

**ΙΑΤΡΙΚΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ(ΕΚΠΑ)
ΚΑΤΑΤΑΚΤΗΡΙΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ
ΑΚ.ΕΤΟΥΣ 2023-2024
ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟ ΜΑΘΗΜΑ:
ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ**

Θέμα 1

Ορίστε τον χρόνο επανάληψης (Time of Repetition, TR) και τον χρόνο αντήχησης (Time of Echo, TE) και εξηγήστε με ποιο τρόπο επηρεάζουν το είδος της εικόνας στην απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού.

Το σύστημα της Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού (ΑΜΣ) χρησιμοποιεί ένα ισχυρό εξωτερικό μαγνητικό πεδίο B_0 . Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια η συνισταμένη των διανυσμάτων των μαγνητικών διπολικών ροπών μ των πλεοναζόντων πυρήνων να ορίζουν την ολική μαγνήτιση M του υλικού.

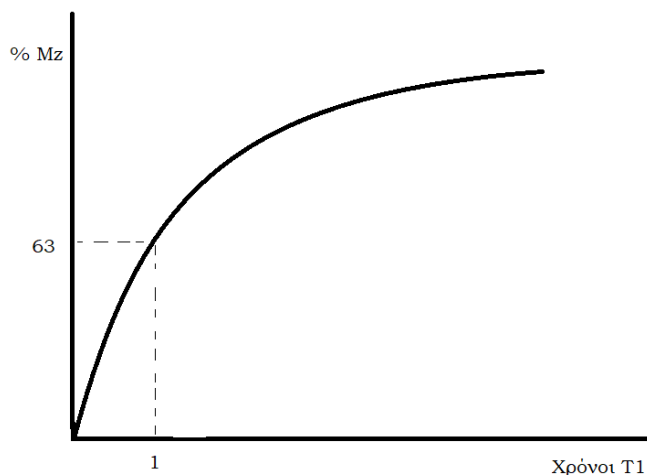
Όταν εφαρμοστεί ένα κάθετο μαγνητικό πεδίο B_1 το διάνυσμα της μαγνήτισης M εκτελεί μετάπτωση η οποία εξαρτάται από το χρονικά μεταβαλλόμενο B_1 . Όταν πάψει να επιδρά το εξωτερικό B_1 (ραδιοπαλμός) η μαγνήτιση M , η οποία περιστρέφεται με συχνότητα $Larmor$ γύρω από το B_0 αρχίζει να αποδιεγείρεται προς την αρχική κατάσταση θερμοδυναμικής της ισορροπίας, όπου ήταν παράλληλη με το B_0 .

Ο πρώτος μηχανισμός επαναφοράς στην αρχική της κατάσταση γίνεται μέσω της διαμήκους μαγνητικής αποκατάστασης M_z . Η χρονική μεταβολή της M_z περιγράφεται από την εξίσωση:

$$M_z(t) = M \cdot (1 - e^{-t/T_1})$$

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

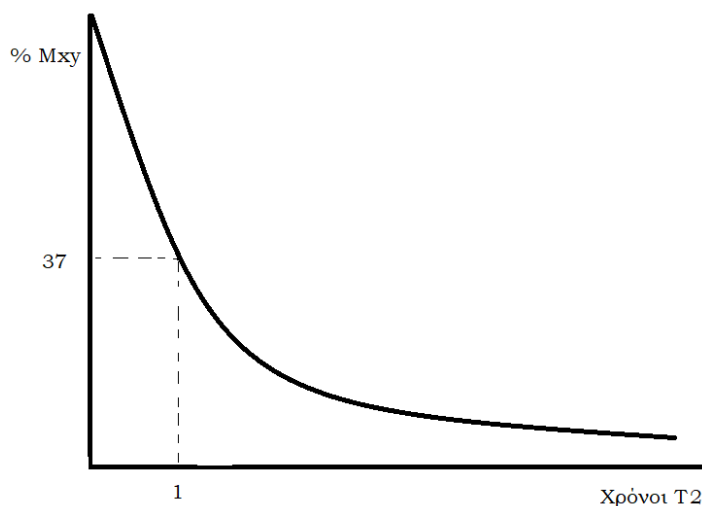
Στην παραπάνω εξίσωση T_1 είναι ο χρόνος μαγνητικής αποκατάστασης που απαιτείται από το σύστημα των πυρηνικών spin ώστε η τιμή της διαμήκους μαγνήτισης να επανέλθει στο 63% της αρχικής της τιμής, δηλαδή την τιμή που είχε πριν την εφαρμογή του ραδιοπαλμού.



