

Πρόλογος

και μερικές ακόμα σκέψεις για τη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής στο εισαγωγικό επίπεδο

*Ένα ασυνήθιστο βιβλίο:
Η έντυπη μορφή ενός
ηλεκτρονικού βιβλίου*

Αν το πρώτο που διακρίνει ο αναγνώστης ξεφυλλίζοντας τούτο το βιβλίο είναι η ασυνήθιστη μορφή του, δεν θα έχει άδικο. Διότι πράγματι αυτό που κρατάει στα χέρια του είναι ένα ασυνήθιστο βιβλίο. Για δύο διαφορετικούς αλλά και αλληλένδετους λόγους. Ο πρώτος είναι μάλλον τεχνικός. Πρόκειται για την τυπωμένη εκδοχή ενός καθαρά ηλεκτρονικού βιβλίου. Ενός βιβλίου που γράφηκε και σχεδιάστηκε για να υπάρχει πρωτίστως σε ηλεκτρονική μορφή –και λόγω αυτού, να “κάνει” πράγματα πολύ πέραν εκείνων που “κάνει” ένα σύνηθες βιβλίο– και δευτερευόντως σε έντυπη, ώστε να είναι δυνατή η χρήση του και από τους αναγνώστες εκείνους –μάλλον τους περισσότερους– που δεν είναι ακόμα εξοικειωμένοι με τους νέους τρόπους ανάγνωσης και μελέτης.

*Η σπονδυλωτή δομή:
Οργάνωση του υλικού
σε αυτοτελή μαθήματα*

Ο δεύτερος λόγος που κάνει ασυνήθιστο τούτο το βιβλίο είναι ο τρόπος παρουσίασης του υλικού και ο διαφορετικός τρόπος μελέτης που αυτός υπαγορεύει. Η βασική ιδέα εδώ είναι η *σπονδυλωτή δομή*. Το συνεχές της “διδακτέας ύλης” σπάει σε έναν μεγάλο αριθμό –*σαράντα* στην περίπτωση μας– *αυτοτελών μαθημάτων*, καθένα από τα οποία παρουσιάζει και *ολοκληρώνει* ένα συγκεκριμένο θέμα κάθε φορά έτσι ώστε αυτό να είναι επίσης *αυτόνομο εξετάσιμο*. Να μπορεί δηλαδή ο φοιτητής να ελέγξει “επιτόπου” αν το έχει κατανοήσει ή όχι, λύνοντας έναν μικρό αριθμό –πέντε έως δέκα το πολύ– ασκήσεων πολλαπλής επιλογής.

Στο πνεύμα αυτής της σπονδυλωτής δομής το κάθε μάθημα αναπτύσσεται σε δύο φύλλα. Στην πρώτη σελίδα του *κύριου φύλλου* –στο *πρωτοσέλιδο*, όπως θα μπορούσαμε να το πούμε– παρουσιάζεται η *βασική θεωρία* του μαθήματος και ακολουθεί, στη δεύτερη σελίδα, ο αντίστοιχος *έλεγχος πολλαπλής επιλογής*. Ο αυστηρός περιορισμός της μιας σελίδας για την ανάπτυξη –χωρίς εννοιολογικά ή άλλα κενά– της βασικής θεωρίας κάθε μαθήματος ήταν η κατ’ εξοχήν συγγραφική πρόκληση του βιβλίου. Όμως όσο επιτυχής και αν είναι η μονοσέλιδη συμπύκνωση ενός θέματος, κάποια *διευκρινιστικά σχόλια* και μερικά *λυμένα παραδείγματα* είναι πάντα αναγκαία για μια πληρέστερη κατανόησή του από τον φοιτητή. Έτσι λοιπόν, στα κατάλληλα σημεία της κύριας σελίδας του μαθήματος υπάρχουν αριθμημένα τετραγωνάκια της μορφής [1], [2] κ.λπ. μέσω των οποίων παραπέμπεται ο αναγνώστης στο *φύλλο σημειώσεων* (το δεύτερο φύλλο του μαθήματος) για να δει κάποια *διευκρίνιση*, ένα *πρόσθετο σχόλιο* ή –στις περισσότερες περιπτώσεις– ένα *λυμένο παράδειγμα*. Το πλεονέκτημα του ηλεκτρονικού βιβλίου είναι εμφανές σε αυτό το σημείο. Κάνοντας κλικ στο αντίστοιχο τετραγωνάκι της κύριας σελίδας, έρχεται στην οθόνη, ως *παράθυρο*, η σχετική “σημείωση”, για να απομακρυνθεί λίγο αργότερα και ο αναγνώστης να επανέλθει στη μελέτη της βασικής σελίδας του μαθήματος.

Είναι φανερό ότι ένας τέτοιος τρόπος παρουσίασης του υλικού –η βασική θεωρία σε πρώτο πλάνο και οι διευκρινίσεις και τα παραδείγματα στο βάθος– είναι αυτός που υιοθετεί και το ανθρώπινο μυαλό όταν πρόκειται να απορροφήσει, με συγκροτημένο τρόπο, μια καινούργια γνώση. Πρέπει να ξεχωρίσει το βασικό από το δευτερεύον. Στην πραγματικότητα αυτός είναι επίσης ο τρόπος

που θα κρατούσε σημειώσεις ο *ιδανικός φοιτητής* του μαθήματος. Στην κύρια σελίδα θα συμπύκνωνε τα βασικά σημεία της θεωρίας και στο φύλλο σημειώσεων τις πιο σημαντικές διευκρινίσεις και τα λυμένα παραδείγματα που αναπτύχθηκαν στη διάρκεια του μαθήματος. Η σκοπιά του φοιτητή –δηλαδή η σκοπιά του *ανθρώπου που μαθαίνει*– ήταν η καθοδηγητική αρχή στον τρόπο που γράφηκε τούτο το βιβλίο.

