272.000	8.500
Why We Should Not Look For Aliens - The Dark Forest	17.170.685	640.000	30.000
Why Aliens Might Already Be On Their Way To Us	9.318.052	293.000	15.000
Could Solar Storms Destroy Civilization? Solar Flares & Coronal Mass Ejections	15.256.896	464.000	22.000
What Do Alien Civilizations look Like ? The Kardashev Scale	21.272.549	616.000	33.000
How to terraform Mars - With Lasers	10.894.243	294.000	15.000
This Is The Scarest Place In The Universe	5.336.821	210.000	8.300
And of Space - Creating A Prison for Humanity	14.545.637	361.000	17.000
You are not where you think you are	10.422.880	397.000	14.000
How to terraform Venus (Quickly)	21.915.827	569.000	40.000
The Largest Star in the Universe - Size Comparison	35.437.741	785.000	40.000
What If Earth Got Kicked Out Of the Solar System? Rogue Earth	20.254.329	542.000	31.000
Warmholes Explain - Breaking Space Time	25.399.297	567.000	24.000
Aliens under the Ice - Life one Rogue Planets	14.320.408	352.000	11.000
Unlimited Resources From Space - Asteroid Mining	10.959.579	411.000	29.000
The Largest Black Hole In The Universe - Size Comparison	31.771.970	717.000	37.000
How to Move the Sun: Stellar Engines	19.158.316	568.000	31.000
	Μέσοι Όροι		
	16.720.191	461.111	24.256
Μαύρες Τρύπες	Views	Likes	Σχόλια
Why Black Holes could Delete The Universe - The Information Paradox	31.494.590	531.000	31.000
The Black Hole Bomb and Black Holes Civilizations	29.286.206	597.000	26.000
Warmholes Explain - Breaking Space Time	25.399.297	567.000	24.000
The Most Dangerous Stuff In the Universe - Strange Stars Explained	23.689.943	508.000	21.000

Nutron Stars - The Mos Exreme Things that are not Black Holes	22.882.451	549.000	19.000
What If Yoy Fall Into A Black Hole?	18.762.615	470.000	19.000
The Largest Star in the Universe - Size Comparison	35.437.741	785.000	40.000
Black Hole Star - The Star that Souldn't Exist	14.833.968	422.000	17.000
The Black Hole tha kills Galaxys - Quasars	10.674.934	284.000	7.500
What Happens If you Destroy A Black Hole?	13.660.423	350.000	13.000
This Black hole could be Bigger Than The Universe	8.633.913	275.000	13.000
Black hole's Evil Twin - Grava Stars Explained	8.667.044	248.000	10.000
	Μέσοι Όροι		
	20.285.260	465.500	20.042
Πυρηνικά	Views	Likes	Σχόλια
What if You Detonated a Nuclear Bomb In the Marianas Trench? (Science not Fantasy)	36.343.399	705.000	29.167
What Happens After Nuclear War?	12.854.490	312.000	20.570
The Most Insane Weapon You Never Heard About	13.744.121	335.000	15.270
How A Nuclear War Will Start - Minute by Minute	10.219.327	338.000	17.383
Do we Need Nuclear Energy to Stop Climate Change?	9.615.914	325.000	26.337
What If We Detonated All Nuclear Bombs at Once?	32.696.402	1.000.000	52.510
Why Don't We Shoot Nuclear Waste Into Space?	13.736.851	442.000	18.421
Worst Nuclear Accidents in History	10.758.837	406.000	30.015
The Most Dangerous Weapon Is Not Nuclear	6.363.076	224.000	11.944
	16.259.157	454.111	24.624
	Γενικοί Μέσοι Όροι		
	Views	Likes	Comments
	17.754.870	460.241	22.974

Πίνακας Α.7.2 Θεματολογίες και πλήθος βίντεο ανά θεματολογία

Θεματολογίες (14)	Πλήθος Βίντεο	Εξερεύνηση του Διαστήματος	27
		Μυρμήγκια	4

Ναρκωτικά	8
Ασθένειες	14
Θεωρητικά Επιστημονικά Σενάρια	21
Πυρηνικά	9
Δεινόσαυροι	3
Ανοσοποιητικό Σύστημα	17
Κλιματική Αλλαγή	8
Μαύρες Τρύπες	12