Ο δεύτερος μηχανισμός επαναφοράς της μαγνήτισης M στην αρχική της κατάσταση γίνεται μέσω της εγκάρσιας μαγνητικής αποκατάστασης M_{xy} . Η χρονική μεταβολή της M_{xy} περιγράφεται από την εξίσωση:

$$M_{xy}(t) = M_{xy}(0) \cdot e^{-t/T_2}$$

Στην παραπάνω εξίσωση T_2 είναι ο χρόνος μαγνητικής αποκατάστασης που απαιτείται από το σύστημα των πυρηνικών spin ώστε η τιμή της εγκάρσιας τιμής της μαγνήτισης M_{xy} να μειωθεί στο 37% της τιμής που απέκτησε μετά την εφαρμογή του ραδιοπαλμού.



Ο χρόνος T_1 και T_2 λοιπόν παίρνει συγκεκριμένο εύρος τιμών (υπό σταθερές συνθήκες λειτουργίας) για διαφορετικούς ιστούς μέσα στο ανθρώπινο σώμα, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο τον διαχωρισμό τους. Οι διαφορές των τιμών των παραπάνω χρόνων (μαζί με την πυκνότητα πρωτονίων) ανάμεσα στους ιστούς είναι η κύρια πηγή δημιουργίας αντίθεσης στο απεικονιστικό αποτέλεσμα της εξέτασης. Στην πλειονότητα όμως των περιπτώσεων η συνεισφορά και των δύο παραμέτρων (T_1 και T_2) εντυπώνεται στην εικόνα, δηλαδή είναι σπάνιο να δημιουργηθεί η απεικόνιση μίας ανατομικής περιοχής, της οποίας η αντίθεση να οφείλεται αποκλειστικά στα χαρακτηριστικά των ιστών ως προς τον

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

T_1 ή αποκλειστικά ως προς τον T_2 . Συνεπώς πρέπει να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες λήψης του σήματος, ώστε η βασική πηγή προέλευσής του να είναι ο ένας από τους δύο χρόνους. Ο τρόπος για να επιτευχθεί αυτή η στάθμιση της εικόνας είναι με ειδικές τεχνικές με συγκεκριμένες χρονικές ακολουθίες παλμών, οι οποίες διαφοροποιούνται κατά περίπτωση ως προς τη συχνότητά τους, τον χρόνο επανάληψής τους, την έντασή τους κ.ά.

Βασική παράμετρος των ακολουθιών είναι οι χρόνοι επανάληψης και αντήχησης. Ως χρόνος επανάληψης TR (time of repetition) ορίζεται ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών ραδιοπαλμών 90° . Αντικαθιστώντας τον TR στην παραπάνω εκθετική σχέση της διαμήκουσ μαγνητικής αποκατάστασης συμπεραίνουμε πως όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική του διάρκεια τόσο μεγαλύτερη τιμή θα πάρει η M_z , προσεγγίζοντας την αρχική τιμή της στην κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας, πριν να εφαρμοστεί ο ραδιοπαλμός. Υποθέτοντας πως έχουμε δύο ιστούς με μικρό και μεγάλο χρόνο T_1 αντίστοιχα, η επιλογή μικρού χρόνου TR θα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη διαφορά ως προς την διαμήκη μαγνητική αποκατάσταση που θα έχει επιτευχθεί στον καθένα τους. Συνεπώς ο χρόνος TR καθορίζει την στάθμιση της εικόνας ως προς τον χρόνο T_1 .

