

ΚΑΤΑΤΑΚΤΗΡΙΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ ΕΤΟΥΣ 2021-2022

Τρίτη 8 Δεκεμβρίου 2022

Εξεταζόμενο Μάθημα: Ιατρική Φυσική

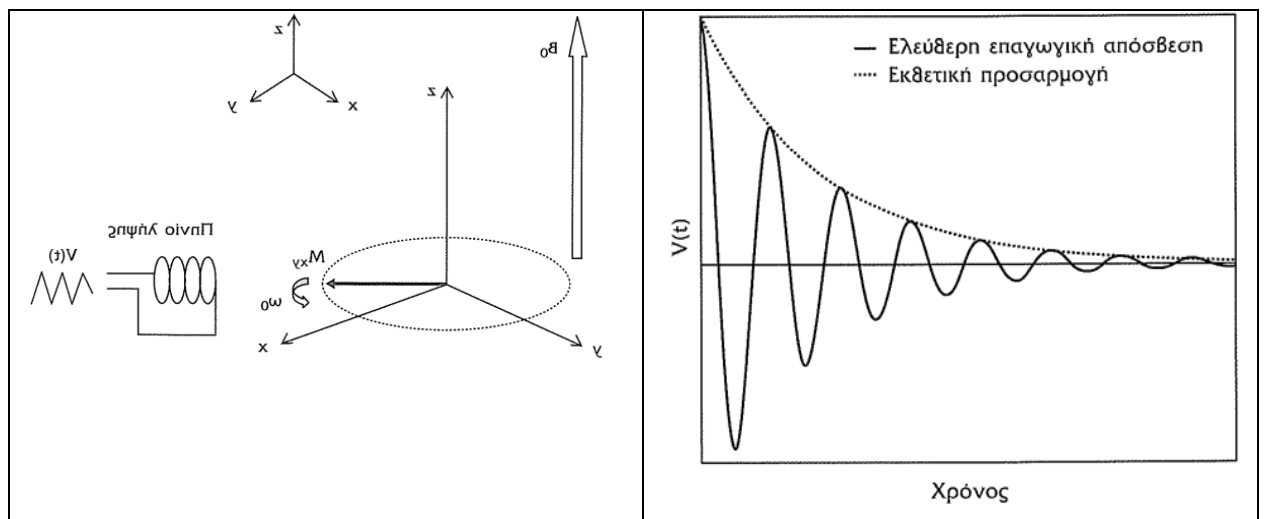
- Α) Εξηγήστε (και με σχήμα) πως δημιουργείται το σήμα ελεύθερης επαγωγικής απόσβεσης (free induction decay signal) στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού και ποια η σημασία του;
- Β) Τι είναι ο μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (ADC); Ποιοι παράμετροι χαρακτηρίζουν την αποτελεσματικότητα ενός ADC;
- Γ) Περιγράψτε τη διαδικασία δημιουργίας εικόνας στον αμφιβληστροειδή; Που περιορίζεται η κανονική όραση και που η ευκρινής; Γιατί το υπέρυθρο και το υπεριώδες φως δεν είναι ορατά;
- Δ) Σχεδιάστε την πιθανότητα αλληλεπίδρασης ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ανά μονάδα πάχους υλικού συναρτήσει της ενέργειας της ακτινοβολίας για τους τέσσερις βασικούς μηχανισμούς αλληλεπίδρασης ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ύλης στην περιοχή ενεργειών που ενδιαφέρει τις διαγνωστικές και θεραπευτικές εφαρμογές στην Ιατρική. Δικαιολογήστε την εμφάνιση ασυνεχειών ή κατωφλίων ενέργειας.

Ενδεικτικές Απαντήσεις:

Α) Η ανίχνευση του μαγνητικού συντονισμού και η δημιουργία σήματος, μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με τη δημιουργία εγκάρσιας μαγνήτισης (κάθετης στο B_0) διότι αυτή η εγκάρσια μαγνήτιση είναι χρονοεξαρτώμενη και έτσι (σύμφωνα με τον νόμο της επαγωγής του Faraday), μπορεί να επάγει τάση/ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα πηνίο δέκτη. Αυτό είναι και το

σήμα της ΑΜΣ που ανιχνεύεται και δημιουργεί την εικόνα και το οποίο ονομάζεται Σήμα Ελεύθερης Επαγωγικής Απόσβεσης. Η διαμήκης μαγνήτιση (παράλληλη στο B_0) στην κατάσταση θερμικής ισορροπίας είναι στατική και έτσι δεν ικανοποιεί τα κριτήρια για επαγωγή τάσης – ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα πηνίο.