*Προαιρετική μελέτη:
Βιβλιογραφικές
παραπομπές
Βιντεοσκοπημένες
διαλέξεις*

Η *βασική θεωρία* του πρωτοσέλιδου κάθε μαθήματος, σε συνδυασμό με το *φύλλο σημειώσεων*, είναι, βεβαίως, απολύτως επαρκής για την προετοιμασία του φοιτητή και η προσφυγή σε άλλες πηγές δεν είναι καθόλου αναγκαία. Όμως για όσους ενδιαφέρονται για περαιτέρω μελέτη –πέραν των εξεταστικών απαιτήσεων του μαθήματος– θεωρήσαμε χρήσιμο να υπάρχουν στο τέλος του φύλλου σημειώσεων και οι κατάλληλες παραπομπές σε συγκεκριμένες σελίδες δύο βιβλίων ώστε η πρόσθετη αυτή μελέτη να είναι πραγματικά εστιασμένη και αποδοτική. Ένα εικονίδιο της μορφής □, στο τέλος του φύλλου σημειώσεων, ειδοποιεί επίσης τον αναγνώστη ότι στον ιστότοπο του βιβλίου (www.cup.gr) υπάρχουν –όπου υπάρχουν– μία ή περισσότερες βιντεοσκοπημένες διαλέξεις του συγγραφέα πάνω στο αντικείμενο του συγκεκριμένου μαθήματος ή ενός ζεύγους μαθημάτων που δηλώνονται με τους λατινικούς χαρακτήρες I και II. Ο αναγνώστης θα κρίνει ποιες από αυτές τις διαλέξεις τού είναι χρήσιμες και ποιες όχι. Πάντως σίγουρα δεν είναι υποχρεωτικές.

*Το θέμα
και ο σκοπός
του βιβλίου*

Το θέμα του βιβλίου είναι, βεβαίως, αυτό που παρουσιάζεται στον τίτλο του: μια *στοιχειώδης εισαγωγή στην κβαντική φυσική*. Δηλαδή μια παρουσίαση της κβαντικής θεωρίας –των *θεμελιωδών αρχών* και των *βασικών εφαρμογών* της– ως τμήμα του μαθήματος της *γενικής φυσικής*. Απευθύνεται επομένως σε δευτεροετείς φοιτητές των σχολών θετικών επιστημών –κυρίως των Τμημάτων Φυσικής, Χημείας και Επιστήμης Υλικών– καθώς και των πολυτεχνικών σχολών της χώρας, ιδιαίτερα των Τμημάτων Ηλεκτρολόγων και Χημικών Μηχανικών. Για τον αναγνώστη που έχει υπ’ όψιν του τα δύο βιβλία κβαντομηχανικής του υπογράφοντος –την *Κβαντομηχανική I* και την *Κβαντομηχανική II*– τούτο εδώ θα μπορούσε να θεωρηθεί και ως η *Κβαντομηχανική “0”*. Ένα βιβλίο που διαφέρει σίγουρα από ένα βιβλίο κβαντομηχανικής –διότι σαφώς δεν αποσκοπεί στην πλήρη και συστηματική ανάπτυξη του κβαντομηχανικού φορμαλισμού– διαφέρει όμως επίσης από ένα τυπικό βιβλίο σύγχρονης φυσικής, διότι εδώ καταβάλλεται προσπάθεια να παρουσιαστούν οι κβαντομηχανικές αρχές με όσο γίνεται πιο *συνεκτικό τρόπο*. Χωρίς, βέβαια, να φύγει η έμφαση από τον κύριο στόχο ενός εισαγωγικού μαθήματος κβαντικής φυσικής, που δεν μπορεί παρά να είναι τούτος: Μια πλήρης –αν και στοιχειώδης– παρουσίαση και ερμηνεία των βασικών δομών της ύλης: από το άτομο έως το κρυσταλλικό στερεό. Ωστε, στο τέλος ενός τέτοιου μαθήματος, ο φοιτητής να έχει κατανοήσει με σαφήνεια: α) την κβαντική ερμηνεία του περιοδικού συστήματος των στοιχείων, β) την κβαντική θεωρία του χημικού δεσμού και την εφαρμογή της σε απλά μόρια, και γ) την κβαντική θεωρία της αγωγίμης συμπεριφοράς και ειδικότερα εκείνης των ημιαγωγών. Και να έχει κατανοήσει επίσης τις βασικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη και να είναι σε θέση να εφαρμόσει τα όσα έμαθε για να περιγράψει –ποιοτικά και ποσοτικά– τη λειτουργία μιας θεμελιώδους τεχνολογικής ανακάλυψης: του *σωλήνα λείζερ*. Αμέσως μετά την επιτυχή παρακολούθηση ενός τέτοιου μαθήματος, ο φοιτητής θα πρέπει να είναι σε θέση να παρακολουθήσει ένα ευρύ φάσμα μαθημάτων εφαρμοσμένης ή τεχνολογικής κατεύθυνσης, για τα οποία μια καλή κατανόηση των βασικών κβαντικών εννοιών και μεθόδων είναι το βασικό προαπαιτούμενο.

Για την πιο οργανωμένη παρουσίαση του υλικού, το σύνολο των σαράντα μαθημάτων έχει χωριστεί σε πέντε ενότητες με δέκα μαθήματα καθεμιά από τις τρεις πρώτες και από πέντε οι δύο τελευταίες. Στο τέλος κάθε ενότητας, ο φοιτητής καλείται να λύσει ένα συγκεντρωτικό τεστ αυτοαξιολόγησης ενώ τρία επιπλέον τεστ “εφ’ όλης της ύλης” δίνονται στο τέλος του βιβλίου.