Η επόμενη βασική παράμετρος μίας ακολουθίας είναι ο χρόνος αντήχησης TE (time of echo). Ο TE ορίζεται ως ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ ενός ραδιοπαλμού 90° και της λήψης του σήματος. Αντικαθιστώντας τον TR στην παραπάνω εκθετική σχέση της εγκάρσιας μαγνητικής αποκατάστασης συμπεραίνουμε πως όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική του διάρκεια τόσο μικρότερη τιμή θα πάρει η M_{xy} . Σε γενικές γραμμές, επιλέγοντας μεγάλο TE επιτυγχάνεται η στάθμιση της εικόνας ως προς T_2 (συγκεκριμένα ο TE πρέπει να είναι μεγαλύτερος από τον χρόνο εγκάρσιας μαγνητικής αποκατάστασης).

Συνοψίζοντας και υπενθυμίζοντας πως ο σχηματισμός της εικόνας εμπεριέχει την συνεισφορά και των δύο χρόνων μαγνητικής αποκατάστασης, όταν είναι επιθυμητή η στάθμιση της εικόνας ως προς τον χρόνο T_1 επιλέγεται μικρός χρόνος TR και μικρός χρόνος TE. Με την επιλογή μικρού χρόνου TR οι ιστοί που έχουν μικρό T_1 θα απεικονίζονται έντονα έναντι των ιστών με αντίστοιχα μεγάλο χρόνο. Η επιλογή μικρού χρόνου TE εξυπηρετεί στην υποβάθμιση της συνεισφοράς του T_2 στο τελικό διαγνωστικό αποτέλεσμα.

Όταν είναι επιθυμητή η στάθμιση της εικόνας ως προς τον χρόνο T_2 επιλέγεται μεγάλος χρόνος TR και επίσης μεγάλος χρόνος TE. Με την επιλογή μεγάλου χρόνου TE οι ιστοί που έχουν μεγάλους T_2 θα

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

απεικονίζονται έντονα έναντι των ιστών με αντίστοιχα μικρό χρόνο. Η επιλογή μεγάλου χρόνου TR εξυπηρετεί στην υποβάθμιση της συνεισφοράς του T_1 στο τελικό διαγνωστικό αποτέλεσμα.

Τέλος αναφέρουμε πως όταν πρόκειται για εικόνες πυκνότητας πρωτονίων επιλέγουμε χρόνους TR και TE ώστε να υποβαθμίζεται η συνεισφορά τόσο του T_1 όσο και του T_2 , επομένως επιλέγουμε μεγάλο χρόνο TR μικρό TE.

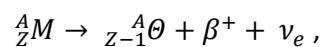
ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

Θέμα 2

Τι είναι τα ποζιτρόνια, πώς προκύπτουν και σε ποια απεικονιστική τεχνική χρησιμοποιούνται στην Ιατρική; Εξηγήστε συνοπτικά τα βήματα που μεσολαβούν για να παραχθεί η εικόνα κατά την τεχνική αυτή.

Το ποζιτρόνιο είναι ένα σωματίδιο το οποίο έχει την ίδια μάζα ηρεμίας με το ηλεκτρόνιο, τις ίδιες φυσικές ιδιότητες, αλλά έχει αντίθετο φορτίο (θετικό) και αναφέρεται και ως το αντισωματίδιο του ηλεκτρονίου. Τα ποζιτρόνια παράγονται κατά τη δίδυμη γένεση (αλληλεπίδραση φωτονίου ενέργειας άνω των 1,022 MeV με το ηλεκτρικό πεδίο του πυρήνα και δημιουργία ζεύγους ηλεκτρονίου ποζιτρονίου), αλλά επίσης απελευθερώνονται κατά τη β^+ διάσπαση κάποιων ραδιενεργών πυρήνων (που αποτελεί και την κλινικά χρησιμοποιούμενη μέθοδο). Συμβολίζοντας με M τον μητρικό πυρήνα, με Θ τον θυγατρικό πυρήνα και με A, Z τον ατομικό και μαζικό του μητρικού πυρήνα, η β^+ διάσπασή του M θα μπορούσε να περιγραφεί ως:



Όπου με β^+ συμβολίζουμε το ποζιτρόνιο και με ν_e το νεutrίνο. Η εμφάνιση του ζεύγους ποζιτρονίου-νετρίνου εξασφαλίζουν πως κατά τη διάσπαση ισχύει η διατήρηση φορτίου και λεπτονικού αριθμού. Απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση της διάσπασης είναι η συνολική προκύπτουσα μάζα των σωματιδίων μετά την διάσπαση να είναι μικρότερη από την μάζα του μητρικού πυρήνα.