Υπαρξιακή Κρίση	74
Ιατρική και Βιολογία	59
Φουτουρισμός	32
Θετικές Επιστήμες	51

Πίνακας Α.7.3 Κυρίαρχες Οπτικοποιήσεις

Οπτικοποιήσεις
κινούμενο σχέδιο
γραφήματα

Α.8 Συλλογή Analytics του καναλιού Khan Academy

Πίνακας Α.8.1 Δεδομένα Διάδρασης ανά Βίντεο

Γενική Χημεία	Views	Likes	Σχόλια
Elements and atoms Atoms, compounds, and ions	4.263.244,00	15.000,00	703,00
Introduction to the atom Chemistry of life	2.906.101,00	11.000,00	1.012,00
Orbitals Electronic structure of atoms	2.408.637,00	6.200,00	507,00
More on orbitals and electron configuration	1.512.573,00	3.700,00	306,00
Electron Configurations	1.478.930,00	4.900,00	422,00
Electron configurations 2 Electronic structure of atoms	1.095.694,00	2.500,00	224,00
Valence Electrons	978.464,00	2.600,00	299,00
Groups of the Periodic Table	989.727,00	2.400,00	207,00
Periodic Table Trends: Ionization Energy	1.197.229,00	5.000,00	364,00
Other Periodic Table Trends	485.736,00	1.700,00	182,00
Ionic, covalent, and metallic bonds Chemical bonds	2.624.377,00	9.800,00	758,00
Molecular and Empirical Formulas	1.048.190,00	3.800,00	331,00
The mole and Avogadro's number Atoms, compounds, and ions	2.476.824,00	9.400,00	1.019,00
Formula from Mass Composition	501.654,00	1.400,00	82,00
Another mass composition problem	351.759,00	709,00	79,00
Balancing Chemical Equations	2.546.714,00	17.000,00	3.609,00
Stoichiometry Chemical reactions and stoichiometry	2.785.564,00	11.000,00	973,00
Stoichiometry: Limiting reagent Chemical reactions and stoichiometry	1.787.194,00	4.900,00	747,00
Ideal gas equation: $PV = nRT$	1.091.928,00	2.900,00	238,00
Ideal gas equation example 1	619.519,00	1.400,00	177,00
Ideal gas equation example 2	339.402,00	695,00	70,00
Ideal gas equation example 3	216.646,00	464,00	36,00
Ideal gas equation example 4	204.252,00	410,00	45,00

Partial pressure example	567.472,00	986,00	132,00
States of matter States of matter and intermolecular forces	911.641,00	2.800,00	218,00
States of matter follow-up States of matter and intermolecular forces	243.880,00	578,00	56,00
Specific heat, heat of fusion and vaporization example	720.363,00	2.100,00	229,00
Chilling water problem States of matter and intermolecular forces	228.761,00	481,00	65,00
Phase diagrams States of matter and intermolecular forces	676.960,00	2.100,00	130,00
Van der Waals forces States of matter and intermolecular forces	845.227,00	3.000,00	292,00
Covalent networks, metallic crystals, and ionic crystals	310.105,00	810,00	47,00
Vapor pressure States of matter and intermolecular forces	665.211,00	3.500,00	150,00
Suspensions, colloids and solutions	630.515,00	2.100,00	239,00
Solubility and intermolecular forces	787.958,00	2.300,00	184,00
Boiling point elevation and freezing point depression	570.648,00	2.100,00	137,00
Introduction to kinetics Energy and enzymes	768.986,00	1.400,00	101,00
Reactions in equilibrium Chemical equilibrium	1.030.097,00	2.300,00	266,00
Mini-video on ion size Periodic table	218.149,00	440,00	24,00
Keq intuition Chemical equilibrium	295.542,00	596,00	48,00
Keq derivation intuition Chemical equilibrium	161.971,00	312,00	40,00
Heterogeneous equilibrium Chemical equilibrium	269.161,00	588,00	33,00
Le Chatelier's principle Chemical equilibrium	1.279.883,00	5.100,00	461,00
Introduction to pH, pOH, and pKw	605.220,00	2.600,00	202,00
Acid Base Introduction	1.001.999,00	2.400,00	211,00
pH, pOH of strong acids and bases	693.716,00	1.200,00	106,00
pH of a Weak Acid	384.187,00	923,00	138,00
pH of a Weak Base	194.748,00	434,00	40,00
Conjugate acids and bases	690.215,00	2.000,00	223,00
pKa and pKb relationship Acids and bases	457.790,00	993,00	86,00
Buffers and Henderson-Hasselbalch	940.316,00	2.700,00	158,00
Strong Acid Titration	254.138,00	449,00	49,00
Weak Acid Titration	210.504,00	494,00	58,00
Titration roundup Buffers, titrations, and solubility equilibria	295.192,00	1.000,00	57,00
Introduction to Oxidation States	467.135,00	1.900,00	201,00