*Η εκπαιδευτική
«φιλοσοφία»
του βιβλίου*

Υπονοείται ήδη σαφώς από τα παραπάνω ότι η εκπαιδευτική φιλοσοφία τούτου του βιβλίου είναι ριζικά διαφορετική από εκείνη ενός συμβατικού συγγράμματος. Εδώ ο φοιτητής καλείται να μάθει περισσότερο “*πράττοντας*” –δηλαδή λύνοντας τα τεστ πολλαπλής επιλογής κάθε μαθήματος και διαπιστώνοντας ο ίδιος τα κενά και τις αδυναμίες του– και λιγότερο *διαβάζοντας*. Η, τουλάχιστον, διαβάζοντας με τον συνήθη παθητικό τρόπο. Μάλιστα η σύστασή μου προς τον φοιτητή είναι σαφής πάνω σ’ αυτό. Να αφιερώνει σχετικά λίγο χρόνο στην αρχική μελέτη του θεωρητικού μέρους κάθε μαθήματος –μισή έως μία ώρα είναι συνήθως αρκετή– και να επανέρχεται για έναν “*δεύτερο γύρο*” έχοντας λύσει πρώτα το αντίστοιχο τεστ. Ένας τέτοιος τρόπος μελέτης είναι πολύ πιο παραγωγικός, γιατί η επιστροφή στη θεωρία ύστερα από την επίλυση ενός σχετικού τεστ δίνει τη δυνατότητα στον φοιτητή να επικεντρωθεί με μεγαλύτερη ωριμότητα στα καίρια σημεία του μαθήματος έχοντας ήδη αποκτήσει και μια σαφή εικόνα του είδους των ερωτημάτων που θα του ζητηθούν σε μια εξέταση. Γιατί δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι αυτή είναι πάντα μια βασική αγωνία του φοιτητή που παρακολουθεί ένα μάθημα ή διαβάζει ένα σχετικό βιβλίο. Διερωτάται τι από όλα όσα ακούει ή διαβάζει μπορεί να είναι αντικείμενο μιας εξέτασης. Τα συγκεκριμένα τεστ στο τέλος κάθε ενότητας, καθώς και τα τεστ “*εφ’ όλης της ύλης*” στο τέλος του βιβλίου, θα τον βοηθήσουν ακόμα περισσότερο να ολοκληρώσει τη μελέτη του και, βέβαια, να αξιολογήσει την ετοιμότητά του για τις οποιεσδήποτε –ενδιάμεσες ή τελικές– εξετάσεις. Είναι σαφές ότι η ανάγκη του φοιτητή να ανταποκριθεί επιτυχώς στις εξετάσεις δεν αντιμετωπίζεται “*αφ’ υψηλού*” σε τούτο το βιβλίο. Αντίθετα, θεωρείται ως ένα πολύ υγιές κίνητρο που, αν αξιοποιηθεί σωστά, μπορεί να έχει εξαιρετικά μαθησιακά αποτελέσματα.

*Χρονική διάρκεια
και τρόπος
βαθμολόγησης
των ελέγχων
πολλαπλής επιλογής*

Οι κανόνες για τους ελέγχους πολλαπλής επιλογής είναι βεβαίως γνωστοί: +3 για τη σωστή απάντηση και -1 για τη λανθασμένη. Για ένα τεστ με τέσσερις απαντήσεις, όπως τα δικά μας, ο παραπάνω τρόπος βαθμολόγησης εξασφαλίζει μηδενικό αποτέλεσμα κατά μέσο όρο για όποιον επιχειρεί να απαντήσει τις ερωτήσεις με τυχαίο τρόπο. Η τυχαία επιλογή δεν επιβραβεύεται.

Ως προς τη χρονική διάρκεια ανά ερώτηση ενός τεστ πολλαπλής επιλογής, αυτή εξαρτάται φυσικά από το επίπεδο δυσκολίας των ερωτήσεων, όμως ο πρακτικός κανόνας είναι περίπου ο εξής: *τρία έως τέσσερα λεπτά ανά ερώτηση*. Ορισμένες ερωτήσεις, βεβαίως, μπορούν να απαντηθούν σε λιγότερο από ένα λεπτό ενώ άλλες μπορεί να χρειαστούν ακόμα και περισσότερα από πέντε λεπτά, ανάλογα με την “*ετοιμότητα*” του εξεταζόμενου. Η προετοιμασία και η αυτοεξέταση του φοιτητή θα είναι ρεαλιστικές, αν τα παραπάνω χρονικά όρια τηρηθούν στα συγκεκριμένα τεστ στο τέλος των επιμέρους εννοιών ή όλου του βιβλίου, ενώ οι χρόνοι μπορούν να είναι πιο χαλαροί για τις ασκήσεις πολλαπλής επιλογής του κάθε μαθήματος. Ας πούμε πέντε λεπτά ανά ερώτηση.

Κατά τη λύση των ασκήσεων ο φοιτητής μπορεί να συμβουλευέται το δισέλιδο *τυπολόγιο* που δίνεται στο τέλος του κειμένου. Δεν κρίθηκε όμως σκόπιμο να δοθούν εκεί και οι απαντήσεις των ασκήσεων, οι οποίες θα πρέπει να αναζητηθούν στον ιστότοπο του βιβλίου (www.cup.gr).

*Οργάνωση
ενός μαθήματος
βασισμένου
στο βιβλίο*

Ο πολύ εισαγωγικός χαρακτήρας του βιβλίου –υπενθυμίζουμε ότι ανήκει στον κύκλο της *γενικής φυσικής*– αλλά και η ιδιαιτερότητα της εκπαιδευτικής προσέγγισης που επιχειρεί, επιβάλλουν όμως και μια συζήτηση για τον τρόπο οργάνωσης ενός μαθήματος που θα βασιστεί σε αυτό ως διδακτικό εγχειρίδιο.

Μερικές σχετικές σκέψεις από την προσωπική μου εμπειρία ίσως είναι χρήσιμες. Κατ’ αρχάς, το εβδομαδιαίο δώρο ασκήσεων –σύνηθες για ένα τέτοιο μάθημα– δεν πρέπει να είναι μια ακόμα παθητική διαδικασία για τον φοιτητή –που θα παρακολουθεί κάποιον να λύνει ασκήσεις στον πίνακα για λογαριασμό του!– αλλά ένα *δώρο εργασίας*. Οι φοιτητές θα παίρνουν ένα αντίγραφο των ασκήσεων πολλαπλής επιλογής που αντιστοιχούν στα μαθήματα που διδάχτηκαν στη διάρκεια της εβδομάδας, ή μια επιλογή από αυτές, και θα εργάζονται εκεί για τη λύση τους. Οι απαντήσεις μπορούν να δίνονται προς το τέλος του δώρου –ώστε οι φοιτητές να αξιολογούν οι ίδιοι την επίδοσή τους– και να

συζητούνται κυρίως οι ασκήσεις στις οποίες αστόχησαν οι περισσότεροι. Και εννοείται, βεβαίως, ότι η αυτοβαθμολόγηση των φοιτητών είναι για αποκλειστικά δική τους χρήση.