Έστω λοιπόν η ιδανική περίπτωση στην οποία το μαγνητικό πεδίο B_0 είναι ομοιογενές και το σύστημα των πυρήνων έχει διεγερθεί από έναν παλμό 90° . Μετά τη λήξη του παλμού, το άνυσμα της εγκάρσιας μαγνήτισης M_{xy} εκτελεί περιστροφική κίνηση στο επίπεδο-xy με κυκλική συχνότητα ω_{Larmor} , ω_0 και το μέτρο του μειώνεται εκθετικά ($M_{xy}(t) = M_{xy}(0) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}$). Τοποθετώντας ένα σωληνοειδές πηνίο το οποίο έχει τον κύριο άξονα του παράλληλο στο επίπεδο-xy, σύμφωνα με τον νόμο του Faraday, επάγεται τάση στα άκρα του, η οποία προέρχεται από τις μεταβολές της μαγνητικής ροής στις σπείρες του πηνίου, λόγω περιστροφής του M_{xy} . Η τάση αυτή, $V(t)$, είναι ένα διαμορφωμένο κατά πλάτος ηλεκτρικό σήμα με φέρουσα συχνότητα τη συχνότητα ω_{Larmor} , ω_L , το οποίο μειώνεται με εκθετικό τρόπο με χρονική σταθερά τον χρόνο T_2 και το οποίο παράγεται αμέσως μετά την εφαρμογή του ραδιοπαλμού 90° . Το σήμα αυτό είναι ουσιαστικά η πηγή της πληροφορίας στον πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό και ονομάζεται σήμα ελεύθερης επαγωγικής απόσβεσης.



Στην πράξη, λόγω της ύπαρξης ανομοιογενειών του μαγνητικού πεδίου, το σήμα ελεύθερης επαγωγικής απόσβεσης (η τάση $V(t)$) φθίνει κατά εκθετικό τρόπο με χρονική σταθερά τον χρόνο T_2^* ο οποίος είναι μικρότερος από τον χρόνο T_2 . Ο ρυθμός μείωσης της εγκάρσιας μαγνήτισης είναι επομένως πιο έντονος λόγω της παρουσίας τοπικών ανομοιογενειών του μαγνητικού πεδίου, B_0 . Με άλλα λόγια τα πυρηνικά σπιν χάνουν τη συμφωνία φάσης τους στο εγκάρσιο επίπεδο πιο γρήγορα από ότι θα αναμενόταν λαμβάνοντας υπόψη

αποκλειστικά τη διαδικασία μαγνητικής αποκατάστασης με χρόνο T2. Επειδή οι ανομοιογένειες του μαγνητικού πεδίου δεν χαρακτηρίζουν το προς απεικόνιση δείγμα, συνήθως προτιμάται να απομακρυνθεί η επίδραση του χρόνου T2* στο σήμα ελεύθερης επαγωγικής απόσβεσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός παλμού 180° λίγο χρονικό διάστημα μετά την εφαρμογή του αρχικού παλμού των 90° και τη χρήση τεχνικών που είναι γνωστές ως τεχνικές Spin-Echo.

B) Ο Η/Υ μπορεί να εργασθεί μόνο με ψηφιακά σήματα, δηλαδή με μια ακολουθία διακριτών δυαδικών αριθμών. Με σκοπό να εισάγουμε ένα αναλογικό σήμα σε ένα Η/Υ για ανάλυση, αυτό πρέπει πρώτα να περάσει μέσα από έναν Μετατροπέα Αναλογικού σε Ψηφιακό Σήμα (ADC). Δηλαδή, το παρεχόμενο αναλογικό σήμα να μετατραπεί σε ψηφιακό σήμα που παράγεται στην έξοδο.

Ο ADC είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που υπολογίζει τη στιγμιαία τιμή της τάσης ενός αναλογικού σήματος σε τακτά χρονικά διαστήματα και τη μετατρέπει σε δυαδικό αριθμό.

Δύο είναι οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν την αποτελεσματικότητα ενός ADC: η ακρίβεια και ο ρυθμός δειγματοληψίας.

Η ακρίβεια δείχνει πόσο κοντά είναι η πραγματική ψηφιακή έξοδος στη θεωρητική ψηφιακή έξοδο για μια δεδομένη αναλογική είσοδο. Δηλώνει πόσα bit της ψηφιακής εξόδου αναπαριστούν χρήσιμη πληροφορία σχετικά με το σήμα εισόδου. Δηλαδή τις στάθμες με τις οποίες θέλουμε να αναπαραστήσουμε το σήμα μας.