More on Oxidation States	179.654,00	558,00	77,00
Hydrogen Peroxide Correction	90.928,00	293,00	17,00
Redox Reactions	619.786,00	2.200,00	344,00
Galvanic Cells	359.766,00	1.300,00	258,00
Types of decay Nuclear chemistry	749.903,00	3.500,00	294,00
Half-life and carbon dating Nuclear chemistry	595.832,00	1.600,00	140,00
Exponential decay formula proof (can skip, involves calculus)	175.441,00	422,00	42,00
Introduction to exponential decay Nuclear chemistry	241.105,00	464,00	48,00
More exponential decay examples Nuclear chemistry	99.856,00	184,00	22,00
Macrostates and microstates Thermodynamics	358.036,00	1.400,00	59,00
Quasistatic and reversible processes Thermodynamics	244.699,00	1.100,00	80,00
First law of thermodynamics / internal energy Thermodynamics	1.557.993,00	7.500,00	488,00
More on internal energy Thermodynamics	553.698,00	2.100,00	103,00
Work from expansion Thermodynamics	326.028,00	1.100,00	56,00
PV-diagrams and expansion work Thermodynamics	320.171,00	765,00	61,00
Proof: $U = (3/2)PV$ or $U = (3/2)nRT$ Thermodynamics	175.992,00	901,00	87,00
Work done by isothermic process Thermodynamics	315.975,00	1.100,00	86,00
Proof: S (or entropy) is a valid state variable Thermodynamics	145.286,00	361,00	15,00
Thermodynamic entropy definition clarification	441.188,00	1.100,00	105,00
Reconciling thermodynamic and state definitions of entropy	167.849,00	798,00	99,00
Entropy intuition Thermodynamics	417.518,00	1.800,00	171,00
More on entropy Thermodynamics	121.746,00	429,00	36,00
Efficiency of a Carnot engine Thermodynamics	239.132,00	1.200,00	63,00
Enthalpy Thermodynamics	1.542.633,00	5.500,00	284,00
Heat of formation Thermodynamics	506.359,00	1.000,00	61,00
Hess's law and reaction enthalpy change	952.639,00	3.100,00	259,00
Gibbs free energy and spontaneity	641.018,00	2.700,00	148,00
Gibbs free energy example Thermodynamics	344.240,00	719,00	57,00
More rigorous Gibbs free energy / spontaneity relationship	121.638,00	294,00	17,00

A look at a seductive but wrong Gibbs/spontaneity proof	56.707,00	111,00	16,00
Stoichiometry example problem 1	805.233,00	806,00	92,00
Stoichiometry example problem 2	477.391,00	789,00	105,00
Limiting reactant example problem 1	614.380,00	1.100,00	140,00
Empirical and Molecular Formulas from Stoichiometry	80.735,00	246,00	36,00
Example of Finding Reactant Empirical Formula	37.824,00	106,00	10,00
Stoichiometry of a Reaction in Solution	226.392,00	957,00	60,00
Another Stoichiometry Example in a Solution	57.021,00	186,00	20,00
Molecular and Empirical Formulas from Percent Composition	319.966,00	1.400,00	161,00
Acid base titration example	324.326,00	538,00	58,00
Spectrophotometry introduction Kinetics	605.164,00	2.800,00	115,00
Spectrophotometry example Kinetics	203.101,00	784,00	45,00
Hess's law example Thermodynamics	512.882,00	1.600,00	126,00
Vapor pressure example	233.383,00	359,00	35,00
Change of state example States of matter and intermolecular forces	104.270,00	159,00	13,00
	Μέσοι Όροι		
	699.519,71	2.316,23	218,16
	Views	Likes	Σχόλια

Παράρτημα Β: Ποιοτικά Δεδομένα

Β.1 Ενδεικτικά σχόλια του καναλιού Astronio

@m1ch43la8 2 years ago
Από τα πιο ποιοτικά και ενδιαφέροντα κανάλια στο ελληνικό γιουτιουμπ... Αξίζεις πάρα πολλά, σε ευχαριστούμε για τις γνώσεις που μας προσφέρεις απλόχερα!

31 Reply

@dimitrakasnesi188 2 years ago **7 subscribers**
Ένα από τα πιο "πλούσια"βίντεο γεμάτο εντυπωσιακες πληροφορίες κ τρομερή απεικόνιση!χίλια μπράβο!