Συγκεκριμένα, εισάγοντας τις μάζες ηρεμίας όλων των σωματιδίων προκύπτει:

$$m_{\text{ΜΗΤΡΙΚΟΥ}} \cdot c^2 > m_{\text{ΘΥΓΑΤΡΙΚΟΥ}} \cdot c^2 + m_{\text{ΠΟΖΙΤΡΟΝΙΟΥ}} \cdot c^2 \text{ (θεωρώντας μηδενική την μάζα ηρεμίας του νετρίνου)}$$

Η διαφορά στην ενέργεια (Q) της κατάστασης πριν και μετά την διάσπαση θα προσφέρεται στα σωματίδια που προκύπτουν μετά τη διάσπαση, επαληθεύοντας με αυτόν τον τρόπο της αρχή διατήρησης της ενέργειας. Δεν αρκεί όμως για να πραγματοποιηθεί η β^+ διάσπαση να ισχύει $Q > 0$, αλλά θα πρέπει επίσης η ενέργεια του μητρικού πυρήνα να είναι κατά 1,022 MeV μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του θυγατρικού πυρήνα. Η προσφερόμενη ενέργεια στα σωματίδια που προκύπτουν μετά την διάσπαση θα διαμοιραστεί ανάμεσα στο ποζιτρόνιο και στο νεutrίνο εξαιτίας της πολύ μεγαλύτερης (συγκριτικά) μάζας του θυγατρικού πυρήνα, κάτι το οποίο προκύπτει αξιοποιώντας την αρχή διατήρησης ενέργειας και ορμής.

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

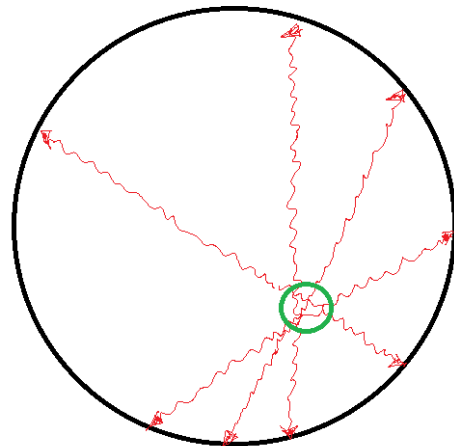
Ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει ο διαμοιρασμός της ενέργειας ανάμεσα στο ποζιτρόνιο και το νεutrίνο δεν μπορεί να οριστεί μονοσήμαντα, δηλαδή δεν είναι καθορισμένος. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα και τα δύο σωματίδια να έχουν συνεχές ενεργειακό φάσμα, δηλαδή το ποζιτρόνιο να δύναται να αποκτήσει από μία ελάχιστη τιμή ενέργειας έως την μέγιστη και το νεutrίνο το συμπληρωματικό υπόλοιπο.

Η β^+ διάσπαση και επομένως η παραγωγή ποζιτρονίων αξιοποιείται διαγνωστικά στην Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (PET – Positron Emission Tomography) στην Πυρηνική Ιατρική. Η απεικονιστική αυτή τεχνική καταγράφει την φυσιολογία των ιστών, δηλαδή την μεταβολική τους δραστηριότητα σε μοριακό επίπεδο. Από τις πληροφορίες που προκύπτουν, οι ιστοί μπορούν να καταταγούν σε φυσιολογικούς ή παθολογικούς.

Σε πρώτο επίπεδο χρειάζεται η παρασκευή κατάλληλων ραδιοφαρμάκων, δηλαδή η επισήμανση μίας χημικής ένωσης, η οποία μεταβολίζεται κατά τη λειτουργία του ιστού ενδιαφέροντος (επί παραδείγματι ο μεταβολισμός της γλυκόζης). Στην συνέχεια η ένωση επισημαίνεται με κατάλληλο ραδιοϊσότοπο το οποίο αποτελεί έναν β^+ εκπομπό. Μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα όπου το ραδιοφάρμακο θα έχει καθηλωθεί στην περιοχή ενδιαφέροντος, μπορεί να εκκινήσει η απεικονιστική διαδικασία.