Ως προς την επίσημη αξιολόγηση από τον διδάσκοντα, αυτή μπορεί να γίνει με μια ποικιλία τρόπων που εκτείνονται από ένα καθαρό σύστημα πολλαπλής επιλογής έως ένα μεικτό σύστημα που περιλαμβάνει και συμβατικά προβλήματα. Ενώ δεν αποκλείεται και ένα καθαρά *παραδοσιακό σύστημα* με συμβατικά προβλήματα, όπως αυτά που λύνονται στα φύλλα σημειώσεων ή αυτά που δίνονται στην ιστοσελίδα του βιβλίου ως “σειρές ασκήσεων” για κατ’ οίκον εργασία από τους φοιτητές. Και βεβαίως ο διδάσκων έχει πάντα τη δυνατότητα να μετατρέψει σε κοινές ασκήσεις πολλά από τα ερωτήματα πολλαπλής επιλογής του βιβλίου. Ύστερα από πολλές δοκιμές η δική μου προτίμηση είναι προς ένα *καθαρό σύστημα πολλαπλής επιλογής* με τρία μικρά τεστ των είκοσι ερωτήσεων στη διάρκεια του εξαμήνου και ένα μεγάλο τελικό τεστ των πενήντα ερωτήσεων στο τέλος του μαθήματος. Και με έναν από τους ακόλουθους δύο τρόπους βαθμολόγησης:

$$\text{I. Τελικός βαθμός} = \max \{ \text{μέσος όρος ενδιάμεσων τεστ} \times 0,3 + \text{βαθμός} \\ \text{τελικού τεστ} \times 0,7, \text{βαθμός τελικού τεστ} \}$$

$$\text{II. Τελικός βαθμός} = \text{μέσος όρος ενδιάμεσων τεστ} \times 0,15 + \text{βαθμός} \\ \text{τελικού τεστ} \times 1.$$

Και στις δύο περιπτώσεις η συμμετοχή ή μη στα ενδιάμεσα τεστ είναι προαιρετική για τον φοιτητή, στη δεύτερη όμως περίπτωση το κίνητρο για συμμετοχή είναι ισχυρότερο διότι ο βαθμός των ενδιάμεσων ελέγχων προστίθεται ως “δώρο” (με συντελεστή 15%) στον *πλήρη βαθμό* της τελικής εξέτασης. Από την προσωπική μου εμπειρία μπορώ να πω ότι ο δεύτερος τρόπος αξιολόγησης εξασφαλίζει υψηλά ποσοστά συμμετοχής στα ενδιάμεσα τεστ και άρα επιτυγχάνει τον βασικό σκοπό του που είναι βεβαίως να κρατηθούν οι φοιτητές σε ενεργό επαφή με το μάθημα και να μην διολισθήσουν στη συνήθη κατάσταση παθητικής παρακολούθησης των διαλέξεων, με τα γνωστά αποτελέσματα: παταγώδη αποτυχία στην τελική εξέταση. Έχοντας εφαρμόσει όλα τα συστήματα αξιολόγησης επί σειρά ετών –συμπεριλαμβανομένου του παραδοσιακού τρόπου με συμβατικά προβλήματα– μπορώ να επικαλεστώ τα πειραματικά δεδομένα για να πω ότι ο τρόπος εργασίας και αξιολόγησης που προτείνεται εδώ αυξάνει το ποσοστό επιτυχίας των φοιτητών σε σύγκριση με τον παραδοσιακό τρόπο, τουλάχιστον κατά 50%. Και σε ορισμένες περιπτώσεις –ιδίως αν εφαρμοστεί με συνέπεια το εβδομαδιαίο *δώρο εργασίας στην τάξη*– κατά 100%. Το ποσοστό επιτυχίας –που κυμαίνεται με το παραδοσιακό σύστημα γύρω στο 30-40% για τους πρωτοεξεταζόμενους φοιτητές– ανεβαίνει στο 55-65%.

Με ένα σύνολο ασκήσεων πολλαπλής επιλογής της τάξεως των πεντακοσίων, είναι φανερό ότι η δυνατότητα αποστήθισης ή, έστω, μηχανικής εκμάθησης των λύσεων είναι ανύπαρκτη. Επομένως από αυτό το ίδιο σύνολο –το πολύ με κάποιες αριθμητικές παραλλαγές– θα μπορούν να επιλέγονται οι ασκήσεις τόσο των ενδιάμεσων όσο και του τελικού τεστ. Αυτό εμπνέει αίσθημα σιγουριάς στον φοιτητή, ο οποίος ενθαρρύνεται έτσι να καταβάλλει επικεντρωμένη προσπάθεια για να μπορεί να λύνει αυτές τις ασκήσεις με τη βεβαιότητα ότι η προσπάθειά του θα επιβραβευθεί. Οι *καθαροί κανόνες* και οι *σαφείς οδηγίες* για τον τρόπο που θα πρέπει να εργαστεί ο φοιτητής, είναι νομίζω ένα βασικό στοιχείο για την επιτυχία του μαθήματος τόσο από την πιο στενή σκοπιά του φοιτητή όσο και από την ευρύτερη του δασκάλου.

Με το μεγάλο πλήθος φοιτητών που αναμένεται να παρακολουθούν ένα τέτοιο μάθημα, οι εξετάσεις με το σύστημα της πολλαπλής επιλογής μπορούν να είναι “ασφαλείς” μόνο αν τα “φύλλα ερωτήσεων” που δίνονται στους φοιτητές –παρότι “ταυτόσημα”– διαφέρουν μεταξύ τους τόσο ως προς τη σειρά των ερωτήσεων όσο και ως προς τη θέση της σωστής απάντησης. Αυτό το “ανακάτεμα” μπορεί να γίνει αποτελεσματικά μόνο με ηλεκτρονικό τρόπο και το σχετικό πρόγραμμα θα είναι στη διάθεση των διδασκόντων.