12 Reply

@nikosargiris3557 4 years ago **16 subscribers**
Εξαιρετικό βίντεο για τον συνοδό του ήλιου! Απορίες: 1) πως και δεν έχει ατμόσφαιρα μιας κι έχει μεγαλύτερο πυρήνα; 2) δεν έχει δορυφόρο (όπως κι η Αφροδίτη) οπότε θα μπορούσαμε να πούμε ότι όσο πιο κοντά στο μητρικό άστρο, τόσες λιγότερες οι πιθανότητες να βρεθούν με κάποιο δορυφόρο; 3) οπότε αν οι Γανυμήδης κι ο Τιτάνας ήταν ελεύθεροι σε τροχιά γύρω από τον ήλιο θα θεωρούνταν πλανήτες; σε ευχαριστώ που μας κρατάς παρέα εδώ στην βαρυχειμωλιά της Πολωνίας

53 Reply

@Astronio 4 years ago **359K subscribers**
Γεια σου Νικό! Απαντώ:
1) Διότι, παρά τον μεγάλο πυρήνα του, το βαρυτικό του πεδίο παραμένει πολύ μικρό (η μάζα του είναι μόλις το 5,5% της γήινης) για να καταφέρει να συγκρατήσει ατμόσφαιρα ειδικά όταν είναι τόσο κοντά στον Ήλιο.
2) Είναι δυσκολότερο για τους πλανήτες που βρίσκονται κοντά στον Ήλιο να έχουν φεγγάρια γύρω τους, μιας και το βαρυτικό πεδίο του Ηλίου συναγωνίζεται το δικό τους, αλλά δεν είναι κάτι το αδύνατο.
3)Σαφώς, αρκεί να έχουν "καθαρίσει" την τροχιά τους από άλλα αντικείμενα.

Να 'σαι καλά Νικό!
Show less

62 Reply

@Scorakos7 3 years ago **96 subscribers**
Εξαιρετικό βίντεο ! Ευχαριστούμε πολύ ! Δεν μπορείς να καταλαβεις πραγματικά τι προσφερεις με το περιεχομενο του καναλιού σου ! Όταν πρωτοξεκίνησες ετυχε να δω τα βιντεακια σου και να ξυπνησει μέσα μου η περιέργεια. Τα είδα όλα ξανα και ξανα και μετά είδα και άλλους δημιουργούς , άρχισα να διαβαζω ,αρθρα και βιβλια . Αγαπήσα γενικά τις επιστημες και μακαρι να ειχα ξεκινήσει να ασχολουμει απο μικρος . Δεν πηγα δουλεια για να δω live το starship sn10 νομίζω .

5 Reply

@Stamatis_Misirilis 4 years ago **4.74K subscribers**
Η μεταφορά ατμόσφαιρας από την Αφροδίτη στον Ερμή, δυνητικά θα ωφελούσε τις συνθήκες διαβίωσης και στους δύο πλανήτες.

Reply

@Stamatis_Misirilis 4 years ago **4.74K subscribers**
@a.k.3659 Η ατμοσφαιρική πίεση και η θερμοκρασία θα έτειναν σε πιο γήινα επίπεδα και στους δύο πλανήτες, συνεπώς θα βοηθούσαν έναν ενδεχόμενο εποίκισμό.

Reply

@Metalhead8489 4 years ago **3 subscribers**
Πως ακριβώς ξεροουμε απο τι υλικά είναι ένας πλανητης κ ποσο μεγαλο πυρηνα εχουν δεν μπορω να καταλαβω. Υπολογιζουμε βαση του χρωματος επιφανειας(υλικά) κ του μαγνητικου τους πεδιου(μεγεθος πυρηνα)?

Reply

@Astronio 4 years ago **359K subscribers**
Βλ. περιγραφή βίντεο.

Reply

@xrysi_oikonomidou 2 years ago **1 subscribers**
Μόλις είδα το επεισόδιο με τα παιδιά μου. Εντυπωσιακό! Πάντα είναι απίστευτο το τι μπορούμε να ανακαλύψουμε στο σύμπαν, μα πιο απίστευτη είναι η εφευρετικότητα του ανθρώπου για να μπορεί να ανακαλύπτει! Να είσαι καλά Παύλο. 🍀

5 Reply

@ΚωνσταντίνοςΗλιοπουλος-χ5Ξ 2 years ago
Χρησιμοποίησα αυτές τις πληροφορίες για μία εργασία, δεν νομίζω να πειράζει? (είσαι τέλειος!!!!!!)