Η ανιχνευτική διάταξη του PET αποτελείται από πολλαπλούς κρυστάλλους-σπινθηριστές (BGO, GSO, LSO, LYSO), οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας έναν κυκλικό δακτύλιο μέσα στον οποίο θα τοποθετηθεί ο ασθενής. Ο κάθε κρύσταλλος είναι συνδεδεμένος με φωτοπολλαπλασιαστές ή φωτοδιόδους χιονοστιβάδας (αναλόγως του τρόπου λειτουργίας τους) και επιπλέον ψηφιακών συστημάτων τα οποία θα καταγράψουν τα προσπίπτοντα φωτόνια στους ανιχνευτές. Η απεικονιστική διαδικασία όμως δεν είναι ακριβώς αντίστοιχη του συμβατικού συστήματος της γ -camera, καθώς το PET πρέπει να καταγράψει-συνδυάσει την πρόσπτωση 2 φωτονίων τα οποία προσπίπτουν σε

αντιδιαμετρικά σημεία του δακτυλίου ανιχνευτών καθώς προέρχονται από την ίδια εξαΰλωση του ζεύγους ποζιτρονίου-ηλεκτρονίου. Ο τρόπος για να το επιτύχει το σύστημα είναι μέσω της καταγραφής με πολύ μεγάλη χρονική ακρίβεια των ανιχνευόμενων φωτονίων. Συνεπώς όταν δύο φωτόνια προσπέσουν σχεδόν ταυτόχρονα (nanoseconds), το σύστημα ενώνει τα δύο σημεία πρόσπτωσης δημιουργώντας μία γραμμή (line of response-lor) η οποία περιγράφει ένα μήκος επί του οποίου συνέβη το φαινόμενο της εξαΰλωσης.



ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

Συγκεντρώνοντας πολλαπλές log το PET θα ανακατασκευάσει την εικόνα με τη βοήθεια αλγόριθμων ανακατασκευής εικόνας, με τελικό αποτέλεσμα την τομογραφική απεικόνιση της περιοχής. Οι περιοχές μεγάλης πυκνότητας διασταυρώσεων των γραμμών log, θα αποτελούν περιοχές μεγάλης συγκέντρωσης ραδιοφαρμάκου.

Η παραπάνω περιγραφή της διαδικασίας καταγραφής είναι ιδανική. Στην πραγματικότητα πρέπει να συμπεριληφθεί πως στο τελικό διαγνωστικό αποτέλεσμα θα συνυπάρχουν και φαινόμενα τα οποία υποβαθμίζουν την ακριβή καταγραφή των σημείων εξαΰλωσης, όπως: σκέδαση/απορρόφηση φωτονίων, ο νεκρός χρόνος απόκρισης των ανιχνευτών (dead time), ταυτόχρονη πρόσπτωση δύο φωτονίων τα οποία προήλθαν από εξαΰλωσης σε 2 διαφορετικά σημεία (συνεπώς σχηματισμός μίας λανθασμένης log), ακτινοβολία υποστρώματος και κβαντικός θόρυβος.

Στα πρώτα συστήματα PET ένας τρόπος της διόρθωσης του λαμβανόμενου σήματος εξαιτίας της εξασθένησης των φωτονίων από τους περιβάλλοντες ιστούς πραγματοποιούνταν με την βοήθεια μίας περιστρεφόμενης ραδιενεργούς πηγής (όπως Καισίου-137). Κατά τη μεθοδολογία αυτή πραγματοποιούνταν 3 διαδοχικές μελέτες:

Blank scan: καταγραφή δεδομένων κατά την περιστροφή της πηγής απουσία ασθενούς.

Transmission scan: καταγραφή δεδομένων κατά την περιστροφή της πηγής παρουσία του ασθενούς.

Emission scan: απομάκρυνση της ραδιενεργού πηγής και καταγραφή δεδομένων παρουσία του ασθενούς ο οποίος έχει πλέον χορηγηθεί το ραδιοφάρμακο.