Ο ρυθμός δειγματοληψίας, (πόσο γρήγορα καταγράφουμε δείγματα) πρέπει να ρυθμιστεί σύμφωνα με τον ρυθμό της μεταβολής του προς μετατροπή αναλογικού σήματος. Ο ADC λειτουργεί με βάση το θεώρημα Nyquist-Shannon, δηλαδή, ότι η συχνότητα της δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από την υψηλότερη συχνότητα της κυματομορφής.

Γ) Η αίσθηση της όρασης πραγματοποιείται με τη λειτουργία 3 κύριων συνιστωσών, των οφθαλμών, που εστιάζουν μια εικόνα του εξωτερικού κόσμου στον φωτοευαίσθητο αμφιβληστροειδή, του συστήματος των εκατομμυρίων νευρικών ινών που μεταφέρει την πληροφορία στο εσωτερικό του εγκεφάλου και της οπτικής περιοχής του φλοιού του εγκεφάλου όπου συναρμολογείται η εικόνα – είδωλο.

Το φως προσπίπτει αρχικά στον κερατοειδή χιτώνα, διασχίζει το υδατοειδές υγρό, την κόρη της ίριδας, τον φακό και το υαλοειδές υγρό, πριν καταλήξει στα κύτταρα του αμφιβληστροειδή, τα κωνία και τα ραβδία.

Τα δύο κύρια μέρη του οφθαλμού που γίνεται η εστίαση είναι ο κερατοειδής (υπεύθυνος για τα 2/3 της εστίασης) και ο φακός (υπεύθυνος για την τελική εστίαση). Ο κερατοειδής και ο φακός εστιάζουν διαθλώντας τις φωτεινές ακτίνες.

Ο αμφιβληστροειδής είναι το φωτοευαίσθητο τμήμα του οφθαλμού και μετατρέπει τις φωτεινές εικόνες σε ηλεκτρικές νευρικές ώσεις που μεταφέρονται στον εγκέφαλο. Η απορρόφηση ενός φωτονίου φωτός από τους φωτοϋποδοχείς προκαλεί τη δημιουργία δυναμικού δράσης προς τον εγκέφαλο. Το φωτόνιο της ορατής ακτινοβολίας φαίνεται πως προκαλεί φωτοχημική αντίδραση στον φωτοϋποδοχέα, στον οποίο με κάποιο τρόπο προκαλείται η δημιουργία του δυναμικού δράσης. Για να προκληθεί η αντίδραση, η ενέργεια του φωτονίου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από μία ελάχιστη τιμή.

Τα φωτόνια της υπέρουθρης περιοχής του φάσματος δεν έχουν αρκετή ενέργεια, οπότε δεν γίνονται ορατά. Αντίθετα, τα φωτόνια που βρίσκονται στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος, έχουν μεγάλη ενέργεια, αλλά απορροφώνται πριν φτάσουν στον αμφιβληστροειδή, οπότε δεν είναι ορατά.

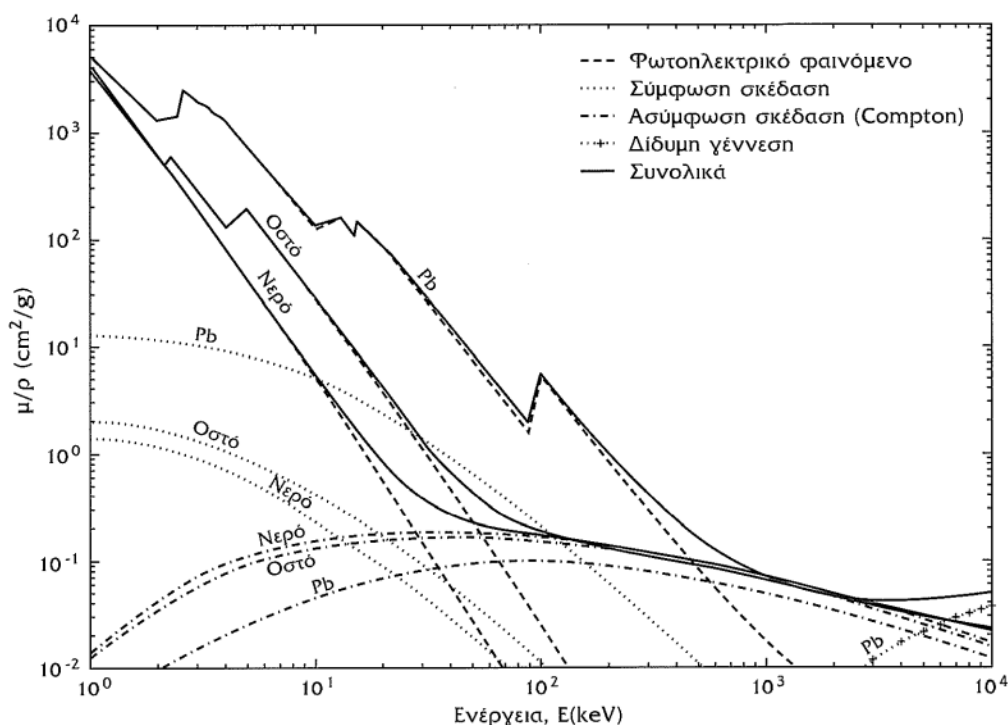
Αν και ο αμφιβληστροειδής καλύπτει κατά το ήμισυ το οπίσθιο μέρος του βολβού, η κανονική όραση περιορίζεται σε μια μικρή περιοχή που καλείται ωχρά κηλίδα. Ο μηχανισμός της ευκρινούς όρασης συμβαίνει σε πολύ μικρή περιοχή, μέσα στην ωχρά κηλίδα, που ονομάζεται κεντρικό βοθρίο.

Στο μεγαλύτερο μέρος του αμφιβληστροειδούς, τα κωνία και τα ραβδία δεν βρίσκονται στην επιφάνεια του, αλλά πίσω από μερικά στρώματα νευρικού ιστού, τα οποία το φως πρέπει να διαπεράσει για να φθάσει στους φωτοϋποδοχείς. Στο κεντρικό βοθρίο, τα στρώματα αυτά λεπταίνουν αισθητά και σχηματίζουν μια λακκούβα (βοθρίο). Αυτό το μειωμένο στρώμα του νευρικού ιστού βοηθάει ώστε η όραση να γίνει περισσότερο ευκρινής στη συγκεκριμένη περιοχή, η οποία περιέχει μόνο κωνία.

Στον υπόλοιπο αμφιβληστροειδή κωνία και ραβδία κατανέμονται ομοιόμορφα εκτός από το τυφλό σημείο (ή οπτική θηλή), όπου δεν υπάρχουν φωτοϋποδοχείς

Η εικόνα στον αμφιβληστροειδή είναι πολύ μικρή και η εξίσωση που καθορίζει τις διαστάσεις του ειδώλου στον αμφιβληστροειδή προκύπτει από τους λόγους των μηκών των πλευρών των όμοιων τριγώνων που σχηματίζονται.

Δ) Πιθανότητα αλληλεπίδρασης ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ανά μονάδα πάχους υλικού συναρτήσει της ενέργειας της ακτινοβολίας για τους τέσσερις βασικούς μηχανισμούς αλληλεπίδρασης ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας:



Οι τέσσερις βασικοί μηχανισμοί αλληλεπίδρασης ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ύλης: το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, η σύμφωνη σκέδαση Rayleigh, η ασύμφωνη σκέδαση Compton και η δίδυμη γένεση.

Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο: Αλληλεπίδραση μεταξύ ενός φωτονίου και ενός ατόμου με αποτέλεσμα την απορρόφηση του φωτονίου και την εκπομπή ενός ηλεκτρονίου από το άτομο (ιονισμός).

Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας το ηλεκτρόνιο εγκαταλείπει το άτομο με κινητική ενέργεια ίση με: $T_e = E - E_b$, δηλαδή την ενέργεια του φωτονίου μειωμένη κατά την ενέργεια σύνδεσης του ηλεκτρονίου στο άτομο. Η πιθανότητα αλληλεπίδρασης με ΦΦ μειώνεται με την ενέργεια και αυξάνει με τον ατομικό αριθμό. Οι τιμές της ενέργειας όπου παρατηρούνται αυτές οι ασυνέχειες αντιστοιχούν στις ενέργειες σύνδεσης των ηλεκτρονίων κάθε στοιχείου.

Η εμφάνισή των ασυνεχειών αυτών εξηγείται βάσει της αρχής διατήρησης της ενέργειας για το ΦΦ. ($T_e = E - E_b$). Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι για να εκπεμφθεί φωτοηλεκτρόνιο

από μια στοιβάδα του ατόμου, θα πρέπει η ενέργεια του φωτονίου να είναι μεγαλύτερη της ενέργειας σύνδεσης σε αυτή τη στοιβάδα. Έτσι, όταν η ενέργεια ενός φωτονίου είναι μεγαλύτερη της E_K , μπορεί να εκπεμφθεί φωτοηλεκτρόνιο από οποιαδήποτε στοιβάδα. Αν όμως η ενέργεια του φωτονίου είναι μικρότερη της E_K , δεν μπορεί πλέον να εκπεμφθεί φωτοηλεκτρόνιο από την K στοιβάδα και έτσι η πιθανότητα αλληλεπίδρασης με ΦΦ μειώνεται απότομα δίνοντας την παρατηρούμενη ασυνέχεια που καλείται και K αιχμή.

Σύμφωνη Σκέδαση (Σκέδαση Rayleigh): Κατά τη σύμφωνη σκέδαση δεν μεταφέρεται ενέργεια στην ύλη και τα φωτόνια διατηρούν την αρχική τους ενέργεια αλλάζοντας απλά διεύθυνση διάδοσης. Απαντάται και κατά την αλληλεπίδραση μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας και ύλης αφού δεν υπάρχει καλά ορισμένο όριο ενέργειας μεταξύ μη ιοντίζουσας και ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Σκέδαση Rayleigh συμβαίνει με κάποια πιθανότητα και για ενέργειες φωτονίων μεγαλύτερες του 1 KeV.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, για χαμηλές ενέργειες φωτονίων, είναι συντριπτικά μεγαλύτερη η πιθανότητα αλληλεπίδρασης με Φ.Φ.

Ασύμφωνη Σκέδαση (Σκέδαση Compton): Αλληλεπίδραση φωτονίου με “ελεύθερο” ηλεκτρόνιο (εξωτερικής στοιβάδας). Το φωτόνιο σκεδάζεται στο ηλεκτρόνιο αποδίδοντάς του κινητική ενέργεια, T_e , και μεταφέρει το υπόλοιπο της ενέργειας, E_{sc} , σε διεύθυνση που σχηματίζει γωνία θ με την αρχική διεύθυνση διάδοσής του.

Από το σχήμα φαίνεται ότι η πιθανότητα αλληλεπίδρασης με σκέδαση Compton εμφανίζει μια εξάρτηση από την ενέργεια, η οποία όμως δεν είναι ιδιαίτερα έντονη όπως στην περίπτωση του ΦΦ. Η πιθανότητα αλληλεπίδρασης με σκέδαση Compton είναι μικρότερη απ’ ότι με ΦΦ για χαμηλές ενέργειες, αυξάνει για ενέργειες μέχρι ~ 100 keV και έπειτα μειώνεται με την αύξηση της ενέργειας.

Δίδυμη Γένεση: Αλληλεπίδραση μεταξύ ενός φωτονίου και του ηλεκτρικού πεδίου του πυρήνα ενός ατόμου που έχει σαν αποτέλεσμα την απορρόφηση του φωτονίου και τη μετατροπή της ενέργειάς του σε ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο (σωματίδιο με ίση μάζα με το ηλεκτρόνιο αλλά αντίθετο φορτίο). Υπάρχει, επομένως, ένα κατώφλι ενέργειας η τιμή του οποίου οφείλεται στο ότι για να συμβεί η δίδυμη γένεση και να παραχθούν το ποζιτρόνιο και το ηλεκτρόνιο με μηδενική κινητική ενέργεια, θα πρέπει η ενέργεια του φωτονίου να είναι τουλάχιστον ίση με το άθροισμα των ενεργειών ηρεμίας ηλεκτρονίου και ποζιτρονίου. Άρα, εφόσον ηλεκτρόνιο και ποζιτρόνιο έχουν την ίδια ενέργεια ηρεμίας, η ενέργεια του φωτονίου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με $2m_e c^2 = 1.02$ MeV.

Στην περιοχή ενεργειών που ενδιαφέρει τις διαγνωστικές (ενέργειες της τάξης των keV) και θεραπευτικές εφαρμογές (ενέργειες της τάξης των MeV): Το ΦΦ επικρατεί στις χαμηλές ενέργειες, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται στη μαστογραφία (25-35 kVp). Σε ενδιάμεσες τιμές ενέργειας η πιθανότερη αλληλεπίδραση είναι η σκέδαση Compton. Για όλα τα βιολογικά υλικά η σκέδαση Compton αποτελεί το πιθανότερο φαινόμενο αλληλεπίδρασης για ενέργειες μεγαλύτερες από ~60-80 keV. Η δίδυμη γένεση για τα βιολογικά υλικά θα αποτελούσε τον πιθανότερο μηχανισμό αλληλεπίδρασης για εξαιρετικά μεγάλες ενέργειες φωτονίων (>50MeV).