@alexandrosnik1018 4 years ago 3 subscribers
Τι καλύτερο να γυρνάς σπίτι από 7ωρο και να βλέπεις αστρονιο

@dp-ux7em 4 years ago 1 subscribers
Συμφωνώ απόλυτα με το ότι τα παιδιά πρέπει να μάθουν πολύ καλά την φυσική

@johnphilipatos 4 years ago 5 subscribers
Η τεχνολογία που έχει το Ingenuity για να μπορεί να απογειώνεται με έλικες μέσα σε μια ατμόσφαιρα με πυκνότητα τόσο μικρή που να δημιουργεί πίεση ίση μόνο με το 0,6% της αντίστοιχης γήινης, πρέπει να ανήκει πραγματικά στη σφαίρα της φαντασίας.
Ευχαριστούμε πολύ για το βίντεο. Υπέροχο όπως πάντα και ο σπόνασός του είναι ο πιο ταιριαστός.
Η Φυσική και η Χημεία θα ήταν μακράν τα πιο ενδιαφέροντα μαθήματα στο σχολείο, αν γίνονταν μέσω πειραμάτων και όχι με το στείο τρόπο που οι περισσότεροι "εκπαιδευτικοί" τις διδάσκουν. ...
Read more

B.2 Ενδεικτικά σχόλια του καναλιού CrashCourse

@emilypand2735 13 years ago
Without crashcourse I would have lost my mind by now. I'm a history and language nerd, so chemistry is my archenemy. Because of this video I now longer am panicking about my next test, and so I thank everyone who works on these videos for helping me and my lab group not only get through high school but move on to hopefully be a teacher myself (though of course not a teacher of chemistry).

@WLBFTWproductions 13 years ago 3 subscribers
I absolutely love how they do a background on some of the great discoveries of chemistry. I pretty much do this stuff for a living and I have never learned who the Arrhenius is in the Arrhenius equation or Avogadro in Avogadro's constant until this show. Amazing.

@l8thompson 11 years ago
I've been using these videos for my chem notes. It's makes way more sense than my textbook and my teacher, I just have to pause a lot; thanks #crashcoursechemistry!

@Vintagee858 6 years ago 74 subscribers
You should do at the end of every video, make a list of everything that's most important to study.

@TrueTreeRadioNetwork 11 years ago 36 subscribers
I don't get it. He lost me after video number 3, electrons. Biology I get, but this...these numbers...completely indigestible.

@ElBerryRedBerry 11 years ago
You talk too fast :c

@annieandersson9463 10 years ago 1 subscribers
I don't get the math at 11:54 together. I get this:
 $0.88 \text{ mol/L} \cdot V_1 = 0.01 \text{ mol/L} \cdot 38 \text{ L}$
 $0.88 \text{ mol/L} \cdot V_1 = 0.38 \text{ mol}$
 $0.88 \text{ mol/L} \cdot V_1 / 0.88 \text{ mol/L} = 0.38 \text{ mol} / 0.88 \text{ mol/L}$
 $V_1 = 0.43 \text{ L}$
But he says 0.24 L? Can someone please explain?
Show less
24 Reply

B.3 Ενδεικτικά σχόλια του καναλιού Khan Academy

@zcookielove7602 10 years ago 7 subscribers
i just learned more from a 13 minute video then i did in my entire school year relating to science so thanks!
926 Reply

@heatherbritton95 11 years ago 265 subscribers
I love how his voice is so exciting and keeps you interested! Good enthusiasm & cute voice! :)
44 Reply

@wz1thoughtadjuster330 2 years ago 11 subscribers
You really explain and break down the information that is required to understand the basics of chemistry, instead of the school/education system making the whole subject extra complicated for no reason apart trying to limit the knowledge to maintain control, and limit access to everyone, they understand power is nothing without control, so controlling the knowledge is controlling the people, I Thanks and blessings to you
1 Reply

@davidchapman1386 9 years ago 2 subscribers
u are a wonderful teacher sal, very commendable
1 Reply

@CruellaMyers-dv5ov 2 years ago
Khan academy is such blessing when you just don't want to learn line by line from book.
Respect from pakistan ❤️
Reply

@jpotts44 14 years ago
He is our teacher. Khan is teaching us right now.
Reply

@MrStuaiator 12 years ago 1 subscribers

These examples are too simple for my homework to relate to, but still helpful for the basics though.

13  Reply 

@MrUnladenswallow 13 years ago 18 subscribers

i never thought i would like or understand chemistry till i found this guy. Keep doing what you are doing mate because you are helping people in ways you can't imagine well done from a chemistry bum

1  Reply 

@genius4themostpart 16 years ago 5 subscribers

thank you so much!!

this kind of vido helps us students a lot!!!