Η παραπάνω μεθοδολογία λείπει από τα σύγχρονα συστήματα PET καθώς λειτουργούν σε συνδυασμό με έναν αξονικό τομογράφο (PET/CT) και γνωρίζουμε πως κατά την απεικόνιση με CT, υπολογίζονται οι συντελεστές εξασθένησης των voxel του ασθενούς. Τέλος αξίζει να προστεθεί πως στα σύγχρονα συστήματα PET οι ανιχνευτές έχουν μικρότερο dead time, αλλά επιπλέον δύναται να εντοπίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια το σημείο της εξαΰλωσης πάνω στην log με την βοήθεια του συστήματος Time Of Flight (TOF), το οποίο υπολογίζει την διαφορετική χρονική διάρκεια πτήσης για καθένα από το ζεύγος φωτονίων από το σημείο εξαΰλωσης έως το σημείο πρόσπτωσής τους.

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

Θέμα 3

Περιγράψτε την μικρή κυκλοφορία στους πνεύμονες και τη μεγάλη (συστηματική) στο υπόλοιπο σώμα.

Η καρδιά είναι υπεύθυνη για την κυκλοφορία του αίματος μέσω ενός αγγειακού συστήματος σε ολόκληρο το σώμα. Αποτελείται από δύο κόλπους και δύο κοιλίες, που διαχωρίζονται μεταξύ τους, αλλά και με το αγγειακό σύστημα με βαλβίδες, οι οποίες κατά την συστολή των καρδιακών μυών ωθούν το αίμα μόνο προς μία κατεύθυνση. Από την δεξιά κοιλία το αίμα ωθείται προς τους πνεύμονες, μέσω των πνευμονικών αρτηριών διακλαδίζεται στο τριχοειδικό σύστημα των πνευμόνων, όπου πραγματοποιείται ανταλλαγή αερίων (πρόσληψη οξυγόνου και αποβολή διοξειδίου του άνθρακα) και τελικά μέσω των πνευμονικών φλεβών επιστρέφει στον αριστερό κόλπο της καρδιάς. Η διαδρομή αυτή αποτελεί την μικρή κυκλοφορία. Η σημασία της διαδικασίας είναι η πρόσληψη οξυγόνου από το αίμα (κυρίως πρόσληψη οξυγόνου από τα ερυθρά αιμοσφαίρια) και αποβολή του μεταβολικού παραπροϊόντος της κυτταρικής λειτουργίας, του διοξειδίου του άνθρακα, στον αέρα του πνεύμονα και η απομάκρυνσή του από το σώμα μέσω της εκπνοής. Από τον αριστερό κόλπο το αίμα μεταβαίνει στην αριστερή κοιλία και με τη συστολή της τελευταίας το αίμα ωθείται στις αρτηρίες όπου διακλαδώνονται σε ένα εκτενές σύστημα όλο και μικρότερων αρτηριών εωσότου το οξυγονωμένο αίμα φθάσει σε ένα πολύ λεπτό δίκτυο αγγείων, το τριχοειδικό σύστημα. Στο δίκτυο αυτό πραγματοποιείται η μεταβίβαση μέρους του οξυγόνου στα κύτταρα και η πρόσληψη του διοξειδίου του άνθρακα από αυτά. Το αίμα εξέρχεται του τριχοειδικού συστήματος σε μικρές φλέβες οι οποίες συνενώνονται σε μεγαλύτερες και τελικώς καταλήγουν στον δεξιό κόλπο της καρδιάς. Η διαδρομή αυτή αποτελεί την μεγάλη κυκλοφορία της καρδιάς. Το κύκλωμα ολοκληρώνεται με την μετάβαση του αίματος από τον δεξιό κόλπο στην δεξιά κοιλία και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Ο όγκος του αίματος δεν ισοκατανέμεται στην μικρή και τη μεγάλη κυκλοφορία, καθώς το 80% βρίσκεται στην μεγάλη (και η πλειοψηφία του όγκου της μεγάλης κυκλοφορίας βρίσκεται εντός των φλεβών) και το υπόλοιπο 20% βρίσκεται στην μικρή (με την πλειοψηφία του όγκου εντός των πνευμονικών αρτηριών/φλεβών).