Γιατί
πολλαπλή
επιλογή

Αν και τα προηγούμενα αποτελούν μια έμμεση υπεράσπιση της έμφασης που δίνεται σε τούτο το βιβλίο στην πολλαπλή επιλογή, ως εκπαιδευτικό εργαλείο, εντούτοις μια πληρέστερη επιχειρηματολόγηση είναι μάλλον αναγκαία.

Πρώτα το προφανές. Υπό τον όρο ότι μια καλή βάση ερωτήσεων έχει ήδη δημιουργηθεί, η πολλαπλή επιλογή είναι ο μόνος *αποτελεσματικός* (και ταυτόχρονα *αντικειμενικός*) τρόπος αξιολόγησης των φοιτητών σε μαζικά πανεπιστημιακά μαθήματα εισαγωγικού επιπέδου. Διότι όταν ο αριθμός των εξεταζόμενων φοιτητών φτάνει στις εκατοντάδες, η διόρθωση συμβατικών “γραπτών” από έναν διδάσκοντα γίνεται παρωδία διόρθωσης, ενώ το μοίρασμά τους σε περισσότερους οδηγεί σε διόρθωση “πολλών ταχυτήτων” όταν είναι γνωστό, μεταξύ άλλων, ότι κάποιιοι από εμάς τείνουν να αξιολογούν και τη “θετική προσπάθεια” του φοιτητή ενώ άλλοι μόνο την επιτυχία της έκβαση. Η πολλαπλή επιλογή, όχι μόνο διασφαλίζει την απόλυτη ομοιομορφία της βαθμολόγησης, αλλά επιτρέπει επίσης και τη διάσπαση των τάξεων σε μικρά τμήματα εφόσον οι διδάσκοντες έχουν συμφωνήσει σε μια κοινά αποδεκτή βάση ερωτήσεων.

Όμως και στο καθαρά εκπαιδευτικό επίπεδο η πολλαπλή επιλογή – πάντα για μαζικά εισαγωγικά μαθήματα – προσφέρει δυνατότητες που τις αντιλαμβάνεται εύκολα όποιος εγκύψει λίγο περισσότερο στο ζήτημα. Παραδείγματος χάριν, με πολλαπλή επιλογή μπορεί να ρωτήσει κανείς μια ερώτηση με πολλούς εναλλακτικούς τρόπους και να διεγείρει έτσι την εγρήγορση του φοιτητή απέναντι σε πιθανές παρανοήσεις που διαφορετικά θα παρέμεναν “εν υπνώσει” υπονομεύοντας τη “σταθερότητα” της γνώσης που αποκτήθηκε. Με πολλαπλή επιλογή μπορούν επίσης να τεθούν εννοιολογικά ερωτήματα που θα βοηθήσουν τον φοιτητή να οξύνει την κατανόησή του σε λεπτές κβαντικές έννοιες που συχνά παρανοούνται ή είναι κατανοητές με έναν πολύ νεφελώδη τρόπο.

Σε ένα πιο γενικό επίπεδο, η πολλαπλή επιλογή – ακριβώς επειδή διασπά το συνεχές του κάθε θέματος στα στοιχειώδη κομμάτια του και οι ερωτήσεις ελέγχουν ένα από αυτά τα “κομμάτια” κάθε φορά – έχει το σαφές πλεονέκτημα ότι επιτρέπει στον φοιτητή να έχει πλήρη επίγνωση της φύσης των λαθών που έκανε και να διδάσκεται από αυτά. Και γι’ αυτόν ακριβώς το λόγο ενθαρρύνει την αυτενέργεια των φοιτητών και κάνει επίσης δυνατή την *εργασία στην τάξη*, που αποδεικνύεται ανέφικτη με συμβατικά προβλήματα.

Υπάρχει βεβαίως και το προφανές μειονέκτημα ότι η πολλαπλή επιλογή δεν επιτρέπει να αναδειχθούν – και να ενθαρρυνθούν – και άλλες σημαντικές δεξιότητες των φοιτητών, όπως η ικανότητα για *συνθετική εργασία* ή η ικανότητα για *εύληπτη ή/και ενδιαφέρουσα παρουσίαση ενός θέματος* τόσο αναγκαία για κάθε αυριανό επιστήμονα. Είναι προφανές όμως ότι σε μαζικά εισαγωγικά μαθήματα τέτοιοι υψηλοί εκπαιδευτικοί στόχοι – ιδιαίτερα στις συνθήκες του ελληνικού πανεπιστημίου – ανήκουν στη σφαίρα της ουτοπίας.

Επιλογές
και παραλείψεις

Κανένα βιβλίο κβαντικής φυσικής δεν αναμένεται, βεβαίως, να καλύπτει πλήρως το αντικείμενό του, όπως δεν αναμένεται να κάνει το ίδιο και το αντίστοιχο μάθημα. Οι *επιλογές* – και, κυρίως, οι *παραλείψεις* – είναι ουσιώδες στοιχείο της εκπαιδευτικής άποψης ενός βιβλίου όπως και ενός μαθήματος. Για τις επιλογές η δική μας άποψη έγινε, νομίζουμε, αρκετά σαφής στα προηγούμενα. Επιλέχθηκαν εκείνα τα θέματα που αποτελούν βασικό προαπαιτούμενο για το ευρύτερο δυνατό φάσμα μεταγενέστερων μαθημάτων εφαρμοσμένης και τεχνολογικής κατεύθυνσης. Υπάρχουν όμως και ορισμένες προφανείς παραλείψεις που πρέπει να δικαιολογηθούν. Συγκεκριμένα οι εξής δύο: Η *στοιχειώδης φυσική του πυρήνα* και η *χημεία του άνθρακα*. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η ύπαρξη άλλων *δέκα* (= 5 + 5) “μαθημάτων” γι’ αυτές τις δύο περιοχές θα έκανε το βιβλίο πολύ πιο πλήρες από ό,τι στην παρούσα του μορφή. Ελπίζεται ότι αυτό το έλλειμμα – φυσική του πυρήνα και χημεία του άνθρακα – θα καλυφθεί στην πρώτη επανέκδοση του βιβλίου, ώστε να έχει ο διδάσκων την ευχέρεια να επιλέξει ο ίδιος ποια μέρη θα συμπεριλάβει στη διδασκαλία του και ποια όχι. Είναι προφανές, παραδείγματος χάριν, ότι σε ένα Τμήμα Χημείας ή Επιστήμης Υλικών, η χημεία του άνθρακα δεν μπορεί να μείνει έξω ενώ η φυσική του πυρήνα σίγουρα μπορεί.

Λίγα λόγια τώρα για την ηλεκτρονική εκδοχή του βιβλίου. Όπου το *επίκεντρο* θα είναι πλέον η κύρια σελίδα κάθε μαθήματος –το *πρωτοσέλιδο*– με κατάλληλα εικονίδια πάνω της, μέσω των οποίων θα καλούνται στην οθόνη –υπό μορφήν *παράθυρων*– όλα τα πρόσθετα στοιχεία του μαθήματος. Οι επιμέρους σημειώσεις πρώτα απ’ όλα, και κατόπιν το αντίστοιχο τεστ πολλαπλής επιλογής.

Όμως οι δυνατότητες που προσφέρει η ηλεκτρονική μορφή είναι πολύ περισσότερες. Παραδείγματος χάριν, η επιλογή των σωστών απαντήσεων και η αυτοαξιολόγηση στα τεστ πολλαπλής επιλογής μπορούν να γίνονται επί της οθόνης και να δείχνεται μετά στον φοιτητή ποιες από τις απαντήσεις που έδωσε είναι σωστές και ποιες λάθος. Χωρίς όμως να δίνεται η σωστή απάντηση στις εσφαλμένες επιλογές του, ώστε να έχει τη δυνατότητα να τις ξανασκεφτεί –που είναι μια θεμελιώδης διαδικασία μάθησης καθ’ εαυτή– και να ξαναδοκιμάσει.

Τα προηγούμενα αποτελούν τον “σκληρό πυρήνα” του ηλεκτρονικού βιβλίου. Ο φοιτητής μπορεί άνετα να περιοριστεί σε αυτόν και να αισθάνεται σίγουρος ότι μπορεί να ανταποκριθεί πλήρως στις απαιτήσεις του μαθήματος. Όμως το ηλεκτρονικό βιβλίο –σε αντίθεση με το έντυπο– έχει τη δυνατότητα να προσφέρει και επιλογές για ειδικά υποσύνολα των αναγνωστών του. Έτσι, στο κάτω δεξιό μέρος της κύριας σελίδας του μαθήματος υπάρχουν πέντε εικονίδια μέσω των οποίων προσφέρονται στον αναγνώστη επιλογές όπως οι ακόλουθες.

1. Να μπει στην “*αίθουσα διαλέξεων*” για να παρακολουθήσει ένα *βιντεοσκοπημένο μάθημα* σχετικό με το περιεχόμενο του συγκεκριμένου μαθήματος ή μια *παρουσίαση σε power point* γι’ αυτό το θέμα.
2. Να μπει στο “*εικονικό εργαστήριο*” για να εκτελέσει ένα *πείραμα προσομοίωσης* σχετικό με το μάθημα ή να δει –όπου είναι δυνατό– ένα *αντίστοιχο βιντεοσκοπημένο πείραμα επίδειξης*.
3. Να μπει στο “*υπολογιστικό εργαστήριο*” όπου θα βρει υποδείξεις για το πώς μπορεί να εκτελέσει έναν μη τετριμμένο κβαντομηχανικό υπολογισμό ή μια γραφική παράσταση σε ένα πρόγραμμα όπως η *Mathematica*.
4. Να μπει στην “*ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια*” για να διαβάσει θέματα σχετικά με το περιεχόμενο του μαθήματος, όπως π.χ. ένα *βιογραφικό σημείωμα* για τον φυσικό που συνδέεται με την αντίστοιχη ανακάλυψη ή ένα σύντομο άρθρο για μια *βασική τεχνολογική εφαρμογή* που προέκυψε από αυτήν.
5. Να μπει στο “*ηλεκτρονικό φροντιστήριο*” για να καλύψει τυχόν ελλείψεις του σε μαθηματικά, ή άλλα, προαπαιτούμενα διαφόρων μαθημάτων ή ομάδας μαθημάτων του βιβλίου.

Πέρα από τις ονομασίες –οι οποίες απηχούν τον τρόπο που οι επιστήμονες πληροφορικής προσπαθούν να δώσουν φυσική υπόσταση στον “άχωρο” ηλεκτρονικό χώρο– οι παραπάνω επιλογές δίνουν μια γεύση του νέου είδους βιβλίου, που είναι πια μπροστά μας. Σπεύδω όμως να τονίσω αμέσως ότι από τις επιλογές αυτές μόνο οι 1 και 5 (και ενδεχομένως η 4) θα είναι διαθέσιμες στην πρώτη έκδοση της ηλεκτρονικής μορφής του βιβλίου. Οι υπόλοιπες θα δημιουργούνται σταδιακά και θα προστίθενται στον ιστότοπο με τον οποίο θα είναι συνδεδεμένο το ηλεκτρονικό βιβλίο. Ως προς το περιεχόμενο της επιλογής 5, αυτό μπορεί να εξηγηθεί καλύτερα με ένα παράδειγμα. Όπως διαπιστώνεται εμπειρικά, πολλοί φοιτητές έχουν δυσκολία στην εκτέλεση απλών αλγεβρικών πράξεων με μιγαδικούς αριθμούς σαν αυτούς που απαιτούνται σε μερικά μαθήματα του Μέρους Β. Στο πρώτο μάθημα, όπου εμφανίζεται μια τέτοια ανάγκη, ένα κλικ στο σχετικό εικονίδιο φέρνει στον φοιτητή ένα πολύ απλό τεστ με το είδος των πράξεων που θα πρέπει να είναι σε θέση να εκτελεί χωρίς δυσκολία. Αν το περάσει, προχωρεί στο κύριο μέρος του μαθήματος· αν όχι, ζητάει “βοήθεια” και έρχεται στην οθόνη του μια μονοσέλιδη σύνοψη ενός φροντιστηριακού μαθήματος για το συγκεκριμένο θέμα και κατόπιν ένα δεύτερο τεστ για επιβεβαίωση ότι οι απαιτούμενες γνώσεις και δεξιότητες έχουν όντως αποκτηθεί.

Ας σημειωθεί ακόμα ότι η *ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια* καλύπτει και ένα σοβαρό έλλειμμα του δικού μας έντυπου βιβλίου έναντι των παραδοσιακών συγγραμμάτων σύγχρονης φυσικής στα οποία τα περιεχόμενά της είναι ενσωματωμένα στο ίδιο το τυπωμένο βιβλίο. Με αναπόφευκτη όμως παρενέργεια να είναι

δυσδιάκριτα τα όρια ανάμεσα στον “σκληρό πυρήνα” του βιβλίου –δηλαδή τα πράγματα που μπορεί και πρέπει να κατανοήσει πολύ καλά ο φοιτητής (και να εξεταστεί σε αυτά)– και το εγκυκλοπαιδικό του περίβλημα για το οποίο μια επιφανειακή κατανόηση είναι αρκετή. Εδώ τέτοιο ζήτημα δεν ανακύπτει και έτσι η ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια μπορεί να υπηρετήσει πιο αποτελεσματικά έναν εκπαιδευτικό στόχο –όπως π.χ. τη γενικότερη ενημέρωση του φοιτητή πάνω στις αρχές λειτουργίας βασικών τεχνολογικών εφαρμογών– ο οποίος σπανίως υπηρετείται από τα ειδικά μαθήματα που ακολουθούν το μάθημα της γενικής φυσικής. Και εναπόκειται, βέβαια, στον διδάσκοντα να αποφασίσει αν θέλει να συμπεριλάβει στην εξεταστέα ύλη και κάποια από τα θέματα αυτά δίνοντας ένα μικρό βαθμολογικό κίνητρο στην τελική εξέταση. Παραδείγματος χάριν, ένα 10-15% για τη σύνταξη ενός δισέλιδου δοκιμίου για μια σημαντική τεχνολογική εφαρμογή είτε ακόμα με την προσθήκη στο τελικό τεστ ενός μικρού αριθμού σχετικών ερωτήσεων πολλαπλής επιλογής. Εννοείται ότι όλα αυτά απαιτούν μεγαλύτερη προσπάθεια από τον διδάσκοντα, όμως η υποχρέωση ενός μαθήματος γενικής φυσικής να καλύψει και μια εγκυκλοπαιδική συνιστώσα μάθησης είναι δύσκολο να αποφευχθεί.

Είναι φανερό από τα παραπάνω ότι πέρα από τον σκληρό πυρήνα του –που περιέχει μόνο την αυστηρά εξεταστέα ύλη– το ηλεκτρονικό βιβλίο μπορεί να προσφέρει και πολλές άλλες –ακόμα και εξατομικευμένες– “υπηρεσίες” στους χρήστες του αδιανόητες για την τυπωμένη εκδοχή του. Και χάρις σε αυτά τα χαρακτηριστικά του το ηλεκτρονικό βιβλίο μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στο να απομακρυνθεί το σύστημα διδασκαλίας από τη σημερινή δασκαλοκεντρική μορφή του και να κινηθεί προς την κατεύθυνση της μεγαλύτερης αυτενέργειας εκ μέρους του φοιτητή. Δηλαδή προς την κατεύθυνση όπου η συνιστώσα της *αυτομελέτης* και της *αυτοαξιολόγησης* θα γίνεται διαρκώς μεγαλύτερη ενώ η από έδρας διδασκαλία θα περιορίζεται σε έναν πιο καθοδηγητικό ρόλο. Η εξ αποστάσεως εκπαίδευση έχει να μας προσφέρει πολλά χρήσιμα στοιχεία πάνω σ’ αυτό.

*Κοιτάζοντας
προς το μέλλον:
Το «έξυπνο» βιβλίο*

Κάνοντας ένα άλμα προς το μέλλον μπορεί να ονειρευτεί κανείς ακόμα και το *έξυπνο βιβλίο*. Στην περίπτωση μας, παραδείγματος χάριν, αν οι ασκήσεις πολλαπλής επιλογής είναι φτιαγμένες ώστε οι λανθασμένες απαντήσεις τους να μην είναι τυχαίες αλλά να αποκαλύπτουν κάποια συστηματική παρανόηση, ή άλλου είδους γνωστικό έλλειμμα εκ μέρους του φοιτητή, τότε, μετά το τέλος του τεστ, θα εμφανίζεται στην οθόνη ένα παράθυρο με τις κατάλληλες υποδείξεις σχετικά με τις πιθανές παρανοήσεις του φοιτητή ο οποίος επέλεξε τις συγκεκριμένες εσφαλμένες απαντήσεις. Το “έξυπνο βιβλίο” έχει επίσης τη δυνατότητα να κρατάει στη μνήμη του τις εσφαλμένες επιλογές του φοιτητή στα τεστ των επιμέρους μαθημάτων και να τις ανασύρει όταν ο ίδιος επιλέγει να προετοιμαστεί για μια εξέταση. Και το πρώτο που θα έπρεπε να κάνει σε αυτή την περίπτωση είναι να ελέγξει κατά πόσον μπορεί να απαντήσει σωστά στις ερωτήσεις στις οποίες είχε παλιότερα αποτύχει.

Τουλάχιστον με τον τρόπο που το αντιλαμβανόμαστε εδώ, αν το ηλεκτρονικό βιβλίο –και ειδικότερα το εκπαιδευτικό ηλεκτρονικό βιβλίο– πρόκειται να έχει μέλλον, αυτό δεν θα το οφείλει στη σημερινή πρωτόγονη μορφή του (να είναι δηλαδή απλώς το *έντυπο βιβλίο επί της οθόνης*) αλλά στη δυνατότητά του να είναι ένα *άλλο είδος βιβλίου*. Που συλλαμβάνεται και “γράφεται” εξ αρχής με πλήρη επίγνωση των δυνατοτήτων του νέου μέσου. Αυτό το νέο είδος βιβλίου προσπάθησα να ανιχνεύσω γράφοντας αυτό εδώ.

*Και μια
προσωπική
αναδρομή*

Θέλω να κλείσω με μια πιο προσωπική νότα. Από ενδιαφέρουσα σύμπτωση η κυκλοφορία τούτου του βιβλίου συμπίπτει με το πέρασμα τριάντα χρόνων από την έκδοση, το 1981, του πρώτου τόμου της παλιάς κβαντομηχανικής μου που ήταν ταυτόχρονα και το πρώτο μου βιβλίο. Το βιβλίο εκείνο στοιχειοθετήθηκε με τεχνολογία Γουτεμβέργιου! Μεταλλικά στοιχεία, κάσες, κ.λπ., κ.λπ. Μέσα από τα επόμενα βιβλία μου παρακολούθησα όλα τα κύματα των αλλαγών που άλλαξαν την τέχνη του βιβλίου πολύ περισσότερο από όσο μπόρεσαν να την αλλάξουν όλοι οι προηγούμενοι αιώνες μαζί. Φωτοσύνθεση, desktop publishing,

print on demand, ... Αλληπάλληλες μικρές επαναστάσεις που έγιναν, βεβαίως, δυνατές χάρις στη χιονοστιβάδα τεχνολογικών εξελίξεων που έθεσε σε κίνηση η ανακάλυψη της κβαντομηχανικής. Ωστόσο από τη σκοπιά του αναγνώστη, ή του συγγραφέα, το βιβλίο ως υλικό αντικείμενο παρέμεινε πρακτικά αμετάβλητο. Ο Γουτεμβέργιος σίγουρα θα πάθαινε σοκ αν έβλεπε πώς στοιχειοθετείται –και, ακόμα περισσότερο, πώς μπορεί να τυπώνεται– σήμερα ένα βιβλίο. Θα αισθανόταν όμως πολύ άνετα αν έβλεπε μόνο το τελικό αποτέλεσμα: ένα τυπωμένο βιβλίο. Ως προς αυτό, τα πράγματα ελάχιστα άλλαξαν. Η πραγματική επανάσταση –αυτή που αλλάζει όχι μόνο τον τρόπο παραγωγής αλλά το ίδιο το βιβλίο ως φυσικό αντικείμενο και ως περιεχόμενο– είναι αυτή που βρίσκεται τώρα σε εξέλιξη: είναι το *ηλεκτρονικό βιβλίο*. Μια επανάσταση που οι συνέπειές της θα γίνουν πολύ νωρίτερα εμφανείς στον χώρο του εκπαιδευτικού βιβλίου. Και όπως συμβαίνει πάντα με τις μεγάλες τεχνολογικές καινοτομίες –το διαδίκτυο είναι ένα καλό παράδειγμα– τα αποτελέσματα θα καλύπτουν όλο το αξιολογικό φάσμα: από τα *διαμάντια* έως τα *σκουπίδια*. Αλλά αυτή δεν είναι πάντα η γοητεία και η πρόκληση του μέλλοντος; Ότι εξαρτάται και από τις δικές μας επιλογές;

Στέφανος Τραχανάς
Ηράκλειο, Οκτώβριος 2011

Ευχαριστίες

Από τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης ευχαριστώ τη Σοφία Βλάχου για την ωραία –όπως πάντα– στοιχειοθεσία και διαμόρφωση του κειμένου, τη Ρένα Λυδάκη για τον φιλολογικό έλεγχο και τη Διονυσία Δασκάλου για την τελική του φροντίδα. Από το Τμήμα Φυσικής πρωτίστως τον συνάδελφο Βασίλη Χαρμανδάρη –μέλος της Επιτροπής Σπουδών– στου οποίου τον ενθουσιασμό και τη θέληση οφείλεται, σε μεγάλο βαθμό, το ανανεωμένο ενδιαφέρον του Τμήματος για τη διδασκαλία, μέρος του οποίου ήταν και η απόφαση να βιντεοσκοπηθούν οι διαλέξεις ορισμένων βασικών μαθημάτων ώστε να είναι διαθέσιμες στους φοιτητές σε κάθε στάδιο της μελέτης τους. Η δυνατότητα του ηλεκτρονικού βιβλίου να προσφέρει και μια πλήρη σειρά βιντεοσκοπημένων μαθημάτων κβαντικής φυσικής είναι απόρροια αυτής της απόφασης. Εννοείται ότι η σειρά αυτή είναι ελεύθερα προσβάσιμη τόσο μέσω των ιστοσελίδων του Φυσικού Τμήματος όσο και από τον ιστότοπο του βιβλίου μαζί με το υπόλοιπο υλικό που θα βρίσκεται εκεί. Η δημιουργία του ηλεκτρονικού βιβλίου –με τις προδιαγραφές που αναφέρθηκαν προηγουμένως– είναι, βεβαίως, ένα εγχείρημα πολύ πιο δύσκολο και η οφειλόμενη αναγνώριση στους συντελεστές του θα γίνει από τις “σελίδες” του.

Θέλω να ευχαριστήσω, τέλος, τον ειδικό Πληροφορικής κ. Νίκο Γκικόπουλο για την ωραία επεξεργασία που έκανε, για λογαριασμό των ΠΕΚ, ενός ελεύθερου (αλλά μάλλον “πρωτόγονου”) προγράμματος ανάμειξης ερωτήσεων πολλαπλής επιλογής, ώστε να παραχθεί ένα στοιχειωδώς καλαίσθητο –και άρα λειτουργικό– αποτέλεσμα. Όπως είπαμε και πριν, το πρόγραμμα αυτό είναι δωρεάν διαθέσιμο στους ενδιαφερόμενους διδάσκοντες.