I agree with FinalTidusX, some of the things is not that obvious for us...

  Reply 

@iamnotfitforadventure8108 1 month ago 2 subscribers

I was 10 when this was posted, and it's here for me now in my chemistry class at age 26. neato.

  Reply 

@garypoplin 1 year ago

This is a perfect explanation of the heat content of air in a space that is to be manipulated by a refrigeration system. Even though the pressure changes between the condenser and the evaporator, the enthalpy is the same throughout the system (except for losses in the lineset). The saturation pressure is constant in the condenser. The saturation pressure in the evaporator is also constant. The difference between these two constant pressures is what allows heat from the air in the space at the evaporator to be carried through the system (via the refrigerant) where it is rejected into the air outside the condenser. Well done!

  Reply 

B.4 Ενδεικτικά σχόλια του καναλιού KhanAcademyGreek

@linazaf9562 11 years ago 1 subscribers

Εξαιρετικό βίντεο! Μπράβο και ευχαριστούμε πολύ!

3  Reply 

@petrosmk4258 9 years ago

Πολυ ωραιο βιντεο. Ειμαι μαθητης γ' λυκειου και με βοηθησε πολυ!!

  Reply 

@fedonaspapageorgiou 7 years ago 8 subscribers

τη γίνεται με αυτήν την ουσία που περισσεύει και δεν αντιδρά;

  Reply 

@CorsaETunning 8 years ago 6 subscribers

Δίνω πανελληνιες φέτος και από το βίντεο σου κατάλαβα καλύτερα την επίδραση κοινού ιοντος από ότι με τον πλήρως αδιάφορου καθηγητή μου σε ευχαριστώ 🙌🙌

1  Reply 

B.5 Ενδεικτικά σχόλια του καναλιού Kurzgesagt – In a Nutshell

@diobrando6245 5 years ago **86 subscribers**
The fun part is that it doesn't give the answer but rather adding more questions for you to think
👍 2.3K 🗨️ Reply

@moardoor9772 10 years ago **12 subscribers**
I learned more from one video than I have in the last 3 years of science class. fml
👍 4 🗨️ Reply

@seanclarkdesign 8 years ago **12.6K subscribers**
Incredible. This video inspired me to create one designed for elementary school kids. Thank you and keep up the work!
👍 5 🗨️ Reply

@trinsit 4 years ago **30 subscribers**
Your breakdowns are so simple to understand and easy to follow. Thank you.
👍 2 🗨️ Reply

@ayooshhassan9823 5 years ago
This helped me a lot i was not standing the lesson thank you !!
👍 2 🗨️ Reply

@BarGirlNongnootinThailand 3 years ago **10 subscribers**
Thanks for making learning so accessible and fun!
👍 🗨️ Reply

@adwaith0401 4 years ago (edited) **3 subscribers**
My chemistry teacher : oh thank god , finally I got a video to show the children in Google meet
👍 1 🗨️ Reply

B.6 Ενδεικτικά σχόλια του καναλιού Periodic Videos

@Xhanthan 9 years ago **3 subscribers**
watching these videos is making me think whether this is the future of studying - to just have educated people explain things in videos and you can watch them over and over again; maybe you chat with the professors afterwards for further questions
👍 3 🗨️ Reply

@pramitbanerjee 9 years ago (edited) **167 subscribers**
so peaceful. A calm morning with the professors sitting in the grass and two people doing an experiment...recording,observing,interpreting,understanding it.. beautiful music playing in the background...this is so tranquil... "think of the science" well said professor..beautiful..this video is a piece of priceless art
👍 5 🗨️ Reply

@SilentSnipest 9 years ago 179 subscribers

This was my favorite demo to show children and students during my college years. It's always so much fun.

2 Reply

@unclepete2252 9 years ago

I love the science in action "Okay you were right"

1 Reply

@ykzone1 5 years ago 78 subscribers

I can never be so intrusted chemistry, even now I know english very much !! Thanks !!!!

1 Reply

@SchiferIED 9 years ago 5 subscribers

My high school science teacher did this in classroom. Stained ceiling tiles.

Reply

@GregtheMad 10 years ago

Doesn't the temperature of the gas also affect the speed of the reaction? A colder gas burns slower than a gas that is close to the ignition point?

1 Reply

B.7 Ενδεικτικά σχόλια του καναλιού Καθημερινή Φυσική

@vasilismichaildmds9674 8 years ago 24 subscribers

Μακαρι Στεφανε να σε παρακολουθούν νεα παιδια και απλοι μαθητες,γιατι εισαι μια οαση! Πολλα μπράβο απο εναν φοιτητή του Εξωτερικού!