Όσον αφορά την ανταλλαγή του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα στο τριχοειδικό σύστημα της μεγάλης κυκλοφορίας, αυτό επιτυγχάνεται, κατά το νόμο του Starling, λόγω της υδροστατικής και της ωσμωτικής πίεσης (της οποίας η τιμή είναι ανάλογη της συγκέντρωσης της διαλυμένης ουσίας στον διαλύτη). Η πίεση εντός του τριχοειδούς μειώνεται κατά την φορά του αίματος (από το αρτηριακό άκρο

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

προς το φλεβικό) και στο πρώτο μισό της διαδρομής η πίεση εντός του είναι μεγαλύτερη από το εξωτερικό του με αποτέλεσμα το οξυγόνο να αποσυνδέεται (μερικώς) από τα ερυθρά κύτταρα, να εξέρχεται από το τοίχωμα του τριχοειδούς και να μεταβαίνει στο διάμεσο υγρό. Στην συνέχεια όμως η πίεση εντός του μειώνεται ενώ στο εξωτερικό του παραμένει σταθερή, με αποτέλεσμα στο φλεβικό άκρο να ρέει το διοξείδιο του άνθρακα από το διάμεσο υγρό προς το εσωτερικό του τριχοειδούς.

Όσον αφορά την ανταλλαγή του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα στο τριχοειδικό σύστημα των πνευμόνων, αυτό επιτυγχάνεται μέσω των εξαιρετικά λεπτών τοιχωμάτων και απαιτείται καλή αιμάτωση στα τριχοειδή και καλός αερισμός στις επιφάνειες των κυψελίδων. Η μεταφορά του οξυγόνου από τον κυψελιδικό αέρα μέσω των τοιχωμάτων στο αίμα και η αντίστροφη μεταφορά του διοξειδίου του άνθρακα από το αίμα στον κυψελιδικό αέρα γίνεται λόγω της διαφοράς των μερικών πιέσεων για το κάθε αέριο, από την υψηλότερη τιμή μερικής πίεσης στην χαμηλότερη εωσότου οι τιμές των μερικών πιέσεων εκατέρωθεν του κυψελιδικού τοιχώματος εξισωθούν. Μάλιστα εξαιτίας του νόμου του Henry, εάν η τιμή της μερικής πίεσης του οξυγόνου στον κυψελιδικό αέρα διπλασιαστεί θα διπλασιαστεί η ποσότητα του οξυγόνου στο αίμα. Παρόλα αυτά η διαλυτότητα του οξυγόνου στο αίμα παραμένει χαμηλή, αλλά χάρις στην χημική ένωση του οξυγόνου με την αιμοσφαιρίνη των ερυθρών κυττάρων ο νόμος της διάχυσης τροποποιείται και το αίμα μπορεί να μεταφέρει ικανοποιητική ποσότητα οξυγόνου στο σώμα.

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

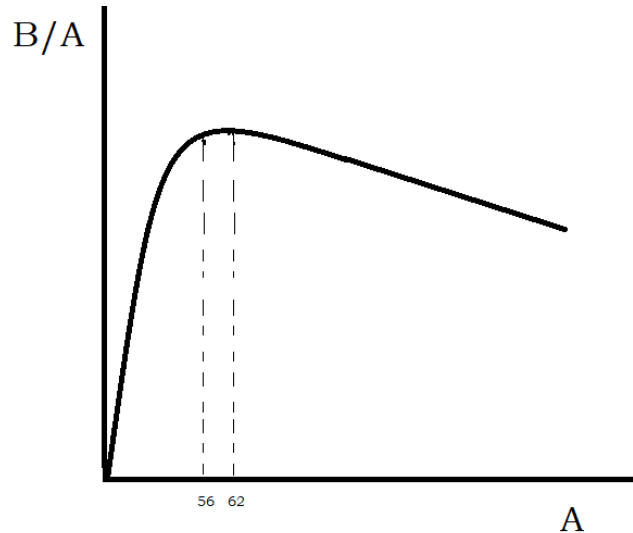
Θέμα 4

Σχεδιάστε πρόχειρα την ενέργεια σύνδεσης πυρήνα ανά νουκλεόνιο (B/A) συναρτήσει του μαζικού αριθμού (A). Σε ποια περιοχή του A αντιστοιχούν οι σταθερότεροι πυρήνες και πώς εξηγείται ποιοτικά, η μορφή του διαγράμματος;