138 Reply

@chrysigabriel543 8 years ago 24 subscribers

Vasilis Michail im one of those:3

10 Reply

@thrylospure6068 6 years ago 73 subscribers

Είμαι μαθητής Δευτέρας Γυμνάσιου και παρακολουθώ το καναλι

1 Reply

@slayergaminggr9876 6 years ago 10 subscribers

Πέμπτη Δημοτικού πάω αλλά θέλω να μαθαίνω αληθινά γεγονότα και με σωστές βάσεις.

1 Reply

@sophieoro3078 5 years ago 7 subscribers

Εγώ είμαι 1η γυμνάσιου αλλά ξεκίνησα να σε βλέπω από τη Πέμπτη δημοτικού

Reply

@thanoskall9933 8 years ago 39 subscribers

Φίλε μου μιλώντας σαν εν δυναμει ηοληπτης ,μπορω να πω οτι αυτο το βιντεο ηταν απο τα καταποτιστικότερα που εδω δει στο θεμα του ηχου...Πραγματικα εξαιρετικη δουλεια ,και εξαιρετικη συζευξη των επιστοιμονικων στοιχειων αυτου του φαινομενου και της κατανοητης επεξηγησης τους...Συνχαρητηρια για την τοσο καλη δουλεια και σε αυτο και σε αλλα βιντεο ,συνεχισε το :) Στο μονο που ιωσιως θα διαφωνησω ειναι η τελευταια προταση...υπαρχει βεβαια η περιπτωση να μην καταλαβα εγω τον τροπο που το ειπες και να εννοουσες κατι διαφορετικο,αλλα δεν νομιζω οτι δεν τηρεται θεμα για το αν ο ηχος ειναι ενα πραγματικο φυσικο φαινομενο ..Οπως και να χει μπράβο για την τοσο σωστη δουλεια)

@carnellio4895 3 years ago
Αυτό το βίντεο το δείχνω στους μαθητές μου στο σχολείο (στο μάθημα της μουσικής). Τους αρέσει πάρα πολύ. Σ ευχαριστούμε

@thedevil1667 1 year ago (edited) 304 subscribers
Μολις εξηγησες ενα εξαμηνο ακουστικης σε 5 λεπτα

@Silverfox9702 8 years ago
εχω την εξής απορία , αφού ο ήχος διαδίδεται πιο γρήγορα μέσα στο νερό και έχει το νερό μεγαλύτερη πυκνότητα από τον αέρα τότε γιατί μέσα στο νερό στην θάλασσα ακουω πιο δύσκολα ήχους μέσα στο νερό αντί έξω από αυτό ? εκτός και αν το αυτί του ανθρώπου δεν είναι φτιαγμένο για να ακούει τους ήχους μέσα στο νερό . ελπίζω να διαβάσεις το σχόλιο μου και να μου απαντήσεις.

@stixoimatizontas 5 years ago 28 subscribers
Ο ήχος μέσα στο νερό διαδίδεται ταχύτερα και δυνατώτερα, όχι όμως καθαρότερα. Η αιτία αυτού, όπως είπες κι εσύ, είναι η φυσιολογία μας. Το ανθρώπινο αυτί έχει εξελιχθεί ούτως ώστε να αντιλαμβάνεται καλύτερα έξω από το νερό. Επίσης, όταν είσαι μέσα στο νερό, αλλιώς είναι το να ακούς έναν ήχο που η πηγή του είναι επίσης μέσα στο νερό και αλλιώς να ακούς έναν ήχο που πηγάζει εκτός νερού. Όταν ο ήχος αλλάζει μέσο αλλοιώνεται, επειδή η πυκνότητα αλλάζει (η δόνηση ταξιδεύει μέσα από διαφορετικά μέρη). Φαντάσου το όπως και το φως που, όταν αλλάζει μέσο, αλλάζει και η πορεία του.

@Dasplitz 8 years ago 14 subscribers
Το χειρότερο μάθημα των μαθητικών μου χρόνων ήταν η Φυσική. Μιλάμε για βαθμό τετραμήνου 6/20. Το κανάλι αυτό με έχει κάνει να την αγαπήσω και να την ανακαλύψω από την αρχή. Εύγε στους συντελεστές!

@steliosrados3858 6 years ago 7 subscribers
Με λιγα λογια ολη η ύλη της φυσικής στην Β'γυμνασίου

@sfgsilentkiller2009 6 years ago 16 subscribers
Το βάζει η καθηγήτρια της φυσικής και όταν μπαίνει το hello darkness όλοι μας σκάμε στα γελια και η κυρία μας λέει σταματήστε

@kateap0150 4 years ago 22 subscribers
Από αυτό το βίντεο (και γενικά από τα βίντεο σου) μαθαίνω πιο πολλά από το σχολείο

B.8 Ενδεικτικά σχόλια του καναλιού Σχολική Χημεία

@ΑΓΓΕΛΙΚΗΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ-ε2χ 4 years ago
ΠΟΛΥ ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΣΑΣ ! ΜΠΡΑΒΟ !

@Ayla-hp7xn 1 year ago
Εξαιρετική δουλειά, ο, τι πρέπει και για επανάληψη!

@gryllias574 6 years ago 7 subscribers
Πολυ καλη δουλεια!
Ευχαριστω για τη βοηθεια.
Μαθητης Γ Λυκειου

@arzmm8583 2 years ago
το μαγκανιο πως εγινε απο +7 σε +2? αφου δεν γνωριζουμε ουτε τον αριθμο οξειδωσης του θειου

1 2 Reply

@savvas637 2 years ago
Απλά ξέρουμε ότι το S04 έχει όλο μαζί αριθμό οξειδωσης -2 οπότε το Mn θα έχει +2 για να έχει αλγεβρικό άθροισμα 0. Δεν κοίταξε το S μεμονωμένα

1 2 Reply

@chimiokb 7 years ago
Η χημική ενέργεια (3:14) είναι μόνο η δυναμική ενέργεια των χημικών δεσμών. Οι κινητικές ενέργειες των μορίων (μεταφορική, δόνηση, περιστροφή) είναι η θερμότητα (θερμική ενέργεια). Κατά την χημική αντίδραση μέρος της χημικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα (εξώθερμη) ή μέρος της θερμότητας μετατρέπεται σε χημική ενέργεια (ενδόθερμη).

1 6 Reply

@dimileve 7 years ago 27 subscribers
Κωνσταντίνε ευχαριστώ πολύ για το σχόλιο.
Στην σελίδα 44 του σχολικού βιβλίου αναφέρονται ακριβώς τα εξής:
"Κάθε ουσία, εκτός από άτομα μόρια ή ιόντα, «κουβαλά» ενέργεια, τη χημική ενέργεια. Η χημική ενέργεια οφείλεται στις δυνάμεις του δεσμού (που συγκρατούν τα άτομα στο μόριο), στις έλξεις των μορίων και των υποατομικών σωματιδίων, στην κίνηση των ατόμων, μορίων και ηλεκτρονίων κλπ. Είναι, δηλαδή, συνδυασμός κινητικής και δυναμικής ενέργειας. Η χημική ενέργεια είναι μια «κρυμμένη» μορφή ενέργειας και μέρος αυτής μπορεί να αποδοθεί άλλοτε εύκολα (π.χ. στη βενζίνη με ένα σπινθήρα) και άλλοτε δύσκολα (π.χ. στα πυρηνικά καύσιμα) στο περιβάλλον." Οπότε στην χημική ενέργεια συμπεριλαμβάνονται σύμφωνα με την διδακτέα-εξεταστέα ύλη και οι κινητικές ενέργειες.
Και πάλι μευχαριστώ

1 7 Reply

@Aqua_alphin12 3 years ago 2 subscribers
Σε λιγο καιρο δίνω με βοήθησε να καλύψω καποια πράγματα να στε καλα

1 2 Reply

@Marios1_1 1 year ago
Ευχαριστώ ίσως καταφέρω και γράψω 18 τώρα στις πανελλήνιες με αυτά τα βίντεο.

1 1 Reply

@ΝίκοςΚαλογεράκης-Θ2η 4 years ago
Στο 13:26 , υπάρχει λάθος. Η ηλεκτρarνητικότητα αυξάνεται απο ΚΑΤΩ προς τα Πάνω στην ίδια ΟΜΑΔΑ. Προσοχή !

1 2 Reply

@ΣχολικήΧημεία 4 years ago 2.17K subscribers
Ευχαριστώ πολύ Νίκο Καλογεράκη. Η επισήμανσή σου είναι σωστή. Θα επανορθώσω.

1 2 Reply

@andriana7414 1 year ago 23 subscribers
Με βοηθήσατε πολύ να καταλάβω γιατί τα στοιχεία τελικά τα χωρίζουμε σε μέταλλα και αμέταλλα !

1 2 Reply

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.