Ο πυρήνας αποτελείται από νουκλεόνια τα οποία συγκρατούνται ισχυρά εξαιτίας των πυρηνικών δυνάμεων στο κέντρο του ατόμου. Εάν θέλαμε να υπολογίσουμε την δυναμική ενέργεια των ελκτικών δυνάμεων που συντελούν στον σχηματισμό του πυρήνα, θα μπορούσαμε να το κάνουμε με την γνωστή σχέση ισοδυναμίας ενέργειας μάζας. Συγκεκριμένα παρατηρείται πως η συνολική μάζα των νουκλεονίων που απαρτίζουν έναν πυρήνα όταν βρίσκονται ελεύθερα είναι μεγαλύτερη από την μάζα των ίδιων νουκλεονίων όταν βρίσκονται ισχυρά συνδεδεμένα και έχουν σχηματίσει ένα πυρήνα. Η μάζα όπου λείπει ονομάζεται έλλειμα μάζας και ισούται με την δυναμική ενέργεια των δυνάμεων στον πυρήνα (ενέργεια συνδέσεως).

Οι ενέργειες συνδέσεως που απαντώνται στην φύση κυμαίνονται από περίπου 2 MeV, έως περίπου 2 GeV. Η ενέργεια συνδέσεως όμως δεν ορίζει μονοσήμαντα την σταθερότητα του πυρήνα, δηλαδή ο πυρήνας ο οποίος θα έχει την μεγαλύτερη τιμή ενέργειας συνδέσεως δεν θα είναι ο σταθερότερος ή αλλιώς ο δυσκολότερος να διασπαστεί.

Εξαρτάται και από τον αριθμό των νουκλεονίων που απαρτίζουν τον πυρήνα του. Συνεπώς η σταθερότητα του πυρήνα και η ικανότητα σύγκρισης της σταθερότητας δύο πυρήνων δίνεται με ένα κλάσμα: την ενέργεια συνδέσεως του πυρήνα (B) προς τον αριθμό των νουκλεονίων του (A). Ο λόγος B/A είναι ενδεικτικός της πυρηνικής σταθερότητας και παρατίθεται το διάγραμμα του συναρτήσει του μαζικού αριθμού.



Η μεγαλύτερη τιμή του λόγου παρατηρείται για τις τιμές 56 – 62 (η μεγαλύτερη τιμή παρατηρείται για ένα ισότοπο του νικελίου ^{62}Ni). Επίσης από το διάγραμμα παρατηρείται πως η ενέργεια σύνδεσης είναι μικρή για τους ελαφρύς πυρήνες ενώ για τους υπόλοιπους η διαφορά τους είναι μικρή.

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ

Η σχέση που περιγράφει την παραπάνω κατανομή είναι ημ εμπειρική, δηλαδή η θεωρητική πληροφορία συνδυάζεται με πειραματικά δεδομένα ώστε να εξαχθεί το σωστό αποτέλεσμα. Οι θεωρητικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή είναι η δύναμη Coulomb (υπεύθυνη για την απωστική δύναμη που αναπτύσσεται μεταξύ των πρωτονίων του πυρήνα και επηρεάζει την ενέργεια συνδέσεως), η ενέργεια ασυμμετρίας (λόγω της απαγορευτικής αρχής του Pauli, με αποτέλεσμα ο σταθερότερος πυρήνας να είναι αυτός με το μικρότερο πλεόνασμα νετρονίων), ενέργεια ζευγαρώματος (λόγω της απαγορευτικής αρχής του Pauli, με αποτέλεσμα οι πιο σταθεροί πυρήνες να είναι αυτοί με ζυγό αριθμό πρωτονίων και ζυγό αριθμό νετρονίων, στη συνέχεια οι πυρήνες με ζυγό αριθμό πρωτονίων και μονό αριθμό νετρονίων -ή αντίστροφα- και τέλος οι πυρήνες με μονό αριθμό πρωτονίων και μονό αριθμό νετρονίων).

ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΑ ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΑