

Ραδιενέργεια: αυθόρμητη εκπομπή ενέργειας, προτον πυρηνίου διασπάσης

Κυματοσυνάρτηση (Ψ) είναι η συνάρτηση που υπολογίζει την εγ. Schrödinger της υψωτικής μηχανικής και περιγράφει ένα κύμα. Σ' αυτή περιέχεται η πληροφορία για την κίνηση ενός σωματιδίου

Κβάντωση: Ιδιότητες (π.χ. ενέργεια) που παίρνουν διακριτές τιμές. Παρατηρείται σε άτομα, μόρια εστιώνοντας τη σταθερότητα της ύλης. Σημαντικό ρόλο στα υψωτικά φαινόμενα παίζει η $c + Planck$
 $\rightarrow (h) \quad \left(\hbar = \frac{h}{2\pi} \right)$

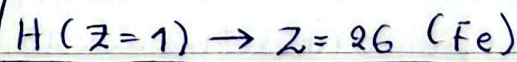
Spin: Μια υψωτική ιδιότητα των e^- . Σχηματίζεται από την γωνιακή (περιστροφή) στροφορμή. Το μέγεθος αυτής της στροφορμής είναι μοτίμο.
 momentum

Όπως το φορτίο και η μάζα έτσι και το spin είναι μια θεμελιώδη αμετάβλητη (invariant) ιδιότητα του e^- .

Είδη πυρηνικής αντίδρασης

1. Ακτινολογία, θεραπεία καρκίνου, κατάλληλα μόρια που μεταφέρουν το ραδιοϊσότοπο $\rightarrow$ εκλεπτική δράση.
2. Ραδιοχρονολόγηση
3. Πυρηνικοί αντιδραστήρες σχάσεως

Προέλευση χημ. στοιχείων



για λόγους
ενεργειακού

Τα στοιχεία αυτά παρασκευάζονται μέσω αντιδράσεων σύντηξης σε αστέρες. Μετά το Fe όχι συντήεις γτ εκδοενεργειακή - δερυτφέρων

(*) Στον γαλαξία του Milkyway, πραγματοποιείται μόνο:
 $4H \rightarrow {}^4He$: εξώθερμη αντίδραση που διατηρεί τον γαλαξία θερμό "σφαίρα αερίου"

$Fe \rightarrow U$ (το τελευταίο στοιχείο σταθερό)

(1)

Στη Γη η ενέργεια του θερμού σώματος φθάνει υπό τη μορφή φωτονίων και απορροφάται από την ύλη που βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης.

Τα υπόλοιπα βαρύτερα στοιχεία προέρχονται από σκουριαστά αστρικά φαινόμενα: υπερνόβα ή λόγω συγκρούσεων αστρικών αντικειμένων. αστεράς νετρονίων $\Rightarrow$ τα στοιχεία διαχέονται στο γύρω σύμπαν συγκρούονται με τέτοια σπινθήρα.

Εφαρμογές πυρηνικής επιστήμης

① Πυρηνική Ιατρική (MRI δίνει μια πυρηνική διάσπαση, γ-ακτινοβολία, γ-ακτινοβολία, ευα πυρηνική διάσπαση, PET ($e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$) η πιο δύσκολη = Τεχνικές θάλασσας με ραδιοϊσοτόπια

② Πυρηνική Ενέργεια - πυρηνικοί αντιδραστήρες (σχάση ^{235}U) θερμική $\rightarrow$ ηλεκτρική, "πράσινη", με προσοχή

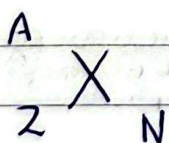
③ Λειτουργία ατόμων (σύντηξη πυρήνων H, εξωθερμή $\Rightarrow$ E)
 $4p^+ \rightarrow 4\text{He} + E$ ($\sim 26 \text{ MeV}$)
 (H)

Με ποιον τρόπο φθάνει η E του ήλιου στη Γη; Ηλεκτρομαγνητική

$1 \text{ Da} \rightarrow 1 \text{ g/mol}$ (μονάδα μέτρησης για μαζα σωματίδια)

Γιατί στο Π.Π όχι με βάση το AB;

Το Ar των στοιχείων αντιπροσωπεύει ένα μέσο όρο 2 ct ισοτόπων με μαζα αριθμό αναλογία $\text{Ar}_{\text{Ce}} = \frac{35}{37} = 35.5$ (3) (2) (Z=83 $\rightarrow$ Bi)



Ct στοιχεία: Z = 1 - 83 με 2 ατομικά
 Tc (Z = 43) Pm (Z = 61)

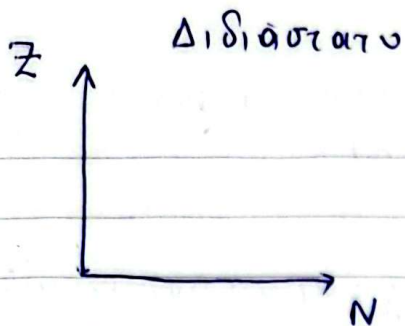
^{232}Th
 90

^{238}U
 92

$t_{1/2} = 1.4 \cdot 10^9 \text{ y}$ ηλικία σύμπαντος

$t_{1/2} = 4.5 \cdot 10^9 \text{ y}$ 99,3% ηλικία Γης

ηλεκτρομαγνητική



$^{12}_6\text{C}$	98,9%	
$^{13}_6\text{C}$	1,1%	$I = 1/2 \text{ (NMR)}$
$^{14}_6\text{C}$	10^{-12}	ραδιοχρονολόγηση $1/12 = 5730 \text{ y}$

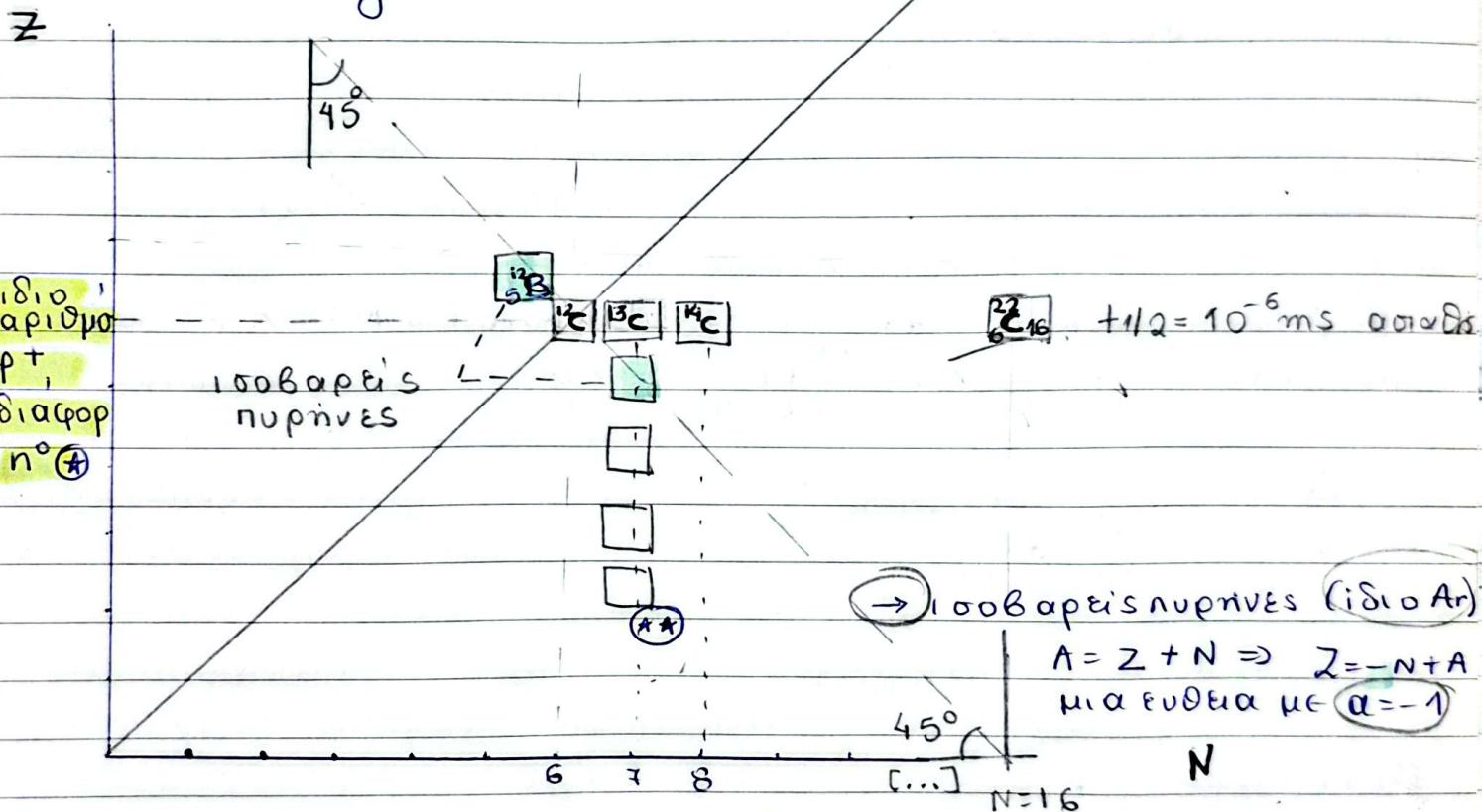
- Νουκλίδιο: τα νουκλίδια του C, το τελευταίο ασταθές ή ραδιονουκλίδιο

p^+ , n^0 = νουκλεόνια

2/10/24

Ο πίνακας των νουκλιδίων

Z: χαρακτηρίζει το άτομο και το χημικό στοιχείο



- ⊛ Τα νουκλίδια αυτά αποτελούν διαφορετικά ατομικά είδη και ονομάζονται **ΙΣΟΤΟΠΑ**, γτ καταλαμβάνουν την ίδια θέση στον ΠΠ

Τα ισότοπα, ε ή μη έχουν τις ίδιες χημικές ιδιότητες

Οι φυσικές ιδιότητες μπορεί να διαφέρουν

Ο πίνακας φέρει 250 ε και >2500 ασταθή ισότοπα διάφορων χημικών στοιχείων.

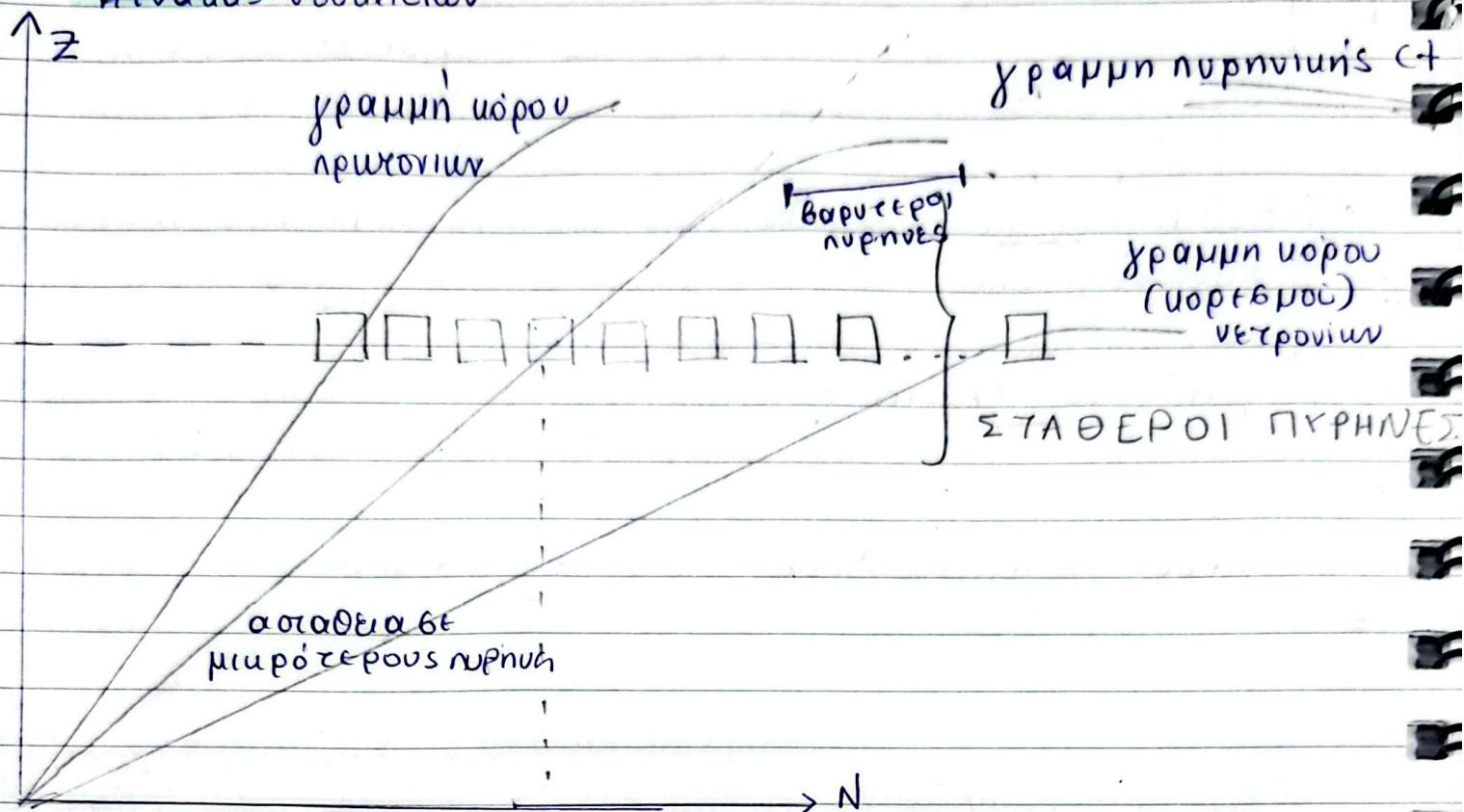
⊛⊛ **ΙΣΟΤΟΝΟΙ** πυρήνες, ίδιο αριθμό n^0 ($A = \epsilon + 1$)

Σταθερά νουκλιδία : 283

Ραδιενεργά (ως σήμερα): 330 (πολύ μικρός χρόνος ημιζωής)

(θεωρητική επιτήρηση: συνάδου 4000 ατομική)

πινάκας νουκλιδίων



προσθήκη $N \Rightarrow$ αστάθεια στους πυρήνες

οι βαρείς πυρήνες λήθυστοι σε νετρόνια

οι ελαφρύτεροι π.χ. $^{208}_{82}\text{Pb}$ $N \gg Z$ $^{126}_{82}\text{Pb}$

$N \gg Z$ αν'οτι

$^{12}_6\text{C}$

$^{40}_{20}\text{Ca}_{20}$

$^{48}_{20}\text{Ca}_{28}$

$^{56}_{26}\text{Fe}_{30}$

Παρατηρήσεις

- Οι γραμμές κόρου νετρονίων και πρωτονίων είναι οριζόντιες
- Η γραμμή κόρου πρωτονίων είναι χαρακτηρισμένη σχεδόν για όλα τα ημιζωή στοιχεία
- Η γραμμή κόρου νετρονίων είναι γνωστή ΜΟΝΟ για το οξυγόνο (^{26}O ως το τελευταίο ισότοπο)

π.χ.

$^{40}_{20}\text{Ca}_{20} \dots$

$^{60}_{20}\text{Ca} \rightarrow ^{70}_{20}\text{Ca}$

τελευταίο ισότοπο
που έχει βρεθεί

Σύνολο ουρανίων πυρήνων ~7-600

Ραδιενεργές διασπάσεις (κατατοξη Rutherford) α, β, γ

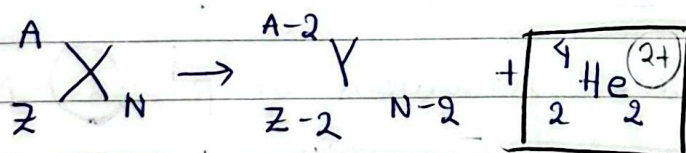
Ορισμός η μετέλληση ενός ασταθούς νουλιδίου σ' ένα σταθερότερο ή σταθερό με βύχρονη ευνομή βωραδίαση ή και πλεωρο/υπέρη

- α: μικρή ικανότητα διείσδυσης της ύλης (υόβεται από το χαρτί)
- β: μερικά mm ενός ιστού $\beta^-(e^-)$ $\beta^+(p^+)$ (e^+)
- γ: αιόρη μεγαλύτερη ικανότητα διείσδυσης της ύλης. Φωτόνια υψηλής ενέργειας δαδ πλεωρομαγνητική ήν πολύ υψηλής E.

Πότε ένα νουλίδιο ετ; Όταν η μάζα του είναι μικρότερη από το άθροισμα της μάζας όλων των προϊόντων μιας ευδεχόμενης διασπάσεώς του. Η ενέργεια βωδέβως των σταθερών νουλιδίων είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα της ενέργειας βωδέβως των προϊόντων της διασπάσεώς τους.

Η ραδιενεργή διασπαση ιαθαρά στατιστικό φαινόμενο. Οι πυρήνες διασπώνται ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον. Η πιθανότητα διασπάσεως εξαρτάται μόνο από τη ιδιότητα και δομή των πυρήνων. Η διασπαση πυρήνα σε βυχευόμενο t ΔΕΝ μπορεί να προβλεφθεί

Α' διασπαση (συμβαίνει σε βαρείς πυρήνες πέρα του Pb)
Ο πυρήνας ευέρπει ένα πυρήνα ${}^4_2\text{He}$ και μετατίζεται σ' ένα πυρήνα με 2 p^+ και 2 n^0 λιγότερα του αρχικού



Η ραδιενέργεια οφείλεται στα ${}^4_2\text{He}^{2+}$ και όχι στο νεο χημικό στοιχείο Y

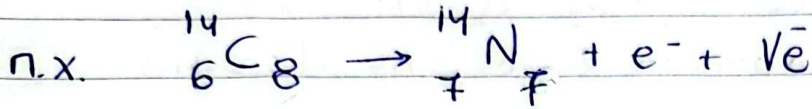
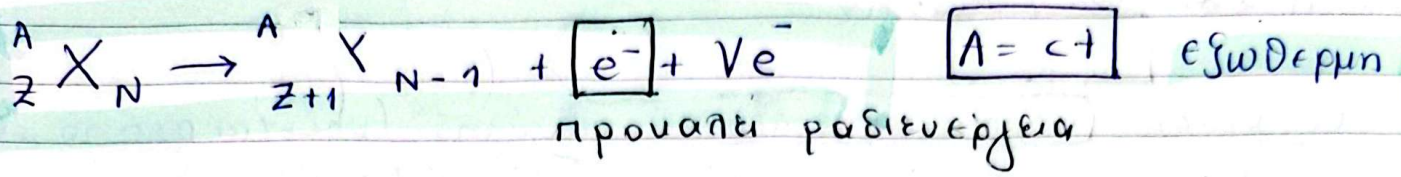
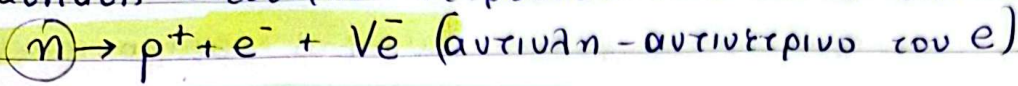
$E_\alpha \sim 5,5 \text{ MeV}$
Η τάξη του χημικού δεσμού 1 eV { με 5 MeV φαντάσου πόσους χημικούς δεσμούς υόβω

$A m \rightarrow$ ανιχνευτική ιαηνού (αρχή λειτουργίας "δημιώσεις")

"B"

β^- Διάσπαση (σε πυρήνες πλούσιους σε νετρόνια $(N > Z)$)

διάσπαση ελεύθερου νετρονίου (αυτο η ελεύθερο) $t_{1/2} = 10 \text{ min}$



$$E_{\beta^-, \text{max}} = 0,157 \text{ MeV}$$

$$E_{\text{μεση}} = \frac{E_{\beta^-, \text{max}}}{2}$$

Η $E_{\beta^-, \text{max}}$ αν η ενέργεια πήχαινε όλη στο e^-

Το ραδιοϊσότοπο του ${}^{67}_{29} \text{Cu}$ χρήση στον καρκίνο $\rightarrow$ εκπομπή e^-
"λύση" καρκινικών κυττάρων με λύση πλημυών δερμών - υατα-
στροφή DNA.

(Να έχει σωστό $+112$, να αετιάσω βωστό Γράμμα να το πώ στον ιστό)

$\bar{\nu}_e$: μηδενική μάζα
κινείται με $v = c$

κλη
 e^-

Αντιυλη
 e^+

p^+

p^-

ν_e

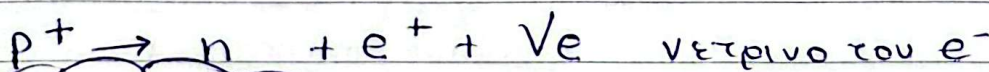
$\bar{\nu}_e$

Ισοβαρής διεργασία $A = \text{const}$

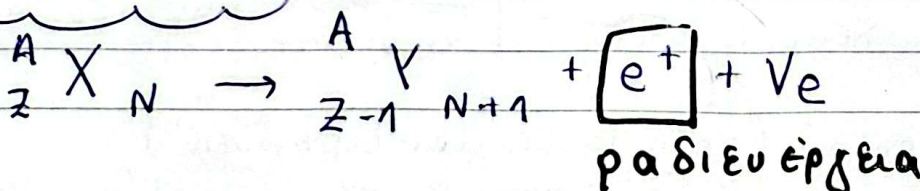
n

$\bar{n}$

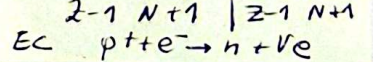
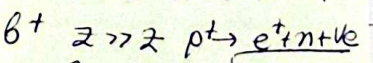
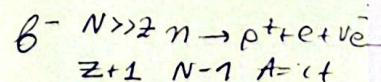
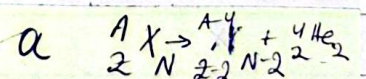
β^+ Διάσπαση (σε πυρήνες πλούσιους σε p^+ $(Z > N)$)



ΙΣΟΒΑΡΗΣ



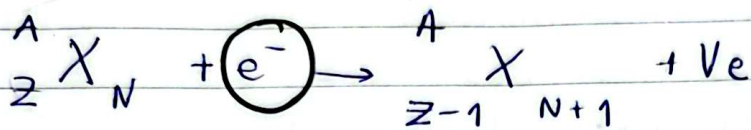
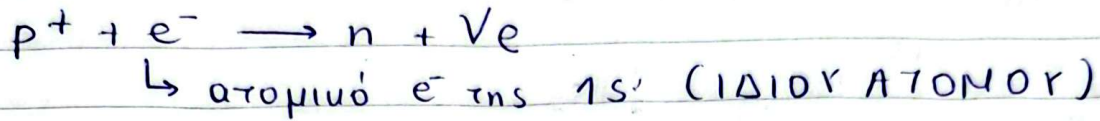
6



Η αντίστροφη δε θέλει να έρθει υσώ στην ύλη, διαφορετικά
εξαφανίζονται $e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$ 2 φωτόνια αντίθειας

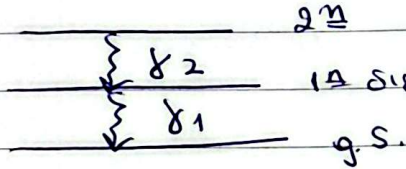
Εκπέρνεται αντιδιαμετρίως

Η λευτρονιακή σύλληψη E.C (σε πυρήνες πλούσιους σε p^+)
οι οποίοι είναι βαρύτεροι ΙΣΟΒΑΡΗΣ



Αφού πάρνω e^- από την 1s πέφτει από ανώτερη στοιβάδα να
το καλύψει το ^{πλευτρονιακό} ν_e της 1s (αυτίνες X - καθαρά ατομικό
φαινόμενο όχι πυρηνικό)

Γ' Διάσπαση



οραζόμενα
στον
ΠΥΡΗΝΑ

$$E_\gamma \sim 0,1 - 2 \text{ MeV}$$

Διαύριση $X - \gamma \rightarrow$ μεταπτώσεις μεταξύ πυρηνικών
μεταπτώσεις $\downarrow$ μεγαλύτερης ενέργειας
καταστάσεων του ατόμου σταθμών

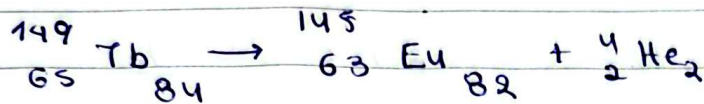
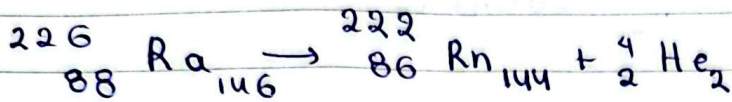
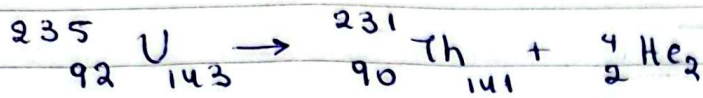
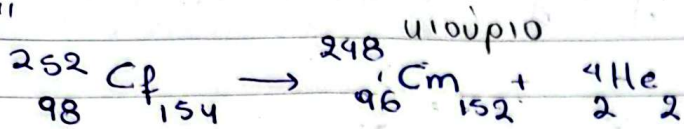
SOS: Ο πυρήνας δεν αλλάζει με τη μετάπτωση γ . Γι' αυτό ΔΕΝ
ονομάζεται γ -διάσπαση αλλά γ -αποδέγερση

Παράδειγμα ${}^{99}_{42} \text{Mo}$ σε 5

← metastable
 99 mTc

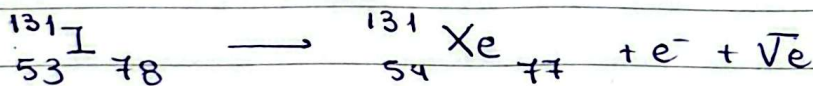
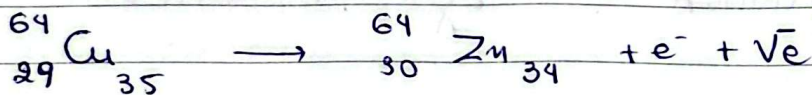
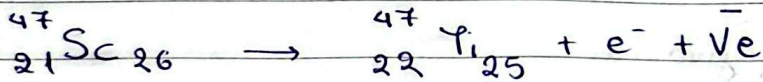
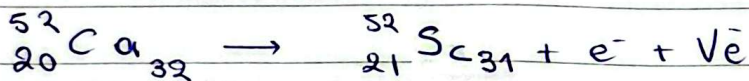
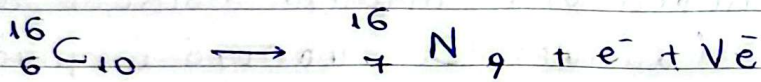
Ασυνόετες

"α"



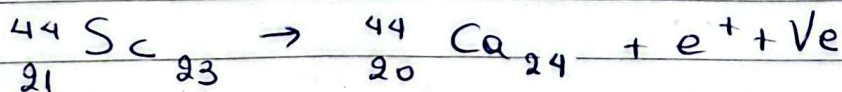
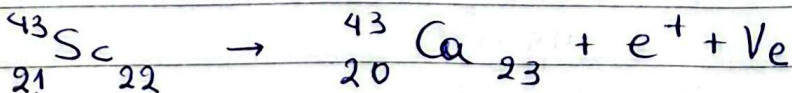
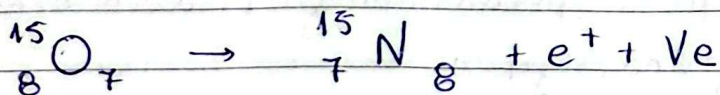
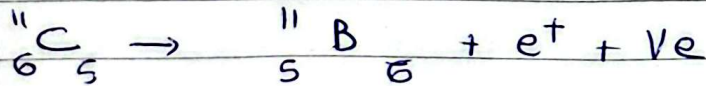
"β⁻"

$N \gg Z \quad n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e \quad (\text{ισοβαρική})$

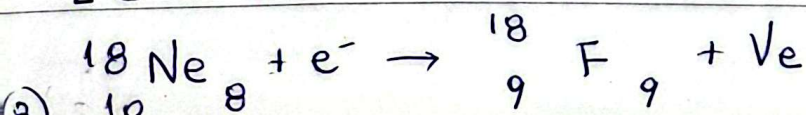


"β⁺"

$Z \gg N \quad p^+ \rightarrow e^+ + n + \nu_e \quad (\text{ισοβαρική})$



EC



8/11/24

Μονάδες και διαστάσεις πυρήνα

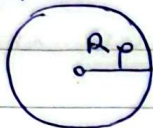
Μέγεθος ατόμου: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} (= 10^{-8} \text{ cm})$

Μέγεθος πυρήνα: μέσω της ακτίνας πρωτονίου $R_p \sim 10^{-15} \text{ m}$

$$R_p = 10^{-5} \cdot \text{\AA} \quad \text{ή} \quad R_p = 10^{-5} R_{\text{atom}}$$

Παράδειγμα

Εάν



$$R_p = 1 \text{ cm} \quad \text{τότε} \quad R_p = 10^{-5} R_{\text{atom}} \Rightarrow \frac{R_{\text{atom}}}{R_p} = 10^{-5} \text{ m} \Rightarrow R_{\text{atom}} = 10^5 \text{ m} \cdot 10^{-2}$$

$$\Rightarrow R_{\text{atom}} = 10^3 \text{ m} = 1 \text{ km}$$

Εάν ο πυρήνας έδω το e^- σε 1 km, τα άτομα πολύ μικρή πυκνότητα τα άτομα

Ενέργεια

Χημικός δεσμός $\sim 2 \text{ eV} \cdot \text{μικροσυστοιχία}$ $1 \text{ eV} = 96,5 \text{ kJ/mol} \approx 100 \text{ kJ/mol}$

Χημικά φαινόμενα $\sim 200 \text{ kJ/mol}$ μικροσυστοιχία

Θερμodynamική θεωρία

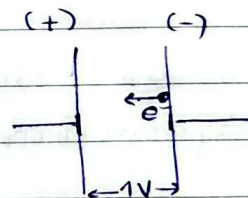
(διεργασίες)

Φυσικά φαινόμενα είναι 5 φορές μικρότερα

$\Delta H_{\text{ναιον}}, \text{H}_2\text{O} = 40 \text{ kJ/mol}$

Ορισμός eV $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$U = q \cdot V$$



$U =$ δυναμική ενέργεια που αισθάνεται ένα ηλεκτρικό φορτίο

$V =$ τάση, ηλεκτρικό δυναμικό

$$1 \text{ eV} = q_e \cdot (1 \text{ Volt})$$

$$1 \text{ eV} = (1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}) \cdot (1 \text{ V}) \quad \boxed{1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}} \quad (\text{Joule})$$

στοιχείωδες - αδιαίρετο φορτίο e^-

$E_H \approx 13,6 \text{ eV}$

$E_{He} = 24,5 \text{ eV}$

Ελάχιστος χημικών δεσμών = 2 eV

$$1 \text{ KeV} = 10^3 \text{ eV} \quad 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

$1 \text{ meV} = 10^{-3} \text{ eV}$ στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Δοσμή 100 meV IR (δευτερογενή ηλεκτρονική διεγερση)

Περίστροφη 1 meV μικροκύματα

(9)

Αρχή λειτουργίας φούρνου μικροκυμάτων.

Αρχικά ΑΠΑΓΟΡΕΥΟΝΤΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ, καθώς γίνονται αναφλέξεις καθιστώντας επιβιβδωο

Όταν βάζω H_2O στο φούρνο μικροκυμάτων δεν έχω "λύση" χημικών δεσμών αλλά προκαλούνται περιστροφές - δονήσεις

Περιστροφή $\rightarrow$ μικρότερες ενεργειακές στάθμες

Περιστροφή $\xrightarrow{\text{ΕΙΝΗΤΙΚΗ}}$ Θέρμηση

Πόσοι χημικοί δεσμοί λύνονται;

Ακτινοβολία γ

$$1 \text{ φωτόνιο του } 1 \text{ MeV} = \frac{10^6 \text{ eV}}{2 \text{ eV}} = 500.000 \text{ χημικούς δεσμούς}$$

$\downarrow$
η ενέργεια για τη λύση ενός χημικού δεσμού

Ετσι μπορεί κάποιος να ρυθμίσει ισχύος φούρνου με γ μεγάλης ενέργειας 10^3 φωτόνια ή 10^4 φωτόνια να ενεργήσει λύση πολλών χημικών δεσμών.

Μονάδες μάζας

Ατομική μονάδα μάζας (u)

$$1u = \frac{1}{12} M^{12}C = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g} \\ \approx M_H \text{ (*)}$$

M: μάζα $p+n$ (πυρήνα)

Γιατί χι να ορίσω την u χρησιμοποιώ το ^{12}C ;

Γιατί είναι εξαιρετικά στ πυρήνας και στ άτομο, διαδίδου σπινύση

(*) Λίγο πιο ελαφρύ (αποτελεστικά τύπου) από το άτομο του H (η διαφορά στο 1%)

Ορισμός ατομικής μάζας

$$1u \cdot N_A = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} = 9,99 \approx 1 \text{ g/mol}$$

$$AM [1u \cdot N_A] = 1 \text{ g} \text{ AM} \rightarrow \text{g/mol}$$

$\downarrow$ συγχρινω κάθε χημικό στοιχείο ως προς 1u

Ισοτοπία i με αβθονία a_i . Πως προκύπτει η AM;

$$\bullet AM(Z) = \sum_i a_i M_i(A_i, Z)$$

π.χ. ${}_{17}^{35}\text{Ce}$ $\alpha = 0,76$

$M({}^{35}\text{Ce}) = 35u$

${}_{17}^{37}\text{Ce}$ $\alpha = 0,24$ $M({}^{37}\text{Ce}) = 37u$

$AM(\text{Ce}) = 0,76 \cdot 35 + 0,24 \cdot 37 = 35,48 = 35,5$

Συσχέτιση μάζας - Ενέργειας

Θεωρία σχετισιμότητας

$E = m \cdot c^2$ (Einstein)

$m = \frac{E}{c^2}$

Δε μπορεί ναθε μάζα να την κάνω ενέργεια, παρόλο που με υλοποιώ διεργασίες μπορώ $m \rightarrow E$.

$1u = 931,5 \frac{\text{MeV}}{c^2}$

$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{F} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{kg}$ $\left\{ \begin{array}{l} (1u) \cdot c^2 = 931,5 \text{ MeV} \\ 1c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \end{array} \right.$

$m_p \cdot c^2 = 938,3 \text{ MeV}$

$m_n \cdot c^2 = 939,6 \text{ MeV}$

$m_e \cdot c^2 = 0,511 \text{ MeV}$ $m_e = 1/2000 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$

$\bar{m} c^2 = 939,0 \text{ MeV}$ (μείον μάζα νουκλεονίων)

$\bar{m} = m_p + m_n$

Η μάζα καθορίζεται από τη μάζα των συστατικών του πυρήνα

Γιατί το $\frac{1}{12} M^{12}\text{C}$ πιο μικρό από τη μάζα των συστατικών του πυρήνα;

Όταν έχω δέσμιο σύστημα η μ συστήματος μικρότερη από τη μ συστατικών του όταν τα έχω στο αλλο $\text{π.χ } {}^{12}\text{C}$

$m < \underbrace{6m_p \cdot c^2 + 6m_n \cdot c^2}$

απειρο

Πυκνότητα ύλης $\sim 1-20 \text{ g/cm}^3$

Πυκνότητα πυρήνα $\sim 2-3 \cdot 10^{14} \text{ g/cm}^3$ πολύ μεγάλη η πυρηνική πυκνότητα

$300.000 \frac{\text{ton}}{\text{mm}^3}$ ($1\text{ton} = 10^3 \text{kg}$)

Μονάδες χρόνου, ταχύτητας

$$R_p \sim 10^{-15} \text{ m} = 1 \text{ fm} \text{ (femto-meter/fermi)}$$

Για πυρήνα $A \sim 100$ $R = 5 \text{ fm}$ (αυτίνα) $D = 2R = 10 \text{ fm}$
(λέγονται μεσοβαρείς)

$$\bar{v} = \frac{1}{5} c$$

$$\frac{D}{\bar{v}} = t \Rightarrow t = \frac{10 \text{ fm}}{0.2c} = 50 \text{ fm} \cdot \frac{1}{c} = 166,5 \text{ fs}$$



$$v_{\text{max}} = 0.3 c$$

Ο χρόνος που απαιτείται το
φως για να διασχίσει 1 fm

$$N \delta_0 \quad \frac{1 \text{ fm}}{c} = 3,33 \cdot 10^{-24} \text{ s}$$

$$\frac{1 \text{ fm}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = \frac{10^{-15} \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = \frac{1}{3} \cdot 10^{-23} = 3,33 \cdot 10^{-24} \text{ s}$$

Πυρηνική αντίδραση: Ανάλλαξη νουκλεονίων

Χαρακτηριστικά οι χρόνοι των πυρηνικών αντιδράσεων

Τα νουκλεόνια κινούνται με μεγάλες ταχύτητες σε πολύπλοκες
υψηλές τροχιές

Πρότυπο υγρού

Στη θερμική δέσμευση τα νουκλεόνια

$\frac{1 \text{ fm}}{c}$ φυσική μονάδα t στην πυρηνική φυσική και υψηλής ενέργειας

Q αλληλεπιδράσεις



σαν την επιφανειακή τάση

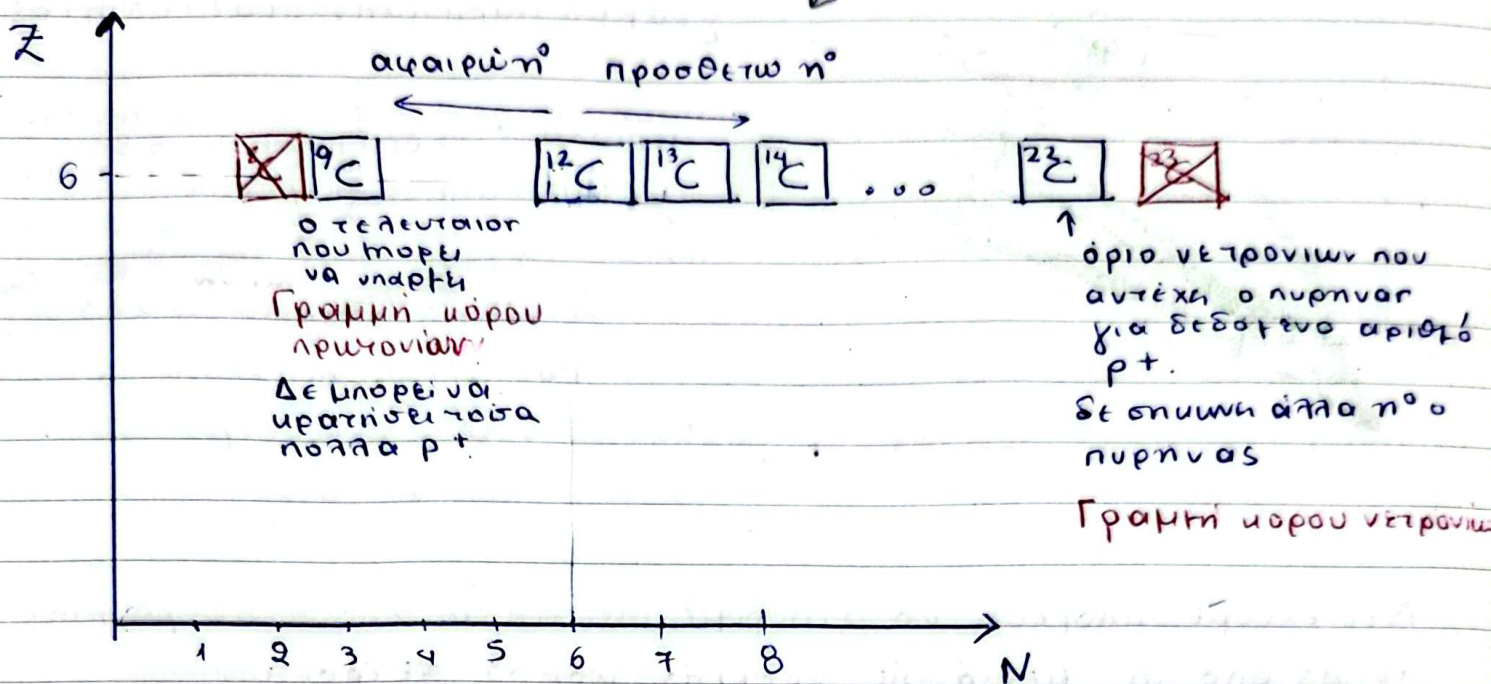
χωροχρόνου λόγω των ισχυρών

ελκυστικών δυνάμεων μεταξύ σιδηρών στην

περίθωρα.

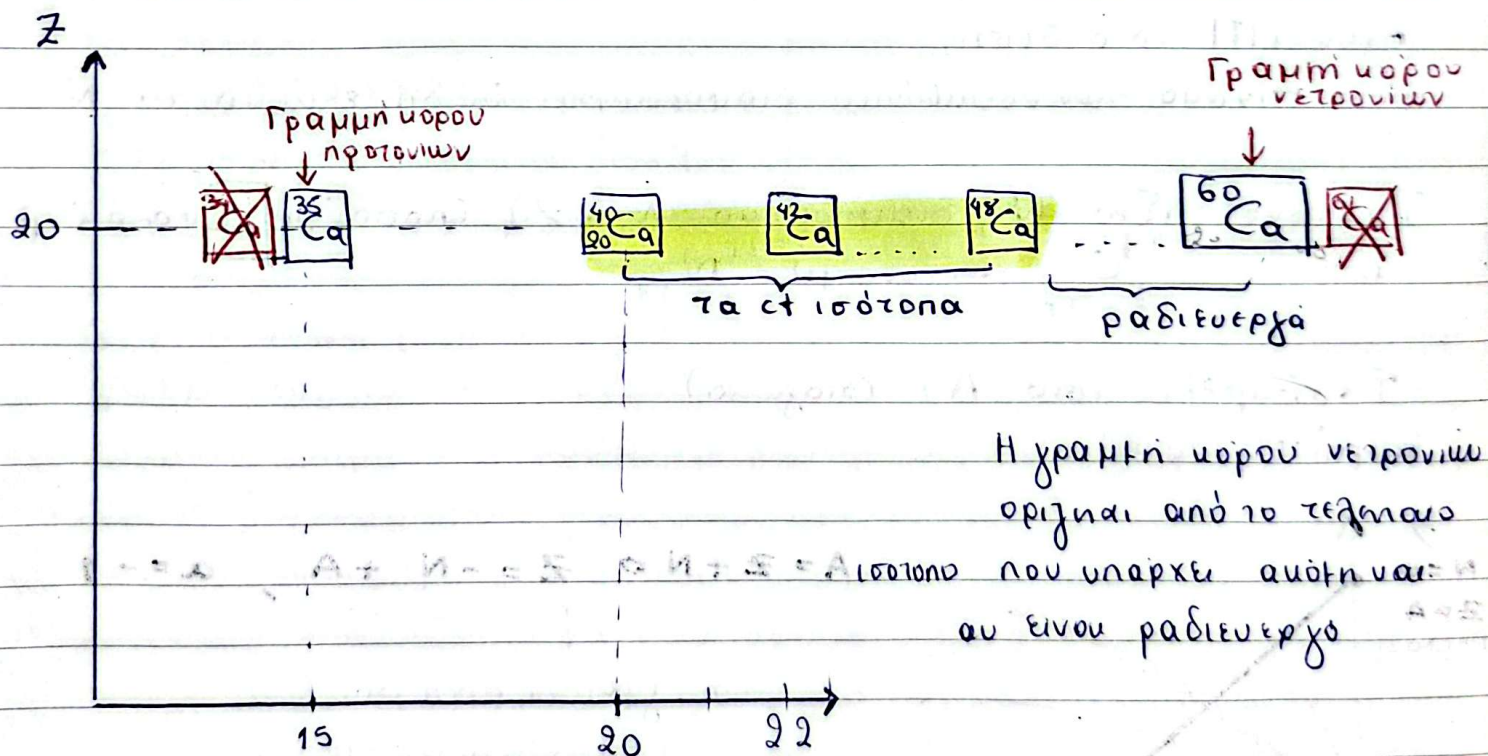
Συνήρσημα 2/10/24

505



Τα ελαφριά σt ισότοπα $Z = N$ π.χ. $^{12}_6\text{C} \approx ^{14}_6\text{C}$ ραδιενεργά
 $^{14}_6\text{C}$ μετασχηματίζεται σε $^{14}_7\text{N}$ και έχει ημίβιοτο 5730 έτ
 $t_{1/2} = 5730 \text{ y}$

$^{22}_6\text{C}$ $t_{1/2} \sim 6 \text{ ms}$ (σt όρια)

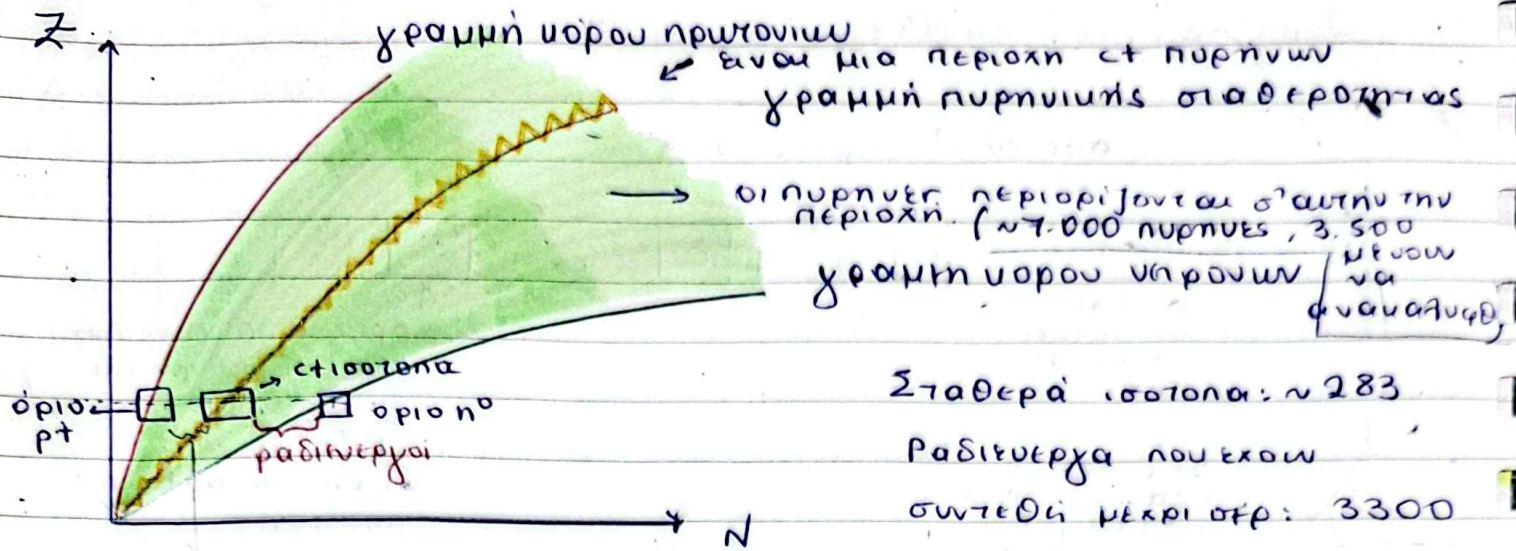


$^{56}_{26}\text{Fe}$ 92% $N > Z$ τα σt ισότοπα
 $^{26}_{10}\text{Ne}$ "no boron"
 $^{208}_{82}\text{Pb}$ $N > Z$

$^{238}_{92}\text{U}$ $N > Z$ (όχι και τόσο ραδιενεργό γιατί το $t_{1/2}$ μεγάλο $(4.5 \cdot 10^9 \text{ y})$ σημαίνει)

(13)

Πίνακας νουκλιδίων



Δεν έχουμε μπόρεσει να φτάσουμε στα άκρα της σταθερότητας ιδίως από τη μεριά της γραμμής υδρού νετρονίων

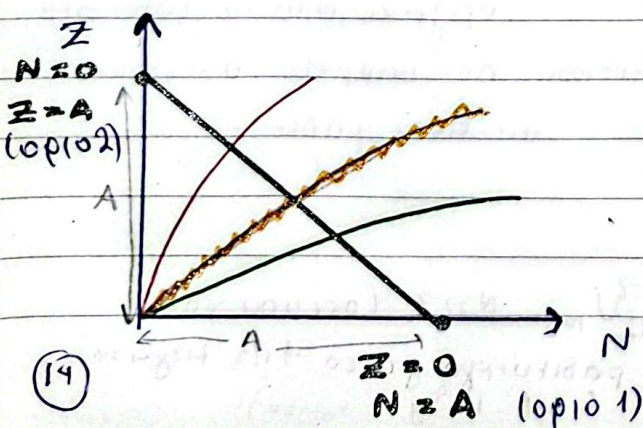
$$Z=118 \rightarrow O_9 + 112 = 1ms$$

Ασταθής πυρήνες: από άποψη κινητικής λίγα πράγματα
Καμία απορρόφηση μόνο

Ισότοπο: ίδιο Z , διαφορετικό A (προσθέτω ή αφαιρώ n)
στον ΠΠ ίδια θέση
στον πίνακα των νουκλιδίων διαφορετική ελέδη έχω και το N

Ισότοπο: ίδιο N , διαφορετικό A (Z) (προσθήκη αφαιρώ p)
π.χ. $^{13}_6C$ ισότοπο με $^{14}_7N$

Ισοβαρείς: ίδιο A (διαγώνιο)
(πυρήνες, νουκλidia)

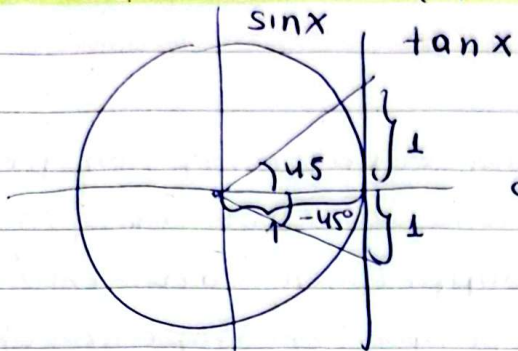


$$A = Z + N \Rightarrow Z = -N + A, \alpha = -1$$

η γραμμή αυτή μου δίνει
ισοβαρή νουκλidia
ισομελετεροδοξιοτριγωνο
με $\varphi = 45^\circ$

Αν πάρω τη διαγωνία πάνω στην οποία έχω τα ϵ^+ νουκλidia είναι $\perp$ στην ευθεία ($Z = -N + A$) ?ήσως άδυνατες

Η ευθεία είναι ο γεωμετρικός τόπος των νουκλιδίων που είναι ισοβαρή



$$\tan 45^\circ = 1 \quad \tan(-45^\circ) = -1$$

Στην περίπτωση των ισοβαρών ισότοπων πολύ σημαντικές κυρίως για τη διάσπαση β

Ραδιοεργχρ διασπαστες: οι τροποι που διασπώνται οι ραδιοεργχρ πυρήνες (α, β, γ) .

9/11/2024

Περιοχές της Φυσικής
Μειούμενο μέγεθος

↓ σπουδαιότητες

↑ αυξανόμενη ταχύτητα	Μειούμενο μέγεθος	↓ σπουδαιότητες
Κλασική ή νευτώνια μηχανική	Κβαντική μηχανική	Μπορεί να περιγραφεί κορίο άτομο πυρήνα μέσω της εγ. S.
Σχετιμιστική μηχανική (βασισμένη στην ειδική θεωρία της σχετικότητας)	Κβαντική θεωρία πεδίου (QFT)	

QFT: quantum field theory (μικροσωματίδια με ελαστικότητα τεραστιική)
 & QED όταν έχω ηλεκτρομαγνητική αλληλ. ρ¹, n^o

- Η ταχύτητα μικρή ή μεγάλη συγκρίνεται με αυτή του φωτός
- Το $1s$ ηλεκτρόνιο στο Cs έχει $v = 0,5c$ την κίνηση ε' γύρω από τον πυρήνα και οι v είναι μεγάλες
- Στον πυρήνα η κίνηση των νουκλεονίων $0,2c$ περιγράφεται από την εγ. S όπως πιο προσεγγιστικά η QFT, αλλά ΔΕΝ θα ασχοληθώ.

Τα p, n έχουν δομή δυνάμει στοιχειώδη σωμάτια
π.χ. quarks.

Ταξινόμηση σωματιδίων ανάλογα με το spin

(I) Φερμιόνια $S = 1/2$ (ή γενικά $S = n/2$)
π.χ. e^- (στοιχειώδες), p^+ , n (συνθετά σωμάτια)

→ Ισχύει η αναχρονιστική αρχή Pauli

(Ένα τροχιακό χαρακτηρίζεται από μία κυματοσυνάρτηση με δεδομένους κβαντικούς αριθμούς. Το πολύ 2 e^- με $\uparrow\downarrow$ spin)

→ Η συνολική κυμάση να είναι αντισυμμετρική (όταν έχω 2 e^- αν τα μεταθέσω αλλάζει το πρόσημο της κυματοσυνάρτησης)

→ "Καποια" Φερμιόνια (e^-, p^+, n) αποτελούν ΔΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ του φιδιού υδρογ.

→ Στατιστική Fermi - Dirac (απορρύνεται από την αρχή Pauli)
η οποία περιέχει την αρχή Pauli

Εξαιτίας της αρχής Pauli τα ΦΕΡΜΙΟΝΙΑ δομούν τον υδρο.

(II) Μποζόνια $S = 1$ (ή γενικά ακεραίο spin)
(S-Bose)

→ ΔΕΝ απορρύνεται την αρχή Pauli, αυτό δηλώνει πως αν έχω ένα ενεργειακό επίπεδο μπορώ να έχω όσα σωμάτια θέλω
στο αυτό το επίπεδο.

→ Η κυματοσυνάρτηση είναι συμμετρική του συστήματος

→ "Καποια" από τα ΜΠΟΖΟΝΙΑ αποτελούν ΦΟΡΕΙΣ ΑΜΗΛΕΠΙΔΡΑΣΤΩΝ

→ Μποζόνιο → φωτόνιο

→ Στατιστική ενός πληθυσμού μποζονίου απορρύνει τη στατιστική Bose-Einstein

Γιατί τα μποζόνια δεν μπορούν να αναληθούν ^{ως} δομές υδρο;

Ο λόγος είναι ότι ΔΕΝ ισχύει η αναχ. αρχή Pauli, γτ είναι αυτή που αναγκάζει τα e^- να μπουκ σε ενεργειακά επίπεδα 2s να μπου τα e^- γανάκι με $\uparrow\downarrow$ spin στο 1s (2), 2s (2), 2p (6)..., αλλιώς θα είχαμε ενα ντερό σπινίδια αποστάση από τον πυρήνα. Όχι νομιμότητα.

Εφαρμογή: Συμπύκνωση Bose-Einstein

Τα βωρονίδια είναι στοιχειώδη ή σύνθετα

Στοιχειώδη (Φερμιόνια) ($S = \frac{1}{2}$)

I) Λεπτόνια (είναι 6)

Είναι σπηριαυλά, όχι εσωτερική δομή, δηλ δεν έχει υπέρ ή υπομέσων.

	μυόνιο	βωρονίδιο "τ"	Q (φορτίο)
e^-	μ^-	τ^-	-1
ν_e	ν_μ	ν_τ	0
απορτίσιο, άμαζα			

Ποια πράξη των στοιχειωδων βωρονιδων;

Όταν λέμε μαζα εννοούμε την ποσότητα ενέργειας

• $m_e c^2 = 0,511 \text{ MeV}$

• $m_\mu c^2 = 105,7 \text{ MeV}$ οχι τόσο εγώτιμο
το συναντάτε στην κοστική ακτινοβολία

• $m_\tau c^2 = 1777 \text{ MeV}$ εγώτιμο
Εμφάνιση μετά από συγκρούσεις υψηλής Ε
(CERN)
πιο βωρυσόνο 2 φωτονία

	e^+	μ^+	τ^+	Q
$\bar{\nu}_e$	$\bar{\nu}_\mu$	$\bar{\nu}_\tau$		+1
				0

Λ_e	e^-, ν_e	: +1
Λ_e	$e^+, \bar{\nu}_e$	: -1
Λ_μ	μ^-, ν_μ	: +1
Λ_μ	$\mu^+, \bar{\nu}_\mu$	: -1

II) Quarks (είναι 6)

<u>d (down)</u>	s (strange)	b (bottom beauty)	Q (φορτίο βωρονιδίου)
<u>u (up)</u>	c (charm)	t (top, true)	-1/3
			+2/3

Θα μας αναποχτήσουν για αυτά δοθούν τα p^+, n^0

Τα υπόλοιπα quarks σε υψηλότερη ενέργεια (s, c, b, t)

Τα quarks τα βρίσκω ελεύθερα στη φύση; Όχι! (ζηλευμία)

Αλλά σε υαταστάθους συνδυαστάς, ως δαίμερ μονάδες σε άλλα βωρονίδια και μπορώ να πω συνδυαστού 2 ή 3 quarks.

Συνδυαστοί quarks (στοιχειώδη φερμιόνια) → 12 quarks

I) βαρυόνια 3 quarks (qqq)

π.χ. p^+ : (d u u) → (+1 φορτίο) *

n^0 (d d u) → 0

II) μεσόνια) 2 quarks ($q\bar{q}$) - το ένα quark ($u\bar{d}$) και το άλλο anti-quark ($\bar{u}d$)

αν $d = -1/3$ τότε $\bar{d} = +1/3$

π^- - μεσόνια (νιόνια) $\pi^+ (u\bar{d})$

Αλληλεπιδράσεις στη φύση

οι φορείς αλληλεξέλιξης είναι μποζόνια και έχουν αντισπιν

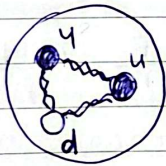
τη φυσική ποσότητα που είναι απαραίτητη για να ευθυγραμμιστεί η αλληλεπίδραση

Δύναμη	Φορέας	Εμβέλεια (απόσταση)	Σχετική Ισχύς	Υπόθετα	Χρόνος διεξαγωγής
① Βαρυντική	βαρυτόνια	∞	10^{-36}	"μάζα"	∞
② Ασθενής (β ⁺ , β ⁻ , Ec)	W ⁺ , W ⁻ , Z ⁰ (μποζόνια)	10^{-3} fm	10^{-3}	"ασθενές φορτίο"	$10^{-12} \approx 1$ ps
③ Ηλεκτρομαγνητική	φωτόνιο	∞	1 (όλα τα σώματα ανταλλάτουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια)	ηλεκτρικό φορτίο	$t_s = 10^{-15}$ s
④ Ισχυρή	gluons	1 fm	100	"χρώμα"	$10^{-24} \approx 1$ ys

- Ελάχιστη βαρύτητας (?) συνδεση οστών
- ανταλλαγών μποζόνια
- ανταλλάσσουν φωτόνια → νόμος Coulomb
- 2 μαζες ανταλλάσσουν βαρυτόνια

p⁺ (ή έσα στο πρωτόνιο)

n



ανταλλάσσουν μεταξύ τους gluons

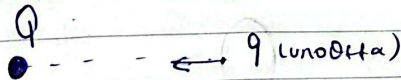


Πως ασκείται μια δύναμη;

Ασκείται μεταξύ 2 υποθεμάτων ανταλλάσσοντας φορείς

1) Δύναμη εξ' αποστάσεως (απαιρία)

2) Δύναμη μέσω πεδίου - ΟΛΑ τα πεδία διαδίδονται με τη c
φως $\rightsquigarrow$ $\Gamma\eta$, το πεδίο διαδίδεται και αντανακλώνται στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός



19) η ύπαρξη Q προσδίδει στο χώρο πεδίο, και αν ένα άλλο υποθετό q βρίσκεται στο χώρο, σ' αυτό ασκείται δύναμη

3) Δυναμική και αλληλεπίδραση φορτίων αλλήλων

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q \cdot q}{r^2} \quad E = \frac{F}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad \text{η ένταση βε ή α συχμετρικη περιοχή, αυξηση του q}$$

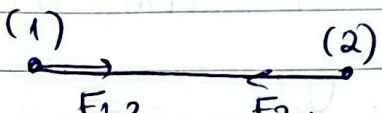
$$F = -\frac{dU}{dr} \Rightarrow dU = -F dr \xrightarrow{\text{ολοκληρώνω}} U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q \cdot q}{r} \quad \downarrow \text{δυναμική E}$$

$$V = \frac{U}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} \quad \downarrow \text{δυναμικό Coulomb} \quad \text{ιδιομα του χώρου αυξ. του q}$$

3 νόμοι Νεύτωνα 1. $\sum \vec{F} = 0 \quad U = \text{const ή } U = 0$

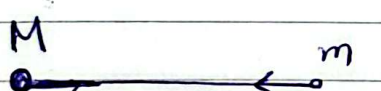
2. $\sum \vec{F} = m \cdot a$

έξ αναλογίας (κίνημα - αδρανειακή μαζα)

3. Δράση-αντίδραση  $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$

0. Δυνάμεις στην θέση ευθυγράμμου σε ζεύγη

$\sum F = 0$ στο σύστημα αλλιώς το σύστημα κινείται

 $F = \frac{G M m}{r^2}$ $\rightarrow g = \frac{F}{m} = \frac{G M}{r^2}$
 βαρυντική μαζα
 νόμος λογιόμοριας έλξης

$$U = \frac{G M m}{r} \rightarrow V_B = \frac{G M}{r}$$

αδρανειακή $\equiv$ βαρυντική - σχετίζεται με την ποσότητα της βαρύτητας

$p^+ \xrightarrow{1A} e^-$

$F_c = ; \quad V_c = ;$
 $F_g = ; \quad V_B = ;$

Η ισχυρή αλληλεπίδραση ασκείται μεταξύ των quarks.

"Νόμοι Διατήρησης"

Οι νόμοι διατήρησης καθορίζουν φυσικές αρχές που διέχουν τις διεργασίες στο μικρόκοσμο.

I) Κινηματικοί νόμοι

1) Διατήρηση της ενέργειας (συμπεριλαμβάνει και τη μάζα των σωματιδίων στην σχετινιστική ενέργεια ενός σωματιδίου)

$$E_i = T_i + m_i c^2$$

κίνητη

για ένα απομονωμένο σύστημα η ολική σχετινιστική ενέργεια είναι σταθερή.

$$\sum_i E_i = \text{const} \Rightarrow \sum_i (T_i + m_i c^2) = \text{const} \text{ (αβήθια-παραμετρία)}$$

Εμπρός τη διάσπαση = Εμετά τη διάσπαση

$$\left(\sum_i E_i \right)_{\text{initial}} = \left(\sum_i E_i \right)_{\text{final}}$$

2) Διατήρηση ορμής (για απομονωμένο σύστημα)

$$\sum_i \vec{p}_i = \text{const}, \quad \vec{p}_i = m_i \cdot \vec{v}_i, \quad \left(\sum_i \vec{p}_i \right)_{\text{initial}} = \left(\sum_i \vec{p}_i \right)_{\text{final}}$$

η χρήση του $\hat{z}$ αριστερά-δεξιά ανά για αλληλεπίδραση / δεσμεύει πως ίδιες v, m .

$$\vec{p}_{\text{initial}} = 0$$

$$\vec{p}_{\text{final}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = 0$$

Ένα αρχικό σωματίδιο (διάσπαση)

(μελετώ το cm)

$$\vec{p}_1 = -\vec{p}_2$$

όσο η μάζα του σωματιδίου $\uparrow \Rightarrow v \downarrow$ ώστε $\vec{p}_1 = -\vec{p}_2$

α' διάσπαση π.χ $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th} + ^4\text{He}$

τα βαριά

βαρύνει πυρήνες

σωματίδια α, μικρή m

$m \uparrow \Rightarrow v \downarrow$

μεγάλη v

E.C.

$$e^- + p^+ \rightarrow n + \nu_e$$

$$0 \rightarrow \leftarrow \circ$$

$$\vec{p}_1 \quad \vec{p}_2$$

στην έχω στην αρχή 2 σωματίδια γίνονται ανιδιαμετρία

οι υφόνσεις ώστε $\vec{p}_1 \text{ αρχ} = -\vec{p}_2 \text{ αρχ}$

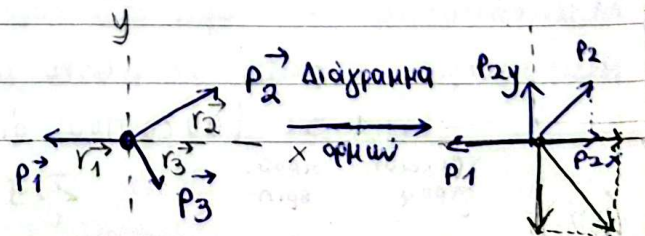
$$\uparrow \quad \downarrow \quad \uparrow \quad \downarrow$$

β-διάσπαση - 3 σωματίδια

initial

$$\vec{p}_{\text{initial}} = 0$$

$$\vec{p}_{\text{final}} = 0$$



Τα μίσην και οι συνιστώσες ώστε η $P_z = 0$

$$x: \vec{P}_1 + \vec{P}_3 + \vec{P}_2 = 0 \quad y: \vec{P}_2 = -\vec{P}_3$$

τα σωματίδια $\Sigma F_x = 0$
να συνιστώσων
έτσι ώστε

$$\Sigma F_y = 0$$

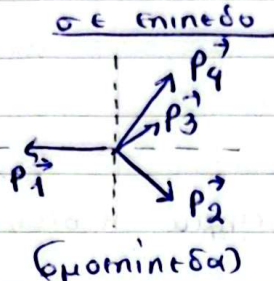
ούτως η άλλως η κίνηση
στο επίπεδο

$$\Sigma F_z = 0$$

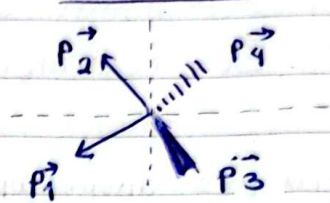
Γιατί η διάσπαση 3 σωματιδίων γίνεται στο επίπεδο και δεν μπορεί να έχω z; Η συνιστώσα του z δε θα μπορούσε να εφευρεθεί. Όποια προσπάθεια ναλι θα καταλήγαμε σε επίπεδο όχι 3-D.

Διάσπαση σε 4 σωματίδια

Initial Final



στο χώρο



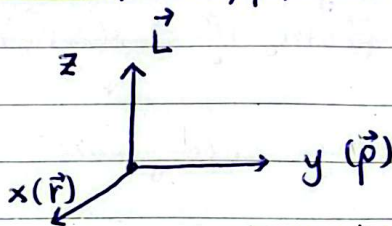
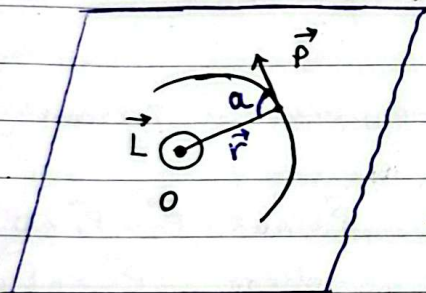
Γενική αρχή: Τα σωματίδια κινούνται αυτινιά σε μία διάσταση

Γιατί; Πως και δεν γείγουν παραέξω (3) Οφείλεται στην αρχή διατήρησης

της στροφορμής. $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \Rightarrow$ αλγεβρικά $L = |\vec{r}| \cdot |\vec{p}| \sin \alpha$

Το άνωμα της στροφορμής κάθετο στο επίπεδο των $\vec{r}, \vec{p}$ και έχει

τέτοια κατεύθυνση ώστε το σύστημα $\vec{r}, \vec{p}, \vec{L}$ να είναι ΔΕΞΙΟΤΡΟΦΟ



το άθροισμα των τροχιακών στροφορμών του αρχικού σωματιδίου =

το άθροισμα των στροφορμών των τελικών σωματιδίων

Η στροφορμή τεράστια σημασία στις διεργασίες - για την εκτέλεση διαφόρων διεργασιών.

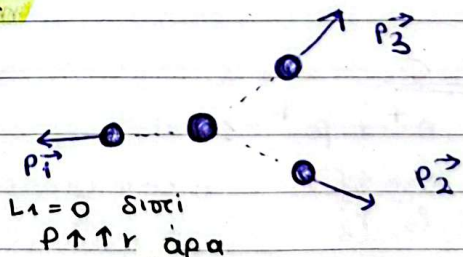
$$\sum_i \vec{L}_i = \text{const}$$

$$\sum_i (\vec{r}_i \times \vec{p}_i) = \text{const}$$

initial

$$L_{\text{initial}} = 0$$

final



Μακρόκοσμο: γεμάτη στροφορμή (ροπή αδράνειας) $\Rightarrow \sum L_{\text{final}} = 0$

Μικρόκοσμο: πρέπει να λάβει τη μορφή λανθασμένα υπό την όψη

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \quad (\text{αυτό που διατηρείται η ολική στροφορμή})$$

τροχιακή στροφ. στροφ. spin

$$\sum_i \vec{J}_i = \text{const}$$

Η διατήρηση στις διεργασίες έχει σημασία για τους κανόνες επιλογής. Οι μεταπτώσεις από ένα επίπεδο σε ένα άλλο επιτρέπονται ή όχι;

(22)

II) Δυναμικοί νόμοι

α) Διατήρηση ηλεκτρικού φορτίου $\sum Q_i = \text{const}$

β) Διατήρηση λεπτονικού αριθμού $\sum L_e = \text{const}$, $\sum L_\mu = \text{const}$

γ) Διατήρηση βαρυονικού αριθμού $\sum B_i = \text{const}$

Βαρυονικός αριθμός : ταυτότητα : +1

Αντιβαρυονικός αριθμός : ταυτότητα : -1

από θουρόνιο $\rightarrow$ 6 $\in$ θουρόνιο

$n \rightarrow p$

SOS : Παράδειγμα (1)

ΓΙΝΕΤΑΙ (νέφτεσιν)

β^- διάσπαση $n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$

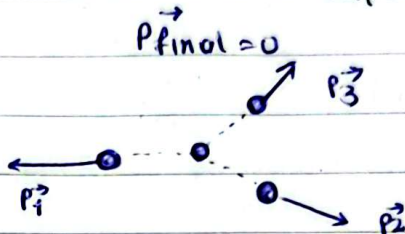
0,8 MeV μικρότερη ταχύτητα

1) Διατήρηση : mc^2 939,6 938,3 0,5 0 (άμαζο)

και θα μετατραφώ σε
Εκινητική στο σύστημα

(άρα θα κινηθούν)

2) Διατήρηση ορμής $p_{\text{initial}} = 0$



3) Δυναμικοί νόμοι : Q $0 \rightarrow +1 -1$ 0 (φορτίου)
Διατήρηση (φορτίου)

$L_e = +1$ $e^-, \bar{\nu}_e$

$L_e = -1$ e^+, ν_e
 p^+ η όχι λεπτόνια
άρα $L_e = 0$

4) Διατήρηση L_e $0 \rightarrow 0 +1 -1$

5) Διατήρηση L_μ $0 \rightarrow 0$ 0 0 $\rightarrow$ μανέα τριόνιο (=0)

6) Διατήρηση B $+1 \rightarrow +1$ 0 0 $\rightarrow$ $e, \bar{\nu}_e$ όχι βαρυόνια (=0)

Εάν $n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$ και όχι $\bar{\nu}_e$ (?) τότε θα έχω παραβίαση
την αρχής διατήρησης L_e γι L_e τον $\bar{\nu}_e = +1$ άρα +2
και όχι 0

Παράδειγμα (2)

β^+ διάσπαση $p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e$

1) Διατήρηση E mc^2 : 938,3 939,6 0,5 0 (★) Έτερος > Εξέρει

2) Διατήρηση p : $p_{\text{initial}} = 0$ $p_{\text{final}} = 0$ $A_{\text{initial}} = 0$

3) Διατήρηση Q : $+1 \rightarrow 0 +1$ 0

4) Διατήρηση L_e : $0 \rightarrow 0 -1 +1$

5) Διατήρηση L_μ : $0 \rightarrow 0$ 0 0

6) Διατήρηση B : $1 \rightarrow 1$ 0 0

★ Ένα απομονωμένο σύστημα δέχεται να μεταβεί σε υπ. βαρύτερο $\neq$ βθ χαμηλότερη Ενέργεια

Δεχόμαστε αυθόρμητα

π.χ. ψαλίδι H_2 στ γ επιδιώκει να απορροφήσει ενέργεια

2 τον πυρήνα το p^+ αλλοδρα με τα άλλα βωριαστικά και

Ε. αρα το ελαβερισμο ισχυρο ικανοποιείται μόνο στον πυρήνα όπου το p^+ ΔΕΝ είναι αποττωμένο

Τα νε αλλοδρα με ασθενή δωαίς

Η διατήρηση Ε ΔΕΝ ικανοποιείται σε απομονωμένο σύστημα $\neq$ νυννα (σε νυννα νυννα σε p^+)

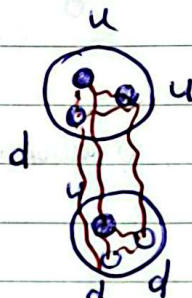
$1\text{Å} = 10^{-5} \text{ fm}$ $U(r) = -1.44 \frac{1}{r}$ (MeV fm)

16/10/24

Δομή και αλλοδρα νυνναδωαίς

$p^+ : (uud) = (+1)$
 $+\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3}$

$n : (udd) = 0$



$m_u c^2 \approx 3 \text{ MeV}$

$m_d c^2 \approx 7 \text{ MeV}$

Πειραματισ

938.3 MeV

939.6 MeV

$m_p c^2 = 2m_u c^2 + m_d c^2 = 13 \text{ MeV}$

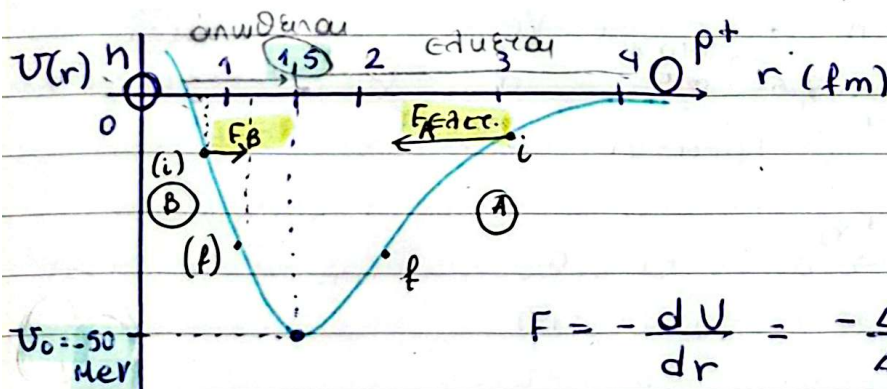
$m_n c^2 = 2m_d c^2 + m_u c^2 = 17 \text{ MeV}$

$\bar{\mu} \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$

$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$

$e^- \rightarrow \nu_e + \gamma$

Γραφική παράσταση αλλοδρα $p^+ - n$ (νυνναίη αλλοδρα, νυνναίος δωαί, νυνναίη αλλοδρα)



Όταν εαυτινή αλλοδρα

2 βωριαστικά ν

γραφική αλλοδρα 2

βωριαστικά έχει αλλοδρα

δωαίη μορφή

$F = -\frac{dU}{dr} = -\frac{\Delta U}{\Delta r} = -\frac{(U_f - U_i)}{\Delta r}$

μετουμεν δωαίη ενέργεια

Η Ε έχει την ιατεδωαίη της μετουμενς π

(29)

3. U_S : Ποια η υπερωσωση της δύναμης από $i \rightarrow f$?

(A) $\Delta U = U_f - U_i < 0$
 $\Delta r = r_f - r_i < 0$ } $\Rightarrow (> 0$ και ενεργει $(-) \Rightarrow F < 0$
ΕΛΚΤΙΚΗ

(B) $\Delta U = U_f - U_i < 0$
 $\Delta r = r_f - r_i > 0$ } $\Rightarrow < 0$ και $\ominus \Rightarrow F > 0$
ΑΝΩΣΤΙΚΗ

Το τραβάει το βαρυτικό ή το απωθεί στη ΘΙ.

(Γ) Θ.Ι. (?) $F = 0$ **SOS**

Αυτό είναι ελάχιστο - Η 1^η παράγωγος = 0
 Απώτατο ελάχιστο.

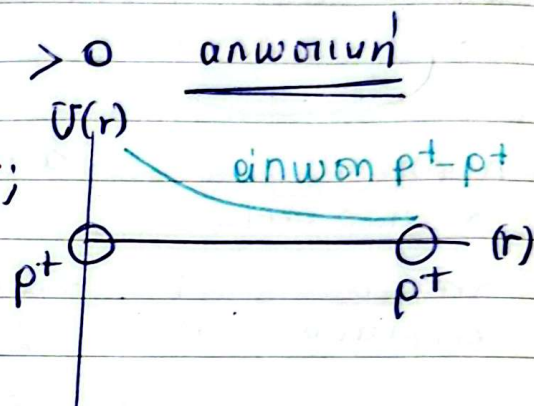
$\bigcup dU \rightarrow 0$
 το r μηδέν

• Αν $p^+ - p^+$ σε $r = 1,5 \text{ fm}$

και ελκτική αλλά και ανωση Coulomb

$U(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_p \cdot Q_p}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} > 0$ ανωστική

SOS: Ποια η μορφή της βαρύτητας;
 Μια υπερβολή

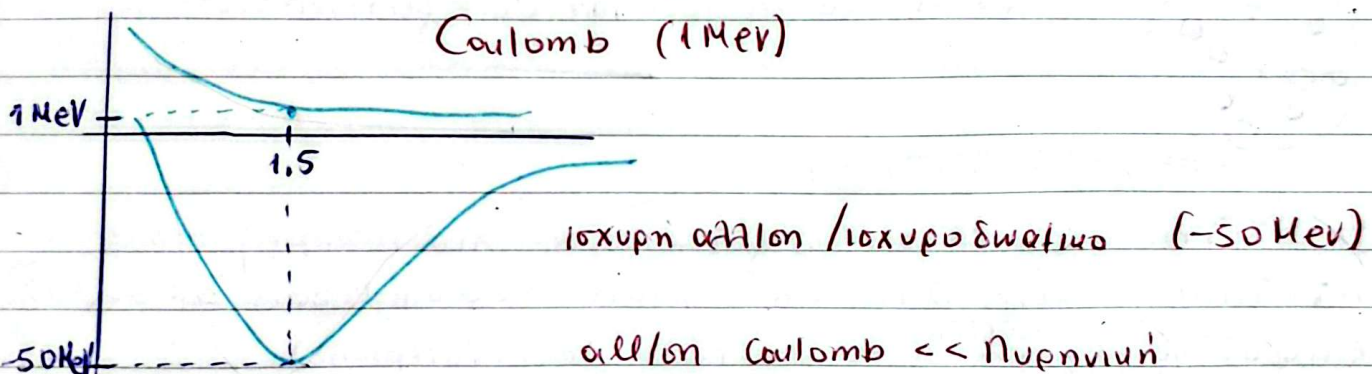


Αν $r = r_0 = 1,5 \text{ fm}$

$U(r_0) = 1,44 \cdot \frac{1}{1,5} \sim 1 \text{ MeV}$



Πρόσπαθω να αποδοσω το γραφικό $p^+ - p^+$



SOS: Ποια η σειρά ισχύος $n-p^+$, $n-n$, p^+-p^+ ?

1) $p^+ - n$: πυρηνική ελκτική αλληλ

2) $n - n$: πυρηνική ελκτική αλληλ, πρόβλημα Pauli
 εντός από την απόσταση εξαγωγής και από τα spin

3) $p^+ - p^+$: πυρηνική, Pauli, Coulomb

2 παιδιά βαρυτικά ($n-n$, p^+-p^+) : αυ τα spin $\uparrow \downarrow$ OK

(2f)

αν τα spin $\uparrow \uparrow$ (οχι υοντα) τα 2 η με την ιδιότητα spin δε θέλω να βρεθούν στην ίδια περιοχή των χώρων (Pauli)

Ποσοτική σχέση αλληλίας $F_{Coulomb} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$
 Γιαυτό και ο πυρήνας πιο ct . Αισθητότερη $F_C \ll F_{Nuc}$.

- Ατομο H ($r = 1 \text{ \AA}$ $p^+ - e^-$) λ οχι fm
 Θεωρητικά $-14,4 \text{ eV}$ Πηραματικά $E_{H_1} = -13,6 \text{ eV}$
 (δημιωδεις) ιονιζμων
 Ενεργεια ατομων $-14,4 \text{ eV}$
 Ενεργεια πυρηνα -50 MeV } λ ογο 10^{-6}

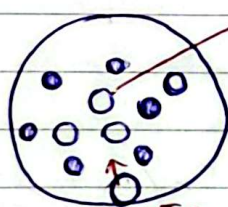
Δέσμια συστήματα (ελεύθρη αλληλ)

- 2 ατομα ^{μοριο} οταν θι είναι το μηκος του χημικου δεσμου (μονο-e)
 -2 eV : δύση χημικου δεσμου (κτηνωδεις)
 • Μοριο - Μοριο: van der Waals (Jones)
 $-0,2 \text{ eV}$

$\frac{\text{πυρηνιο}}{\text{χημικό δεσμο}} = 25 \cdot 10^7$

$\frac{\text{χημιο}}{\text{μοριο}} = \frac{1}{10}$ τα φυσικα φαινόμενα $10 \times$ ηυρστηα απο τα χημικα

Σχήμα πυρηνα : Έστω σφαίρα



$\Sigma F = 0$
 Αλληλωση με τους ατεσδυ γείονετρου

$\Sigma F \neq 0$ προς τα τωα

SOS: Ποιο νουκλεονιο συμπατείται πιο ισχυρα;
 Εμφανειται τωση Στο εσωτερικο εινανουκλεονιο $\Sigma F = 0$
 $\neq$ εμφανειται (αλληλωση ^{αλληλωση} μόνο με το νουκλεονιο του εσωτερικου)
 Στο εσωτερικο αλληλωση με περισσ. νουκλεονια, πιο πολλοι
 δεσμοι $\Rightarrow$ πιο ct

Ενανουκλεονιο εσωτερικου $\rightarrow$ εγω
 Θεωραται ηωω ενεργεια-εργο $\gamma = \frac{dW}{d\sigma}$ (ενε. τωση)

σι

- Εμφανεια ωωω: ελαχιστη δυνατη για τον αριθμo νουκλεονιω
 $\hookrightarrow$ ΣΦΑΙΡΑ (ομογενη), διακορημια σε αλλο σχηα ηη
 and and θα ηωθελαν να αναμωτατατωω

$$S = 4\pi R^2 \quad V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

$$V \propto A \quad R \propto A^{1/3} \rightarrow R = r_0 A^{1/3}, \quad r_0 = 1,12 \text{ fm}$$

Γο πυρηνας σφαιρικης και γραφτε τον τονου σου συνδεει R, A; **SOS**
 πυκντητα πυρηνα $\rho = \frac{m}{V} = \frac{A \cdot m_n}{V}$ ← ουσιαστικα αριθος βωρονιδιων

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi r_0^3 A$$

Αρα $\rho = \frac{A}{\frac{4}{3}\pi r_0^3 A} = \frac{3}{4\pi r_0^3} \approx 0,17 \text{ νουκλεονια/fm}^3$

A	R	S (fm ²)	Sd (fm ²) (nR ²)	V (fm ³)	U = $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r}$ E_coulomb
10					
40					
100	5,2 fm		85 fm ²	590 fm ³	

240

$$Q_1 = 2 \cdot e$$

$$Q_2 = e^-$$

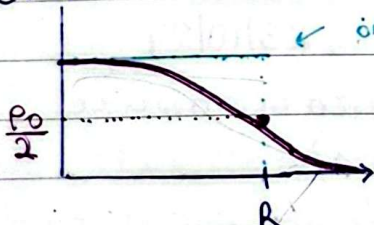
Σε μια σφαيرا χρειαζομαι τη διασκη $S = \pi R^2$
 $r_0 = ct = 1,12 \text{ fm}$ ειναι ct.

$$r = R + R_p$$

$$R = r_0 A^{1/3}$$

Πυκντητα πυρηνα (ηερσμοτικα) $\sim 0,16 \text{ νουκλεονια/fm}^3$ $R_p = r_0 = 1,12 \text{ fm}$
 (η A > 1 ατ δτ το θα ασαι συν νουκ)

ρ(r)



← οπου υποταξω ο αριθος των νουκλεονιων ειναι ιδιος

SOS: Γε η πυκντητα δε διαματα $r = R$;

Μοντελο σκληρης σφαϊρας. Γε υπ ανδ τα νουκλεονα

δικο εγω και ξανα μετα

Και σε μια διασκη η μικραεια υφου δε βθινει ανδτομα οπως μεδν
 δικο νουκλεονα στον πυρηνα η μεταβολη πιο ανδτομα.

proton emission: αν διαφυγει ενα νουκλεονιο.

Συνάρτηση Fermi $\rho = \frac{\rho_0}{1 + e^{\frac{r-R}{a}}}$ για $r=R \Rightarrow \rho = \rho_0/2$

$a \sim 0,55 \text{ fm}$: παράμετρος επιφάνειας (πυκνότητας) και δείχνει πόσο διασπαρμένα είναι τα σωματίδια, δηλώνει την ασυμπίεση της πυκνότητας

$\rho(r) = \rho_n(r) + \rho_p(r)$ • αν έχω $N=2$ $\rho_n(r) = \rho_p(r)$ τότε $\rho(r) = 2\rho_n(r)$
 $\rho_p(r) = \rho_n(r) = \frac{\rho(r)}{2}$
 • αν $N > 2$ $\rho_n(r) > \rho_p(r)$

Πείραμα για να μετρήσω την πυκνότητα του πυρήνα

- 1) Σκέδαση e^- ($E_e \sim 1000 \text{ MeV}$) σκέδαση γραμμικοί επιταχυντές
- 2) Σκέδαση p^+

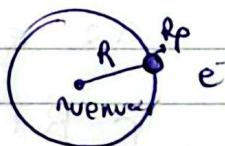
- ① το δευτερόνιο θα αντιδράσει με φορτισμένα σωματίδια ορα $\rho_p(r)$
- ② Σκέδαση (p^+) $E_p \sim 20 - 100 \text{ MeV}$ p^+

Σκεδαζονται και μετά 2 $p^+ - p^+$: Coulomb, $p^+ - n$ ισχυρή αλληλ.



$\rho(r) = \rho_n(r) + \rho_p(r)$

$\rho_n(r) = \rho(r) - \rho_p(r)$



$Q_1 = 2 \cdot e$
 $Q_2 = e$
 $r = R + r_p$

$R = r_0 A^{1/3}$

$R_p = 1,12 \text{ fm}$ (αυξάνεται, στον πυρήνα $A=1$)

$U = 1,44 \text{ MeV} \cdot \text{fm} \frac{Z}{R + R_p} \rightarrow U = \dots \text{ MeV}$

Ειδική θεωρία σχετικότητας

23/10/24

Χώρος (νέυτωνια) : ισότροπος (μπορώ να στρέψω το βέλος σε όποια πλευρά του κύβου και η συμπεριφορά ίδια)

Χρόνος (νέυτωνια) : ισότροπος, ομότιμος, παγκόσμιος (ο χρόνος στο βέλος περνά το ίδιο για όλους)

π.χ. ένα πείραμα σε μια t και τα αποτελέσματα σε μια άλλη t , ίδια αποτελέσματα.

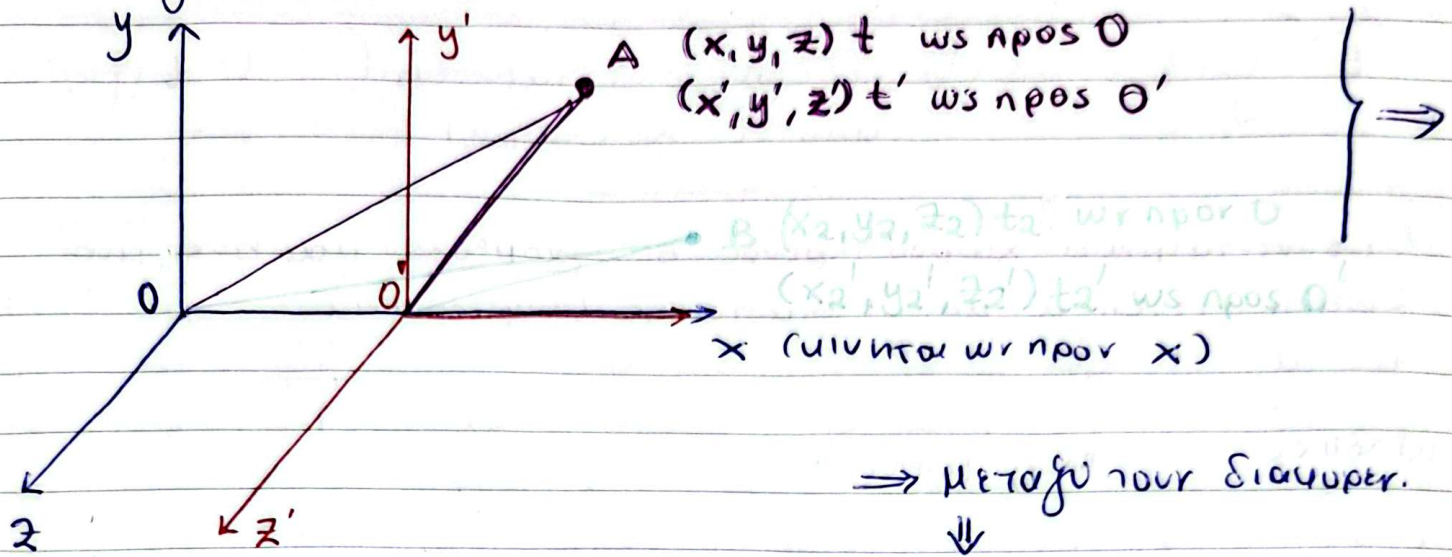
②

Αδρανειακό σύστημα αναφοράς : ένα σύστημα όταν απομόνωμένο, δε του ασκούνται δυνάμεις

Αδρανειακός παρατηρητής : αυτός που παρατηρεί

Τα αδρανειακά συστήματα μεταξύτες μπορούν να κινούνται μεταξύ τους με την $U = ct$

Χρειάζονται μετασχηματισμοί Γαλιλαίου



Μετασχηματισμοί Γαλιλαίου

$$\begin{aligned} x' &= x - ut \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \quad (\text{απόλυτος}) \end{aligned}$$

Μετασχηματισμοί διαστημάτων Γαλιλαίου

$$\begin{aligned} \Delta x' &= \Delta x \\ \Delta y' &= \Delta y \\ \Delta z' &= \Delta z \\ \Delta t' &= \Delta t \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{π.χ. το μήκος} \\ \text{του μολύβιου} \\ \text{σταθερά} \end{array} \right\}$$

Μετασχηματισμοί ταχυτήτων

$$\begin{aligned} u_x' &= u_x - u \\ u_y' &= u_y \\ u_z' &= u_z \end{aligned}$$

Αξίωμα αδράκειας: Οι νόμοι φυσικής ισχύουν αναλλοίωτοι στα διάφορα αδρανειακά συστήματα. Ό,τι ισχύει στο O και στο O' . Οι νόμοι Νεύτωνα (1, 2, 3) και στο O, O' . Κατι που γρήγορα θα βρεθεί το ίδιο στο O' .

Εστω

$u_x = c$. Τι θα μετρήσει ο παρατηρητής στο O ;
 $u_x = u_x' + u = c + u > c$ (?) ΑΤΟΠΟ Δε μπορεί να έχω $u > c$ ποτέ! Αρα αλλαγή μετασχηματισμών ώστε βρεθεί στο πείραμα.

Ειδική θεωρία σχετισμού

Αρχές

1. Αρχή αδράκειας / Αρχή σχετισμού (και πείραμα)
2. Αρχή $c + \text{ταχύτητα του φωτός}$

(2p)

Μετασχηματισμός Lorentz : υπολογισμός από την αρχή (2)

$$x' = \gamma(x - u \cdot t) \quad \text{όπου } \gamma = \text{παράγοντας Lorentz}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

Επηρεάζει διατεταγμένη χωρο-χρόνου

$$t' = \gamma \left(t - \frac{u \cdot x}{c^2} \right) \quad \text{Τι είναι από παμπόνη (?) } 0 \text{ } t \text{ εξαρτάται}$$

από το x (χώρο)

Οι συντεταγμένες χωρο-χρόνου συνδυασμένες, μας είναι μια
δωρεάν οντότητα με 4 διαστάσεις (χωροχρόνου)

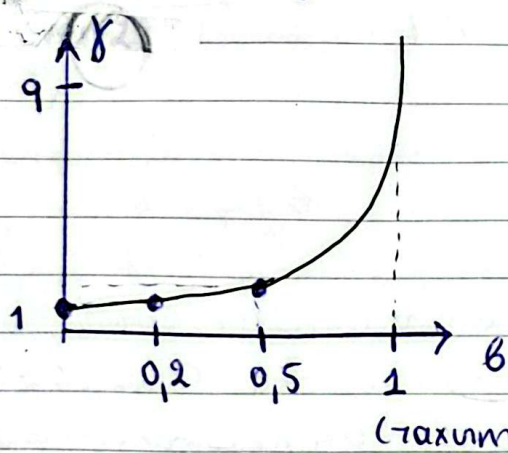
$\beta = \frac{u}{c}$	$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$	β	γ
0	1	0	1
0,2	1,02	0,2	1,02
0,5	1,15	0,5	1,15
0,9	2,3	0,9	2,3
0,99	7,1	0,99	7,1
0,999	22,4	0,999	22,4

υποτίθεται $\sim 0,999$

0,5 c : ε' 1s μεσοβαρύνει νεύρο
0,9 c : ούτε νύκτα μηχανική
(για μικρό u) όχι Lorentz

όταν $\beta \rightarrow 0$ $\gamma = 1$

(Γαλιλαίο) → θα πολυμυρ u, οριανά χαμλεν u.



απειρίσθη $\gamma(u) = f(\beta)$

μετασχηματισμόν διαστημάτων

$$\Delta x' = \gamma(\Delta x - u \Delta t)$$

$$\Delta y' = \Delta y$$

$$\Delta z' = \Delta z$$

$$\Delta t' = \gamma \left(\Delta t - \frac{u \Delta x}{c^2} \right)$$

"Διαστολή χρόνου" (γίνατο παραλαβή πρηνή πρώτα!)

Αντίστροφο μετασχηματισμό Lorentz

$$\Delta x = (\Delta x' + u \Delta t') \cdot \gamma$$

$$\Delta y = \Delta y'$$

$$\Delta z = \Delta z'$$

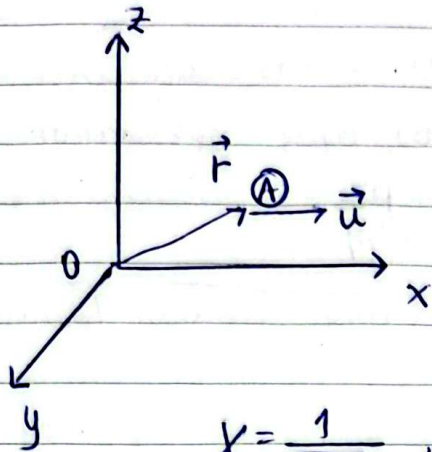
$$\Delta t = \gamma \left(\Delta t' + \frac{u \Delta x'}{c^2} \right)$$

(30)

Πείραμα στο 0' σε κάποια θέση (αφ' $\Delta x' = 0$) και διαρμει $\Delta t'$
(στον ίδιο χρόνο θαλαββί δώσημα). Πόσο διαρμει το πείραμα όταν
μελερθεί από τον παραμυρτη 0; $\Delta t = \gamma \Delta t' \quad (\Delta x' = 0)$

$\gamma > 1$ όσο $\gamma \uparrow \Rightarrow \Delta t \uparrow$ σε μεγάλες u
 $\beta = 0$ μικρές u . Ο παρατηρητής Ο πιο μεγάλο Δt από τα Ο'
 Μισία $\rightarrow t/2 = 2\mu s$ (σημειώσεις)

Δυναμική στην ειδική θεωρία σχετιστικότητας



Δύναμη: $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ όχι $F = m \cdot a$, διότι
 σ' ένα απομονωμένο σύστημα πάντα ισχύει
 η αρχή διατήρησης της ορμής θα πρέπει η
 ορμή να ισούται με την εξίσωση (1) που έχει
 και ένα παράγοντα γ που δε μπορεί να
 αφανιστεί από την $F = m \cdot a$

Ορμή: $\vec{p} = \gamma \cdot m \vec{u}$ (1)

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$, $\beta = \frac{u}{c}$ το πλάσμα την ταχύτητα των φορέων
 του βωμαριδίου.

Γιατί όχι $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$; $\vec{p} = \gamma(u) m \cdot \vec{u}$ $F = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(\gamma(u) m \cdot \vec{u})}{dt}$

$\neq m \frac{d\vec{u}}{dt}$ επειδή το γ εξαρτάται από την u και παραγωγίζεται
 και από.

Κινητική ενέργεια $T = (\gamma - 1) m c^2$ (2) $\Rightarrow T = \gamma m c^2 - m c^2$
 $T = \frac{1}{2} m u^2$ ή $T = \frac{p^2}{2m}$

$E = \gamma m c^2$ (3) άρα

$E = T + m c^2$ (4) πρέπει να ισχύει στην αρχή διατήρησης ενέργειας
 $\Sigma E_i = \Sigma E_f$

• Ίσως ορίσει σχετιστικότητας και p

$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$ (5)

SOS: Απόδειξη

(3) $\xrightarrow{\text{υψώνω τετραγωνά}} E^2 = \gamma^2 (m c^2)^2$
 (1) $\xrightarrow{\text{"-"} \Rightarrow} p^2 = \gamma^2 m^2 u^2 \xrightarrow{\beta = \frac{u}{c}} p^2 = \gamma^2 m^2 (\beta c)^2 = \gamma^2 m^2 \beta^2 c^2$ πορίζω και τα 2 μέλη με c^2
 $c^2 p^2 = \gamma^2 \beta^2 (m c^2)^2$

Αφαιρώ κατά μέλη $E^2 - (pc)^2 = \gamma^2 (m c^2)^2 - \gamma^2 \beta^2 (m c^2)^2 \Rightarrow$

$E^2 - (pc)^2 = \gamma^2 (1 - \beta^2) (m c^2)^2$

Γερω $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \Rightarrow \gamma^2 = \frac{1}{1-\beta^2} \Rightarrow \gamma^2 (1-\beta^2) = 1$

$E = (pc)^2 + (mc^2)^2$

Σχέση γ και p

Νεύτωνια: $\gamma_N = \frac{p^2}{2m}$

Σχετιστική: $(pc)^2 = \gamma(\gamma + 2mc^2)$ | Απόδειξη προαίρεση

(4)² και εφωδωσω με την (5)

↓ παίρνω στην υλαβή

$v \ll c$ άρα $\gamma \ll mc^2$ και άρα ατέλειον

$$(p\cancel{c})^2 = \gamma \cdot 2m\cancel{c}^2 \Rightarrow \gamma = \frac{p^2}{2m}$$

Ερώτηση: Υπάρχω άμαζα δωματidia στην υλαβή / Νεύτωνια μηχανική; ΟΧΙ

Δωματidia χωρίς μάζα

I) Κλασσική μηχανική $p = m \cdot u \xrightarrow{u=0} p=0$ $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = 0$ αφού δεν ασκούν F δε τους ασκω F άρα δεν υπάρχουν

II) Σχετιστική μηχανική / Σχετισμός

α) $v \ll c$ $\vec{p} = \gamma \cdot m \vec{u} \xrightarrow{m=0} \vec{p}=0$ $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = 0$

Δωματidia χωρίς μάζα που έχω $v < c$ ΔΕΥ υπάρχουν.

β) $v = c$ $p = \gamma m u = \gamma m c$ για $v = c$ το $\gamma \rightarrow \infty$ και οδηγεί σε απροσδιόριστα, αλλάζω προσέγγιση άρα χρήση ορίων

Τι και πω: $p = \gamma m c$ και $E = \gamma m c^2$ και διαιρώ κατά c

$$\frac{p}{E} = \frac{1}{c} \Rightarrow E = p \cdot c$$

Τα μόνα δωματidia με μάζα $= 0$ που κινούνται με $v = c$. (φωτόνια, νευτρίνα)

Τα γλυφον αδωαρον να τα παρατηρησω - άταζα

Αφού η ορμή πλέον πεπερασμένη είναι δυνατό να έχω δωατ

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad p = \frac{E}{c}$$

Επειδή έχω ορμή ανακλώμενη και επιστρέφω πίσω

Υπάρχει ένα φαινόμενο: Τα φωτόνια που έχω ορμή ασκώ F .

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο: τα φωτόνια βρίσκονται σε παύση E .

$$E = h \cdot \nu$$

(μην άφη ότι η συχνότητα είναι υποτιθέμενη)

Φαινόμενο Compton: Δέσμη φωτονίων σε ελεύθερα e^- . Το φωτόνιο χτυπά ένα e^- και από σκέδαση. Δωματidia αίσθη φωτονίων που μεταφέρει $E = pc$ (Γραφή απόδειξη σχετισμός)

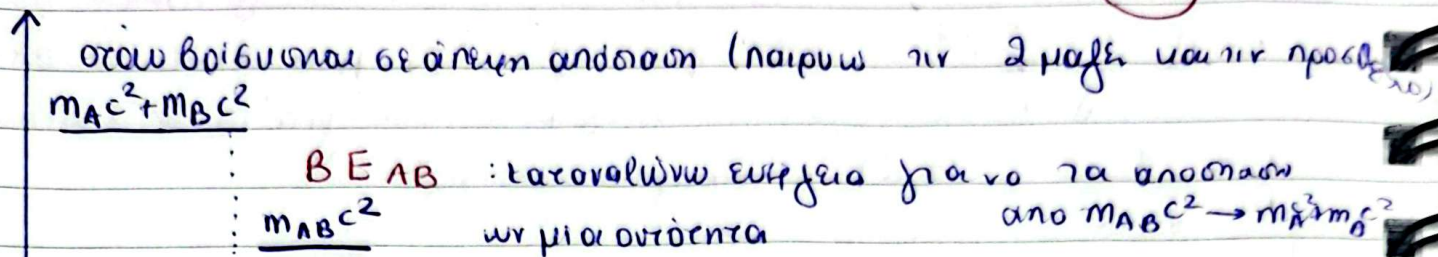
Εκτομή e^- στα περτω των επιφανειά μετάλλων. (?)

οχι σχετισμιση.

π.χ. σε MS

Ποια αλλα δεικναι συστηματα γεμετε; σημειωσεις σεα. 3

Δεικναι συστημα Α, Β, Ενερεια συδεσεως (Binding energy) **BE**



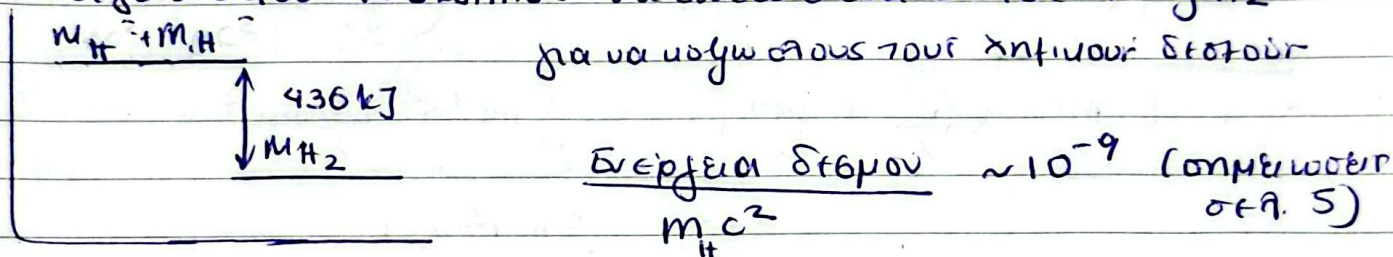
$$m_A c^2 + m_B c^2 = m_{AB} c^2 + BE_{AB} : \text{Αρχη διατηρησης ενεργειας}$$

$m_{AB} c^2 <$ απο τις μιμερους

οχι Dalton: $m_A + m_B = m_{AB}$ γεχω **(+BE)** μιμη αλλαγη αλλο υπαρχει

Μοριο H_2

Ενεργεια δεσμου 436 kJ/mol να δωσω σ'ενα 1 mol η $2 \text{ g } H_2$



Πινακας μοριων σημειωσεις σεα. 5.

π.χ. $H-H$ 436 kJ/mol $\frac{\Delta E}{c^2} = 2,2 \text{ ng}$ οχι ανιχνευση με κανονικο μεσο.

$SOS \rightarrow$ Εχω νεο που θερμαιναι απο $20^\circ C \rightarrow 50^\circ C$ (οχι $100^\circ C$ δευ εω $100^\circ C \rightarrow g$), οποτε αλλη η ενεργεια καπου πρεπει να διοχετευει ορα η μαζα H_2O απερελαχιστα $\uparrow$ αεροι προσεφερω ενεργεια $\rightarrow$ Αν $20^\circ C \rightarrow 100^\circ C$, η ενεργεια για την αλλαγη φασεω $l \rightarrow g$
 $\Delta H_{vap} = 40 \text{ kJ/mol}$

Σχετισμιση $Q = \Delta m c^2$ **(6)**

Θερμοληψια $Q = C_p \Delta T$ $C_p = m c_p$

C_p = ειδικη θερμοχωρητισμιση H_2O (εφ'οριστον) = $1 \text{ cal/g}^\circ C$

$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$

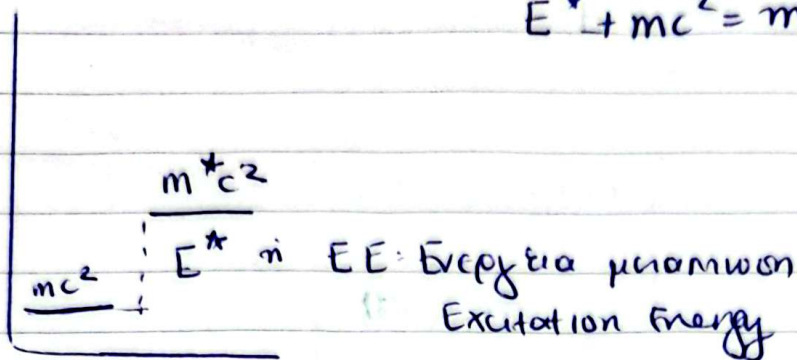
$Q = \dots \text{ kJ}$ και θα το μετατρεψω απο την **(6)** σε Δm για να δω ποσο αφηθηκε η μαζα

$\Delta m = \frac{Q}{c^2} = 1 \text{ ng}$ ατελειωτο

34

Διευκρινισμένο σύστημα

$$E^* + mc^2 = m^*c^2$$



Παράδειγμα πυρηνικής ${}^{99}_{43}\text{Tc}$ ασταθούς πυρήνας

Όταν επηκινουργείται σε διεγερμένη κατάσταση
SPECT: σπινθηρογράφημα (αυτοβολία γ)

$${}^{99}_{43}\text{Tc}^* \left\{ \begin{array}{l} E^* = 0,140 \text{ MeV} \\ +1/2 = 6h \end{array} \right.$$

Πόσο πιο βαρύς ο πυρήνας του Tc^* από τον Tc ;

$$1u = m_p c^2 = 931,5 \text{ MeV}$$

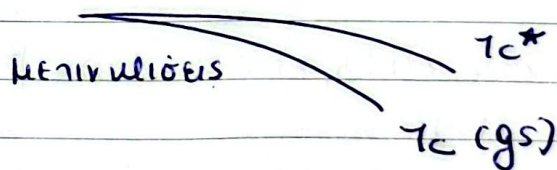
$$\text{μάζα } \text{Tc} = 99u$$

$$mc^2 = (99u)(931,5 \text{ MeV}/u) \approx 10^5 \text{ MeV}$$

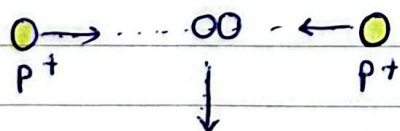
$$E^* = 0,140 \text{ MeV} = 1,4 \cdot 10^{-1} \text{ MeV}$$

$$\frac{E^*}{mc^2} = \frac{1,4 \cdot 10^{-1} \text{ MeV}}{10^5 \text{ MeV}} = 1,4 \cdot 10^{-6}$$

μπορώ να το ενοήσω με
παράλληλη διαίρεση του MS



1/11/2024



αν με υπ τρόπο κομψύσων-απειδώσων δαμνήτη θεση με αλληλ Coulomb
η μάζα του συστήματος αυξάνεται.

αλληλ Coulomb $2p^+$

$$\text{Όταν } d=1,5 \text{ fm} \Rightarrow E_c = 1 \text{ MeV}$$

• Ερωτηση: αν $d=2 \text{ fm}$ $E_c=?$

$$E^* + m_p c^2 + m_p c^2 + E_c$$

(35)

$1 \text{ eV} \sim 96 \text{ kJ/mol}$
 $\Delta m = \frac{E}{c^2} (\text{ng})$
 $\text{H}-\text{H} : 436 \text{ kJ/mol} \longrightarrow$
 $\text{O}=\text{O} : 497 \text{ kJ/mol} \longrightarrow$
 $\text{C}=\text{O} : 1076 \text{ kJ/mol} \longrightarrow$

Ενέργεια συνδέσεως

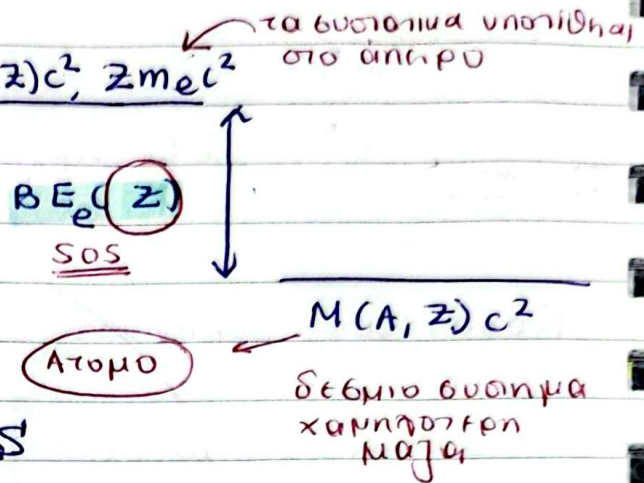
ΑΤΟΜΟ: πυρήνας - e^-

$$m(A, Z)c^2 + Zm_e c^2 = M(A, Z)c^2 + BE_e(Z) \quad (1)$$

$BE_e(Z) = 15,7 \cdot Z^{7/3}$ από C και n.p.w

↓ προσεγγιστική από ατομική θεωρία S

	Z	$BE_e(Z)$
H	1	15,7 eV
C	6	102,7 eV
Ca	20	17 keV
Mo	42	96 keV
U	92	600 keV



→ συνεχίζονται το 13,4 eV

από τον C και μετά να λείν
 εκτιμήσεις ενέργειας

Για το ^{238}U $BE_e = 96 \text{ MeV}$

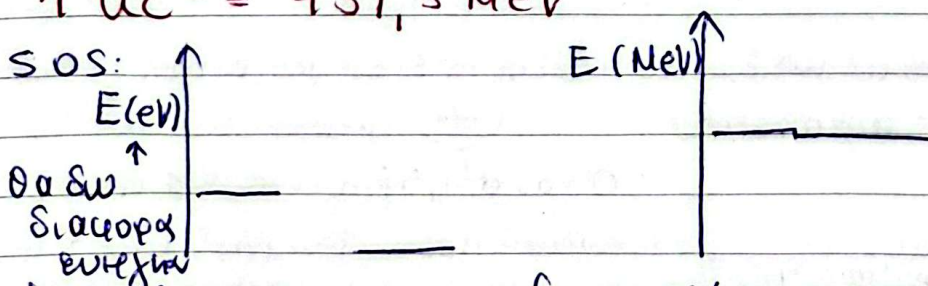
$M(A, Z) = A \cdot u = 238u = 238 \cdot 931,5 \text{ MeV} = 221,697 \text{ MeV}$

Η ενέργεια ~~αν~~ BE_e των e^- η κλάσμα της μάζας των e^- ανιχνωσι-
 νείναι; $\Delta m = \frac{BE_e}{M(A, Z)c^2} = \frac{96 \text{ MeV}}{221,697 \text{ MeV}} \approx 2,7 \cdot 10^{-6}$ ανιχνωσι-
 το 1 εκατομμυριοστό
 της μάζας των ατόμων

Ισχύει: $M(A, Z)c^2 + Zm_e c^2 = M(A, Z)c^2 + BE_e(Z) \quad (2)$
 Dalton

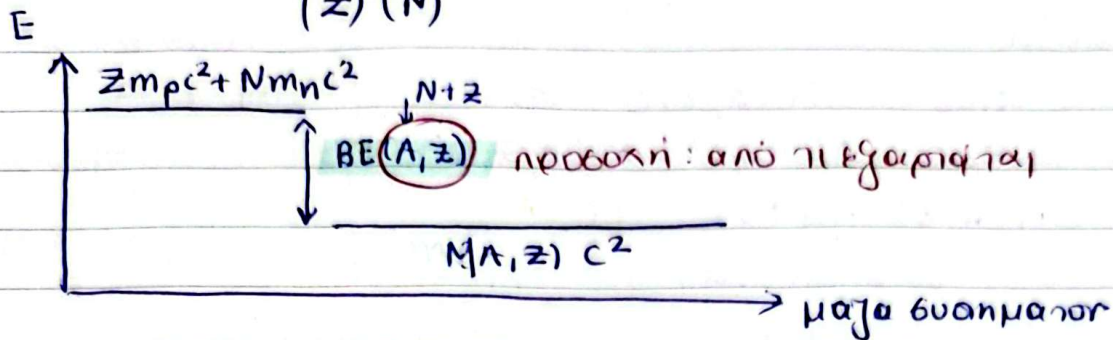
Αξιοσημείωτο: Να βρεθεί το $BE_e(Z)$ για $^{27}_{13}\text{Al}$, $^{56}_{26}\text{Fe}$, $^{129}_{50}\text{Sn}$
 (το τι ποσοστό ανιχνωσι-νείναι)

$1 \text{ u} c^2 = 931,5 \text{ MeV}$



ή το $BE_e(Z)$ μικρό της τάξης των eV όμως από διαφορά 6 e MeV σε
 Δm διαφέρει πολύ (στην ενέργεια)

ΑΤΟΜΟ $m(A, Z) c^2 + Z m_e c^2 = M(A, Z) c^2$ (βλ. $e(Z) \approx 0$)
 ΠΥΡΗΝΑΣ p^+, n^0 (και μόνον eV)
 $(Z) (N)$



Σχέση για ενέργεια βινδύσεων πυρήνα: $Z m_p c^2 + N m_n c^2 = BE(A, Z) + M(A, Z) c^2$ (3)
 από δυν. θεωρείται να και αρ. βήματα γιατί η $BE(A, Z)$ συμπερι-
 ρισά με $m(A, Z) c^2$ είναι συγκρίσιμες σαν $ατμ$.

(3) $\Rightarrow BE(A, Z) = Z m_p c^2 + N m_n c^2 - m(A, Z) c^2$ (4)
 (σε 2.6 (βήματα) πάνω-πάνω ?)

Πυρήνα $BE(A, Z) = Z m_p c^2 + N m_n c^2 - M(A, Z) c^2$
 1_1H $BE(1, 1) = 1 \cdot m_p c^2 + 0 m_n c^2 - M(1, 1) c^2 \Rightarrow$
 $BE(1, 1) = m_p c^2 - M(1, 1) c^2 \sim 13.6 eV \sim 10^8$
 Ατομο $M(1, 1) c^2 = m_p c^2 + m_e c^2 + BE_e(Z)$ $938.3 MeV$
 $\neq$ με τον πυρήνα $BE(A, Z)$ όχι αμελητό γ $1u = \frac{1}{12} M(^{12}_6C)$

$1u c^2 = 931.5 MeV$
 $m_p c^2 = 938.3 MeV$
 $m_n c^2 = 939.6 MeV$
 $m_e c^2 = 0.511 MeV$

Γη ατομική μονάδα μάζας είναι
 μικρότερη από p, n
 Για να το ορίσω πήρα ένα δέσμιο
 στ σύστημα του $^{12}_6C$, εξαιρούμε στ
 πυρήνας, όπου η μάζα μικρότερη

$M(A, Z) c^2 = m(A, Z) c^2 + Z m_e c^2$
 $M(12, 6) c^2 = m(12, 6) c^2 + 6 m_e c^2$
 $12(1u) c^2 = m(12, 6) c^2 + 6 \cdot 0.511 MeV$
 $12 \cdot 931.5 = m(12, 6) c^2 + 3 MeV$
 $11,175 MeV = m(12, 6) c^2$ (5)

$6 m_p c^2 = ;$ | Αθροισμ
 $6 m_n c^2 = ;$ | και αφαιρώ
 από την (5) και
 βρίσκω την ενέργεια
 βινδύσεων

Ορισμός Δ : πόσο κοντά η μάζα δέσμιας συστήματος με τον
 αριθμό A ; $\Rightarrow$ έλλειμμα μάζας " Δ "

$$\Delta(A, Z) = [M(A, Z) - A] (1u) c^2$$

τυπική τιμή

$\Delta \sim 10 \text{ MeV}$

πραγματική ατομική μάζα

$$m(A, Z) c^2 + Z m_e c^2 = M(A, Z) c^2 \quad (A)$$

$$BE(A, Z) = Z m_p c^2 + N m_n c^2 - M(A, Z) c^2 \quad (B)$$

$$\Delta(A, Z) = [M(A, Z) - A] 1u c^2 \quad (C)$$

το βρέσιμο από νιόβιες

Νιόβιες

$T_{01} \rightarrow " \Delta "$

$T_{02} \rightarrow$ ατομικές μάζες

$T_{03} \rightarrow \frac{BE(A, Z)}{A}$

Άσκηση

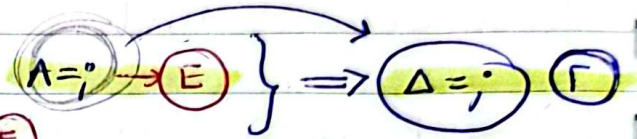
• ^{14}C $M(A, Z) c^2 = 14,00324 \text{ u}$ (T_{02})

Να βρεθεί $\Delta = ?$ ($\Delta = 3,02 \text{ MeV}$)

$m(^{14}\text{C}) c^2 = ? \rightarrow (A)$

$BE(^{14}, 6) = ? \rightarrow (B)$

Δίνεται $\frac{BE(^{14}, 6)}{A} \approx 7,6 \text{ MeV/u}$ (E)



• 1) $^{90}_{20}\text{Co}$ $\Delta = -34,8 \text{ MeV}$ (Μαθητική προσέγγιση στο A)

2) $^{238}_{92}\text{U}$ $\Delta = 47,3 \text{ MeV}$

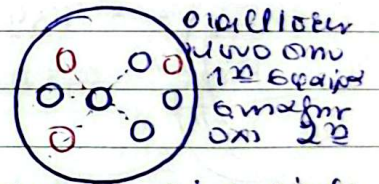
3) $^{56}_{26}\text{Fe}$ $\frac{BE}{A} = 8,8 \text{ MeV/νуклонιο}$

$BE = ?$ $M(A, Z) c^2 = ?$ $M(A, Z) c^2$ (σε u) $\Delta = ?$ σε MeV

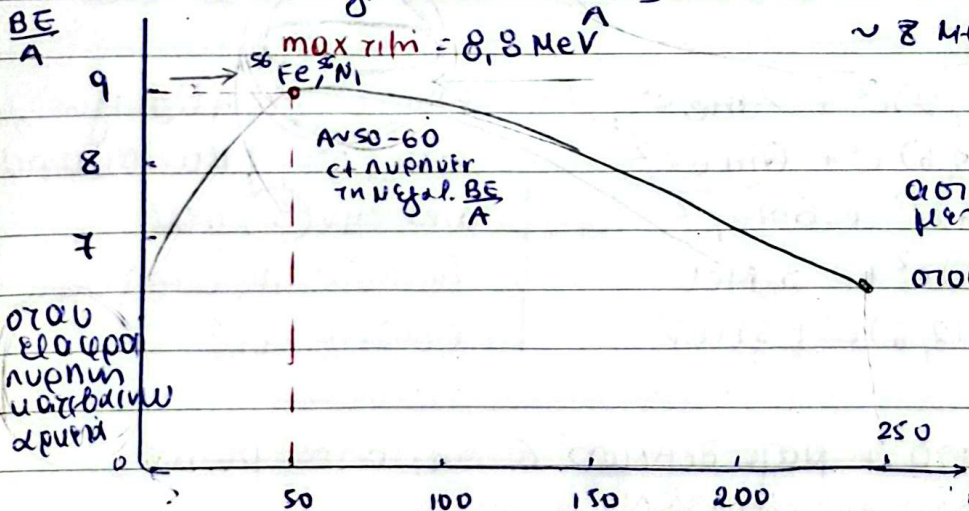
το Δ θα είναι το M και το A σε u

Ενέργεια βινδύσεως (συνήθως: $2p^+ + Nn^0$)

$BE \propto A$ γ'αυτο $\frac{BE}{A} = \text{const}$ (σχεδόν ct)



$\sim 8 \text{ MeV/νуклонιο}$ γ' ct νιόβιες



αποδοτικότητα και αβόνη μετρήσαν σε ct νιόβιες 7,5

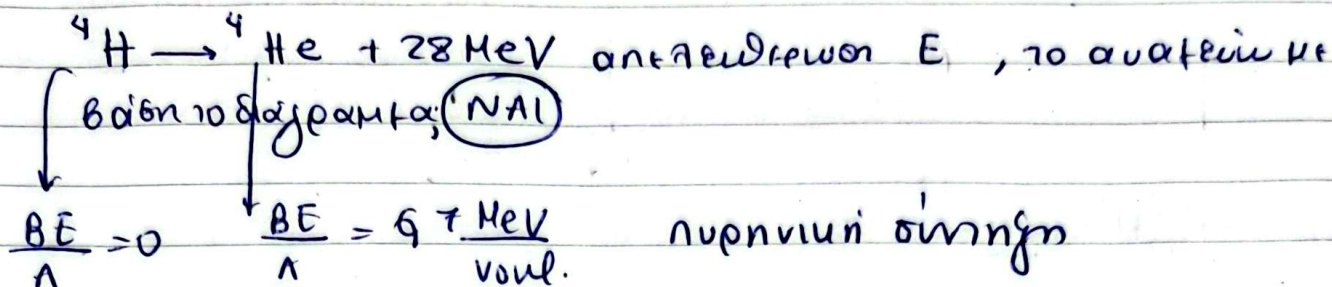
οι τιμές προκύπτουν από ΠΕΙΡΑΜΑ

Θέλω $\downarrow$ ενέργεια, $\uparrow$ εντροπίας (αυθορμητα)

Ο πυρήνας τόσο ct όσο η $BE \uparrow$

Για να αναπαρίσω μεταξύ πυρήνων πυρήνων ένα εντατικό μέγεθος $\frac{BE}{A}$ όχι εντατικό ($BE \propto A$)

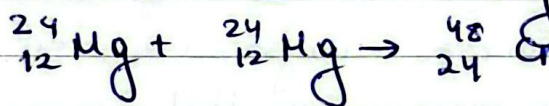
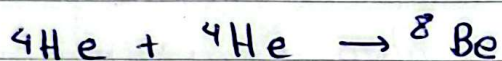
Ελαφρώς στοικεία: Η μεταίμηση ενέργειας $\downarrow$ φέρουσα



$\xrightarrow{ct}$ ενέργεια $\downarrow$ επιρροή $\downarrow$ ενέργεια $\uparrow \frac{BE}{A} \rightarrow ct$ πυρήν

το πιο ελαφρύ $\rightarrow$ να λίγο πιο βαρύ.

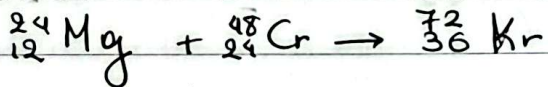
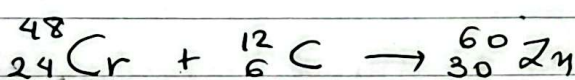
Η σύντηξη στον ήλιο σταματά στο He . Γιατί?



επιτρεπές $\rightarrow$ πάω σε ct κατάσταση

εξώθερμη

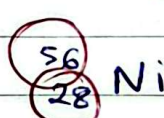
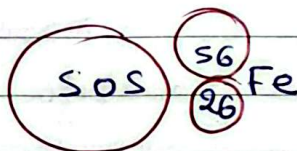
σταματώ έχω φτάσει στον πιο ct πυρήνα



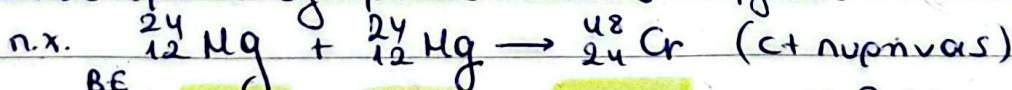
οχι ανεργειαυώς επιρροή

γιατί άμα σε στο δεξί μέρος της καμπύλης που βημαίνει ασταθείς πυρήνες. ευδόθερμη

ναι | όχι



Ενας τρόπος εξεύρεσης εύαντος ενέργειας: BE/A (Το 1)



$\frac{BE}{A}$

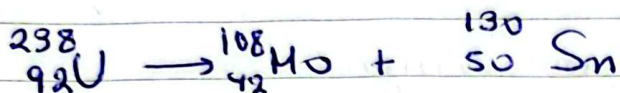
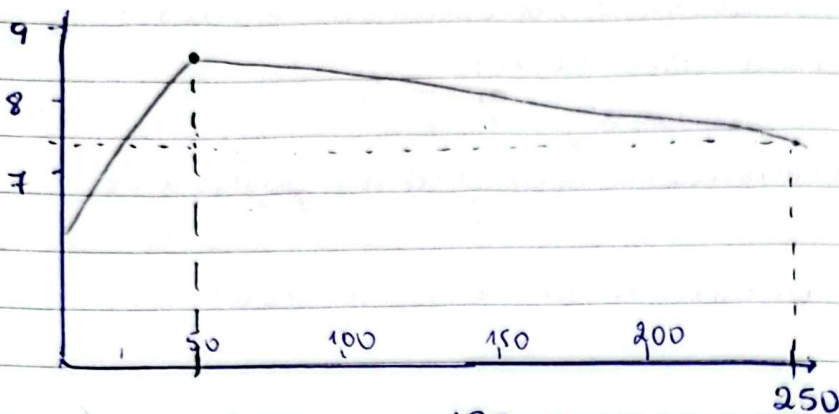
η διαφορά προϊόντων-αντιδρώντων E που ελευθερώνεται

όσο $BE \uparrow \Rightarrow M$ δεσμίου συστήματος $\downarrow$

$\hookrightarrow M(A, Z)c^2 = m_p c^2 + m_n c^2 - BE(A, Z) \uparrow$

Βαρείς πυρήνες

$^{238}_{92}\text{U}$: τι θα ηθελε υπό καταστάσεις βωθιμής; Να αποβεί α, ενεργειακή επιθυμητή τενεί στο 50. Ένας βαρύς πυρήνας
 ↳ α-διασπάσεις
 ↳ σχάσεις



$\frac{BE}{A}$ 7,57 ~ 8,3 ~ 8,3 αφού παί 6-ct συνημα (χτ ct; ενέδν BE ↑) τότε εμλυν α.

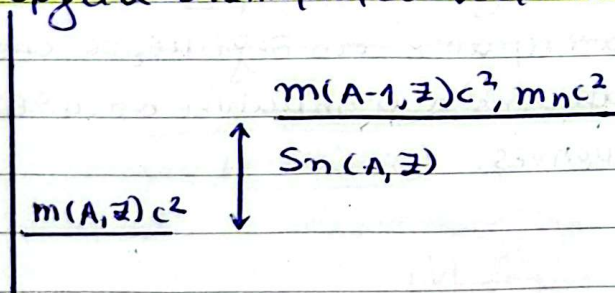
Αστροφυσική διεργασίες (Ανδράξεις βνήγειν)

Μασιέρα ↑ ⇒ P ↑ ⇒ να ατάδω από ανδράξεις βνήγειν στο Fe

Από τον παραπάνω πίνακα οι σνήγειν που τείνουν στο Fe χρειάζονται ευρηκτιυά περιβάλλοντα super novα, βυμρούδης αστέρων νετρονίων.

Εγασίας ct πυρήνα μέχρι Fe ανδράξεις σνήγειν και μετά άλλες ανδράξεις για να πάρω όλα τα στοιχεία του Π.Π.

Ενέργεια διαχωρισμού νετρονίων $S_n(A, Z)$

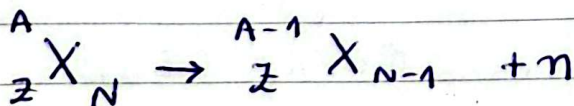


Διώχνω 1 νετρόνιο

απόσπαση από πυρήνα

να δώσω ενέργεια

του έριβα $E = S_n$ και απεσπασα ένα $\bar{e}$.



$$S_n(A, Z) = m(A-1, Z)c^2 + m_n c^2 - m(A, Z)c^2 \quad (6)$$

Θέλω να δείξω:

SOS

$$S_n(A, Z) = BE(A, Z) - BE(A-1, Z)$$

Ξεχνάω:

$$\begin{cases} m(A, Z)c^2 = Z m_p c^2 + N m_n c^2 - BE(A, Z) \\ m(A-1, Z)c^2 = Z m_p c^2 + (N-1) m_n c^2 - BE(A-1, Z) \end{cases}$$

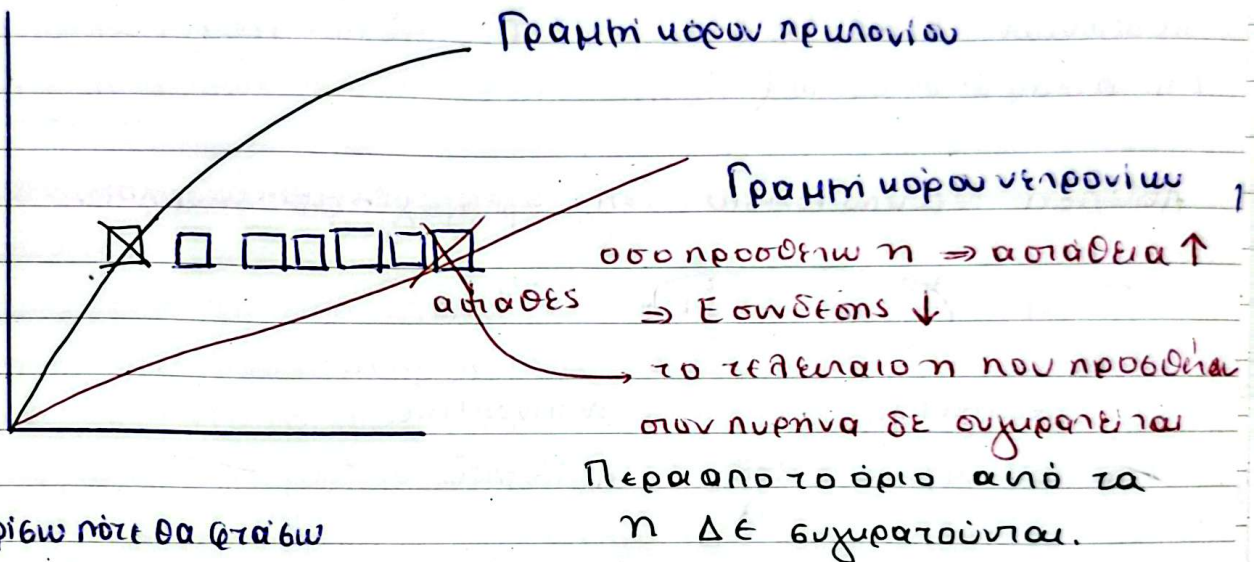
Αντικατάσταση

Στον νόμο:

$$S_n(A, Z) = m(A-1, Z)c^2 + m_n c^2 - m(A, Z)c^2$$

$$\rightarrow S_n(A, Z) = \cancel{Z m_p c^2 + (N-1) m_n c^2 - BE(A-1, Z)} + m_n c^2 - \cancel{Z m_p c^2 + N m_n c^2 - BE(A, Z)}$$

$$S_n(A, Z) = BE(A, Z) - BE(A-1, Z)$$



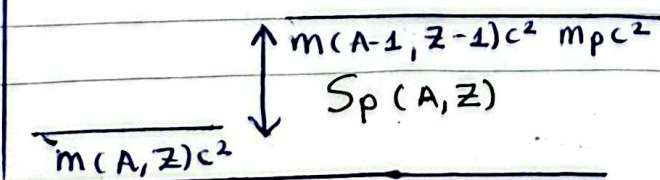
Να ορίσω ποτέ θα βγάλω γραμμή υδρών νετρονίου

$S_n \rightarrow$ Εξισωρίσει να υπολογιστεί

Όσο $S_n \downarrow$ και τείνει στο 0 οδούμε προς τη γραμμή υδρών νετρονίου.

Ενέργεια διαχωρισμού νευτρονίου. $S_p(A, Z)$

$$S_p(A, Z) = m(A-1, Z-1)c^2 + m_p c^2 - m(A, Z)c^2$$



(51)

Να μπορώ να αποδείξω SOS

• $S_p(A, Z) = BE(A, Z) - BE(A-1, Z-1)$

Γενικά:

$$m(A, Z)c^2 = Zm_p c^2 + Nm_n c^2 - BE(A, Z)$$

$$m(A-1, Z-1)c^2 = (Z-1)m_p c^2 + Nm_n c^2 - BE(A-1, Z-1)$$

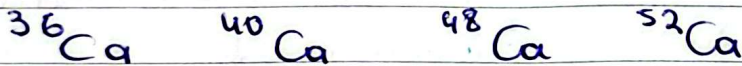
Αντικατάσταση στον τύπο: $S_p(A, Z) = m(A-1, Z-1)c^2 + m_p c^2 - m(A, Z)c^2$

$$S_p(A, Z) = \cancel{(Z-1)m_p c^2} + \cancel{Nm_n c^2} - BE(A-1, Z-1) + \cancel{m_p c^2} - \cancel{Zm_p c^2} - \cancel{Nm_n c^2} + BE(A, Z)$$

$S_p(A, Z) = BE(A, Z) - BE(A-1, Z-1)$

Γι' μου χρησιμεύει η S_p ; Όσο αφαιρώ p^+ [?] τείνει στη γραμμή υδρού πρωτονίων. Όσο $S_p \downarrow$ τείνει στο 0, δρόμο στη γραμμή υδρού νεutronίων (ή αφαιρώ νεutronία) [?]

Άδυνατον: Να υπολογίσω S_n, S_p ; για τους νουκλίδες



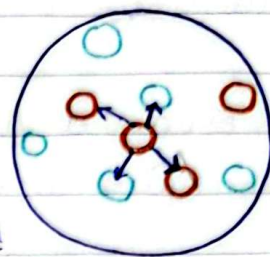
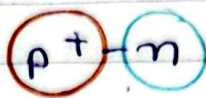
← proton line

neutron line →

Για να βθ νουκλίδας $\frac{BE}{A}$ από πίνακα

Δυναμικό μέσου πεδίου

Πυρήνας δεσμιο σύστημα



Η αλληλεπίδραση με τους άμεσους γείτονες ΜΟΝΟ, 1^η σφαίρα στήλης

Η αλληλεπίδραση με τους ΗΗ άμεσους γείτονες, $\geq 2^{\text{η}}$ σφαίρα στήλης
 όχι υπόγειο, χ₁ το δυναμικό πέφτει πάρα πολύ γρήγορα

- Τα βέλτιστα στο σχήμα: πυρηνικοί δεσμοί
- Στο κέντρο $\Delta f = 0$
- Στα άκρα $\Delta f \neq 0$ προς τα μέσα, τραβιέται στο εσωτερικό
 ↳ αυτή η κατανομή δυνάμεων προσδίδει **ελαστικότητα**

ΓΤ σφαίρα: Για συγκεντρωμένο όγκο, έχω τη μικρότερη δυνάμη επιφάνεια.

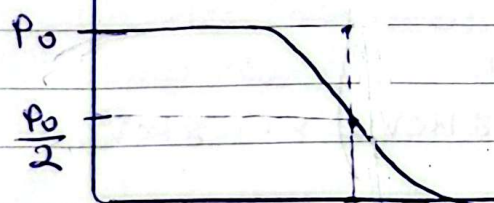
Τι είναι η επιφάνεια τάση; Ένα νουκλεόνιο ανεξέλεγκτα απομακρύνεται στην επιφάνεια θέλει να πάει στο εσωτερικό ενώ το εσωτερικό νουκλεόνιο θέλει να παραμείνει εκεί (σταθερό)

Να πάρω ένα νουκλεόνιο από εγώ → μέσα

$$\Delta E = \frac{dE}{d\sigma}$$

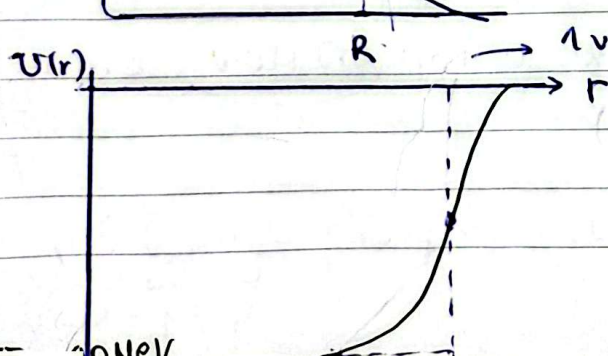
Δυναμικό μέσου πεδίου

$U(r) \propto \rho(r)$ το δυναμικό ανάλογο του αριθμού των πυρηνικών δεσμών.



$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + e^{\frac{r-R}{a}}} \quad \text{αν } r=R \Rightarrow \rho(r) = \frac{\rho_0}{2}$$

$$\rho(r) \uparrow \Rightarrow \rho_0 \uparrow \Rightarrow |U(r)| \uparrow$$



1 νουκλεόνιο σε απόσταση r από τον πυρήνα

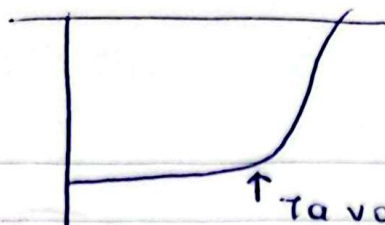
$$U(r) = \frac{U_0}{1 + e^{\frac{r-R}{a}}}$$

Το $U(r)$ οφείλεται στους άμεσους γείτονες

$$R = r_0 A^{1/3}$$

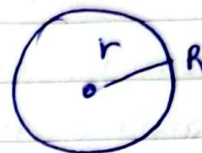
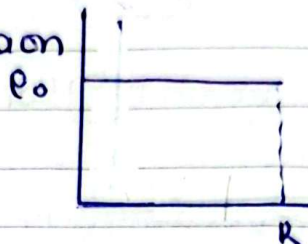
$$a = 0,55 \text{ fm}$$

$$V_0 = 112 \text{ fm}$$



Δεν είναι ο λυχννας συστηη σφαηρα. Γτ;

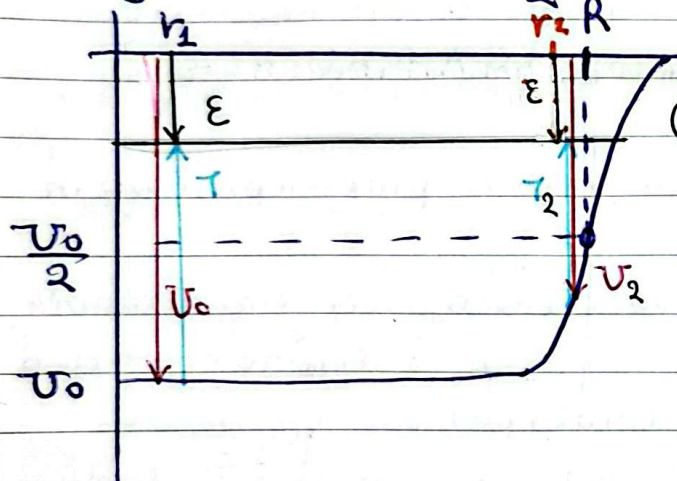
Διαφορετική η παρασηση



• Το V_0 είναι σταθερό

$$F = -\frac{dV}{dr}$$

• για $r=R$ $U = \frac{V_0}{2} = -20 \text{ MeV}$



Εστω ενεργειαυα κατασίδος ηου

① σε σημείο r_2 είναι διασπριές $U_2 < U_0$ (r_1)

$$T_2 < T$$

$$E = E$$

$$(-) (+) (-)$$

$$E = T + U(r)$$

Στο ίδιο r (ή r_1) όλα τα ίδια V_0 , η T αλλάζει και η E
Στο ίδιο ενεργειαυο επίπεδο η E είναι σταθερή

Εστω το "μαυρό" επίπεδο να αναφέρεται στο τελευταίο επίπεδο
Ε διαχωρισμού νετρονίου

$$S_n, S_p \sim 8 \text{ MeV (καθή επισηση)}$$

Για το "τελευταίο" νετρόνιο $|E| = S_n \approx 8 \text{ MeV} \Rightarrow E = -8 \text{ MeV}$

$$\text{Για } r < R \Rightarrow U(r) = V_0$$

$$E = T + V_0 \Rightarrow T = E - V_0 \Rightarrow T = -8 - (-40) = 32 \text{ MeV } E_{\text{max}}$$

↓ V_{max} (ταχυτητα) νετρονίου

$$T = \frac{p^2}{2m} \Rightarrow p^2 = T \cdot 2m \quad (\sigma\phi\alpha\iota\sigma\tau\alpha\ 2/1) \Rightarrow (pc)^2 = 2(mc^2)T$$

$$(pc) = 240 \text{ MeV} \Rightarrow p = 240 \frac{\text{MeV}}{c}$$

$$931,5 \text{ MeV}$$

Ισχύει $v \sim p$

$$p = m \cdot v \Rightarrow p c = m c u \Rightarrow p c = m c^2 \left(\frac{u}{c} \right) \Rightarrow \beta = \frac{p c}{m c^2} = \frac{240 \text{ MeV}}{938 \text{ MeV}}$$

$\beta = 0.26$ συμπίπτει ως προς c , δηλαδή σαν να βρισκόμασταν
 $u = 0.26 c$ $U_{\max}$ (ταχύτητα)

Όσο η $E \downarrow \Rightarrow$ αστάθεια $\uparrow$

Μπορώ $\gamma = 0$; Όχι, Γε; $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$

όσο $\Delta p \rightarrow 0$ ($\gamma = 0$) τότε $\Delta x \rightarrow \infty$, από δηλαδή πως το νουκλεόνιο ΔΕΝ περιορίζεται β'ενα κώρο να ληφθεί πυρήνας

Δυναμικό μέσου πεδίου

για $\Delta x = 10 \text{ fm} \Rightarrow \Delta p = ?$

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \Rightarrow \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \frac{1}{\Delta x}$$

↳ μετατρέπω τη σχέση ώστε να είναι πιο κοντά στην πυρηνική όσο αφορά τη μ.μ.

πολάζω με c .

$$\Delta x \Delta p \cdot c \geq \frac{\hbar c}{2}$$

$$\hbar c = 3.15 \cdot 10^{-26} \text{ J} \cdot \text{m}$$

$$\hbar \cdot c = 197.3 \text{ MeV} \cdot \text{fm}$$

$$10 \cdot \Delta(p c) \geq \frac{200 \text{ MeV} \cdot \text{fm}}{2} \Rightarrow \Delta(p c) \geq 10 \text{ MeV}$$

$\Delta(W) = ?$

Όταν $\Delta x \rightarrow 0$ ευθελωση υβανιστη συμπεριφορας

Σε εφαρμογή μεγάλο χώρο $\rightarrow$ οι ενεργειες βωμερ.

π.χ. Η Ε στο νεύο οποιοδηποτε ημι η δέναν μοριακό ελληακη (η δέση η πυρηνική). Διδ μπου να κω συχευοικειν ρ ομειν Δx οποιοδηποτε.

Μοντέλο υχρησ σταγονας - Εγ. Bethe - Weizsacker (BW)

$$B E(A, Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_a \frac{(N-Z)^2}{A} + \delta(A)$$

ορος : όγκου επιφανειας Coulomb ασυμμετρία συζεύξεως

$$a_v = 15.9 \text{ MeV} \quad a_s = 0.71 \text{ MeV}$$

$$a_c = 18.4 \text{ MeV} \quad a_a = 23.2 \text{ MeV}$$

$$\delta(A) = \pm \frac{a_p}{\sqrt{A}} \text{ pairing}, \quad a_p = 11 \text{ MeV} \quad (45)$$

A) Όρος όγκου $\rightarrow$ τη μεγαλύτερη θεωρητική συμπεριφορά
 $BE(A, Z) \propto Q_V \cdot A \quad (70)$

B) Όρος επιφάνειας $E_S = a_s \cdot A^{2/3}$
 $\gamma = \frac{dE}{dS} \Rightarrow dE = \gamma \cdot dS \Rightarrow \int_{E=0}^S dE = \int_{S=0}^S \gamma dS \Rightarrow ES = \gamma \cdot S \quad (1)$

$S_{\text{σφαίρας}} = 4\pi R^2 \quad (2)$

$R = r_0 A^{1/3} \quad (3)$

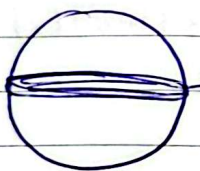
Συνδυάζοντας (1), (2), (3) $ES = \gamma \cdot 4\pi R^2 = 4\gamma\pi r_0^2 A^{2/3}$

Επιφανειακή τάση πυρήνα

$\gamma = \frac{ES}{4\pi r_0^2} \Rightarrow \gamma = \frac{184 \text{ MeV}}{4\pi \cdot 1,12^2} \approx 1,2 \text{ MeV/fm}^2$

Παρατήρηση
 Εάν αυξηθεί
 η επιφάνεια
 1 fm²
 απαιτείται
 1,2 MeV

Εάν πάρουμε ένα νουκλεόνιο από το κέλυφος και το πάλι στην επιφάνεια,
 ΠΟΣΟ θα ανοίξει η επιφάνεια;



$\rightarrow \pi R^2$

Διατομή νουκλεονίου

$S_d = \pi R^2$

$S_d = \pi (1,12 \text{ fm})^2 = 4 \text{ fm}^2$

Πόση ενέργεια θα δαπανηθεί?

$E_n = \gamma \cdot S_d \Rightarrow E_n = 1,2 \frac{\text{MeV}}{\text{fm}^2} \cdot 4 \text{ fm}^2 = 4,8 \text{ MeV}$

Απάντηση: $\gamma = 1,2 \text{ MeV/fm}^2 \rightarrow \text{J/m}^2$ και σύγκριση με
 άλλα γ της ΦΧ (2 η 3) π.χ. $\gamma_{\text{ROH}} = 30 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$, $\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = 70 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$
 $\gamma_{\text{Hg}} = 400 \frac{\text{mN}}{\text{m}} = 0,4 \text{ J/m}^2$ ο,τι πιο μεγάλο στο εργ. ΦΧ.

6/11/2024

Σφαίρα (SOS) $S = 4\pi R^2$, $S_d = \pi R^2$, $V = \frac{4}{3} \pi R^3$
 $R = r_0 \cdot A^{1/3}$, $r_0 = 1,12 \text{ fm}$

Εξίσωση BW - Όρος coulomb

$$F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad F = -\frac{dU}{dr} \quad U(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r}$$

Προσοχή! Άσκηση να μας δίνει το σχήμα δωματίου να να δει να του δώσω προς τα που πάει η δύναμη.

Έστω ομογενής φορτισμένη σφαίρα, γεινώ από ένα σημείο φορτίο στο κέντρο και προσθέτω στοιβάδες μακριά να φτάσω την R. Κάθε φορά που προσθέτω στοιβάδα πάχους dr πρέπει να προσφέρω E, η E που θα δώσουμε: $E = \frac{3}{5} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{R}$



Στη φύση έχω ομογενή; Το p^+ συγκεντρωμένη αυτιά R_p και το e^- .

$$E_{\text{coulomb}} \text{ ενός } p^+ : E_{e,p} = \frac{3}{5} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{R_p} = \frac{3}{5} \cdot \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r_0} = 0,77 \text{ MeV} \approx 0,8 \text{ MeV}$$

$R_p = r_0$
 $1,44 \text{ fm} \cdot \text{MeV}$

Κάθε φλοιός του $p^+ \rightarrow 0,8 \text{ MeV}$, ο πυρήνας τα συγκεντρώνει

SOS: Εάν μπορούσα με υαίσιον μηχανισμό να σβήσω το φορτίο και η Ε αυτή δλδ εφαρμόζεται τι θα παθαινε η μάζα του p^+
 $m_p c^2 = 938,3 \text{ MeV}$. Προσθέτω ή αφαιρώ μάζα;

Όχι coulomb: $m_p c^2 = m_p c^2 - E_{e,p}$

$$\begin{array}{c} \overline{m_p c^2 + m_p c^2} \quad \downarrow \quad m_p c^2 + E_{e,p} \end{array}$$

(47)

E_c ενέργεια αποσταθεροποίησης

$$m_{\pi^0} > m_{\text{π}^0} \text{ H}_2\text{O}$$

Ο όρος Coulomb, αποσταθεροποιεί $\rightarrow$ σαν όρος "-"

Υπάρχει η δυνάμη βαρύτητας η οποία είναι πάντα ελκυστική και να γίνει. Η ηγεσιμότητα από ελκυστική πυρήνα και προσθετω δρ φλοιών. Κάθε φορά που μπαίνει φλοιός αποβάλλεται E . Πάνα σπάζω τους φλοιούς σαν E .

Ενέργεια συνδέεται για την περίπτωση πεδίων βαρύτητας

$$E_G = \frac{3}{5} \frac{GM^2}{R} \leftarrow \text{υπόθεμα}$$

$\uparrow$
σταθερά

Γ_n : ct

ρ^+ : ονοct

$$E_c = \frac{3}{5} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{R} \quad \left\{ \begin{array}{l} E_c = \frac{3}{5} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z^2}{r_0 A^{1/3}} \\ Q = Z \cdot e \\ R = r_0 A^{1/3} \end{array} \right.$$

Όταν ζυγίζω ομογενή σφαίρα, θεωρώ ομογενή όμοια ρ^+ ανεξάρτητα του σχηματισμού του πυρήνα. Διορθώνω Z φορές όσο και τα ρ^+ στον πυρήνα, είναι ενέργεια που δεν προσερχεται από εμάς.

$$E_c' = E_c - Z E_{c,p} = \frac{3}{5} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z^2}{R} - Z \left(\frac{3}{5} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{R_p} \right)$$

$$R_p = R$$

$\Rightarrow$

$$E_c' = \frac{3}{5} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{R} (-Z^2 + Z) \Rightarrow E_c' = \frac{3}{5} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right) \frac{Z(Z-1)}{r_0 A^{1/3}} \Rightarrow$$

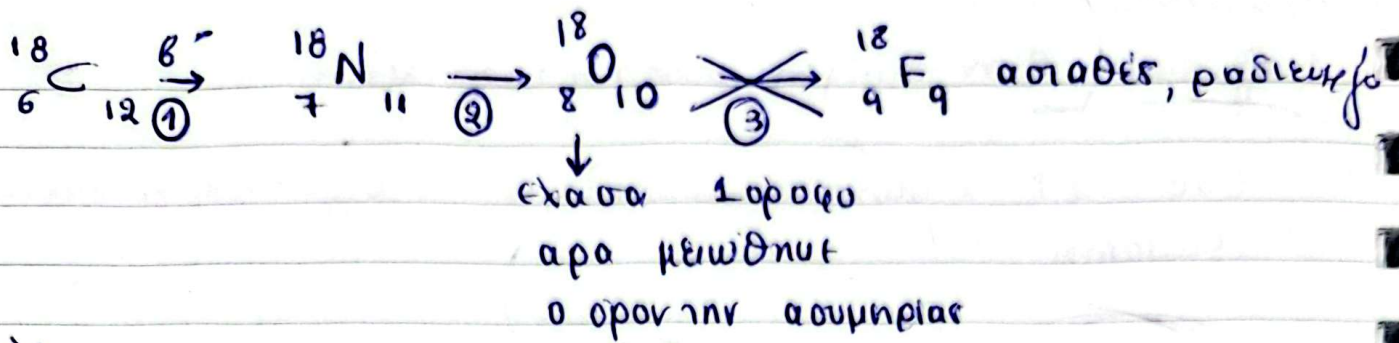
(προσέγγιση-παράβαση)

$$\alpha_c = 0,72$$

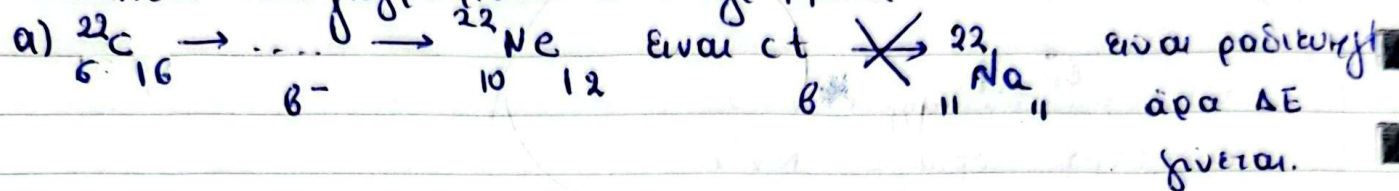
$$1,44 \text{ fm MeV}$$

$$E_c' = \frac{3}{5} \cdot 1,44 \text{ fm} \cdot \text{MeV} \cdot \frac{1}{1,17 \text{ fm}} \cdot \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}$$

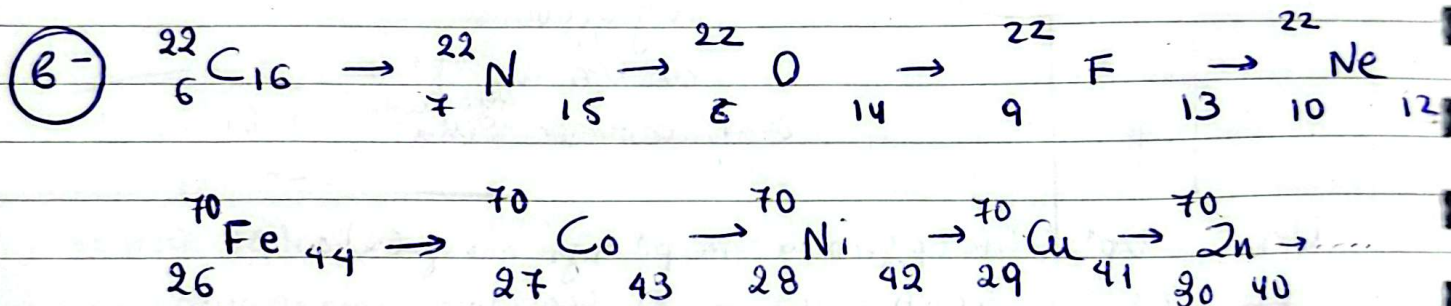
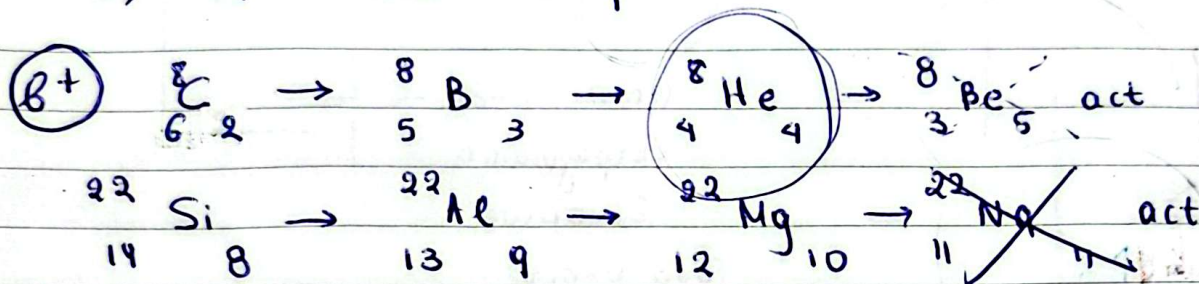
(48)



Άσκηση: Να ζωγραφίσετε τα διαγράμματα



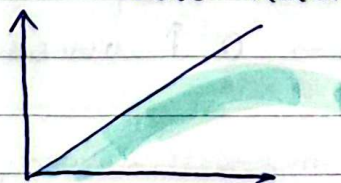
β) Ποιό είναι κλουστό στ p^+



Τι οδηγεί μια β^- διάσπαση; Ο όρος της ασ.

Εάν δεν υπάρχει σταθερά Coulomb, ο όρος της ασ θα καθόριζε που βρισθόνται τα στα νουκλίδια και όλα τα στα νουκλίδια $Z = N = \frac{A}{2}$ και ο πίνακας των νουκλιδίων θα ήταν διαγώνιος.

Ενώ έχει οπότε υποδεικνύει η μπλε γραμμή.



Ο λόγος που οι βαρύτεροι πυρήνες που δια παραμένουν N (n) ο όρος της ασ

$a_c \rightarrow$ να δάν σε μεγαλύτερη απόσταση

ct πυρήνες / βαρέις = πιο πολλά η, ώστε να μετριάσων
τη συνήσοφα του όρου Coulomb

Όρος σύζευξης

$\delta(A)$

$$+\frac{a_p}{\sqrt{A}}$$

$$0$$

$$-\frac{a_p}{\sqrt{A}}$$

νυρ.

171

50

56

4

Z

e

e

0

0

N

e

0

e

0

$^{14}_6\text{C}_8$

$^{13}_6\text{C}_7$

$^{13}_7\text{N}_6$

$^{14}_7\text{N}_7$

e: even

o: odd

$\sim 1 \text{ MeV}$

0 επομενυο (00)

$\frac{18}{9} \frac{1}{9}$

act, ραδιενεργοι

PET

Αδυνον σε 8 (6/11/24)

Πως νυνήαι η μάζα πυρήνα με τη βοήθεια της Ε συνδέεται;

$$m(A, Z) c^2 = Z m_p c^2 + N m_n c^2 - (BE(A, Z)) \text{ από την εξίσωση ΒΝ}$$

Οι συζευγμένοι πυρήνες χαμηλότερη μάζα

Μπορώ να χρειώω η μάζα του συστήματος μ'αυτή την
εξίσωση.

$$m(A, Z) c^2 = \alpha A + \beta Z + \gamma_0 Z^2 - \delta(A)$$

$$\alpha = m_n c^2 - a_v + \frac{a_s}{A^{1/3}} + a_a$$

$$\beta = (m_p - m_n) c^2 - \frac{a_c}{A^{1/3}} - 4 a_a$$

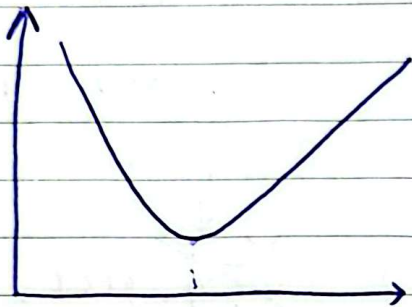
$$\gamma = \frac{a_c}{A^{1/3}} + 4 \frac{a_a}{A}$$

(51)

Κινούμεσαι ισοβαρως $\rightarrow A = ct$ (Έστω ότι δουλεύω με οε η εο $\delta(A) = 0$ για $A = ct$)
 Αγνώω το $\delta(A)$

Το A οπωσδήποτε περνάει αν $\mathbb{Z}, N$ (οε) η (εο)

Η εφαρμογή m, z παραβολική. Πως είναι αυτή η παραβολή;



$$\left(\frac{\partial m(A, z)}{\partial z} \right)_A = b + 2fz = 0$$

$$z = \frac{-b}{2f}$$

$$\left(\frac{\partial^2 m(A, z)}{\partial z^2} \right)_A = 2f > 0 \text{ άρα έξω έλαστος}$$

12/11/2024

Τι σημαίνει ο καθε όρος;

$\rightarrow$ Όρος όγκου: πυρηνικές αλλαγές, ο κύριος όρος που συνεισφέρει στην σύνθεση, όπου πυρήνια δέχονται βύθση

$\rightarrow$ Όρος επιφάνειας: η έπου χρειάζεται να δαπανηθεί για να γίνει το νουκλίδιο στην επιφάνεια. Την απόστ του πυρήνα λόγω της νουκλόνιας στην επιφάνεια.

$\rightarrow$ Όρος coulomb: ανωση p^+ , απόστ

$\rightarrow$ Όρος ασυμμετρίας: ευφράζει την απόστ του πυρήνα όταν $N > Z$ ή όταν $Z > N$, για $N = Z$ ο όρος δεν υπάρχει.

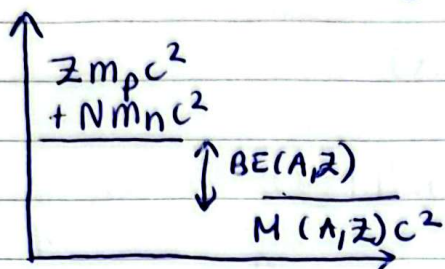
$\rightarrow$ Όρος συζεύξεως: αν ο πυρήνια συζευγμένα p^+, n (άρτιοι) $\rightarrow ct$, αν οε η εο $\Rightarrow \delta(A) = 0$.

Αν (οο) $\rightarrow$ ο όρος δίνει φέρει απόστ.

Η εγ. μου δίνει την Ενυπνια
μαζα πυρήνα $M(A, Z)$, παραβολές μαζών.

SOS Τα είναι η ενέργεια βιδοβελ; (BE)

Η ενέργεια που πρέπει να δώσω στον πυρήνα
 $M(A, Z)c^2$ για να διώξω τα συστατικά στο άπειρο



$$M(A, Z)c^2 = Zm_p c^2 + Nm_n c^2 - BE(A, Z)$$

$N = A - Z \quad \downarrow$

$$M(A, Z)c^2 = Zm_p c^2 + (A - Z)m_n c^2 - BE(A, Z)$$

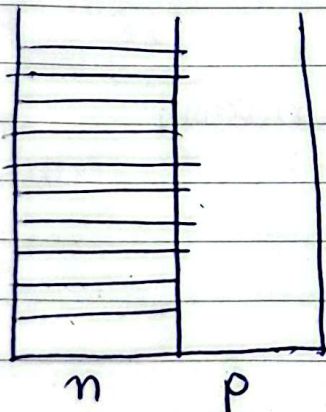
SOS αδυσωτη

Αν στην εγ. βW $Z=0$?

Έχουμε πυρήνα που έχει μόνο νετρόνια? (πυρηνική
δυσωτη)

$A=100$ $\left\{ \begin{array}{l} N=100 \Rightarrow \text{μια "σφαίρα" νετρονίων} \\ Z=0 \end{array} \right.$ $BE=;$

Η αδυσωτη θα αρχίσει να αδυσωτίζεται και τότε $BE < 0 \Rightarrow$ ΟΧΙ (Σέβτιο)



Θα αρχίσει να β-διασπάσεται
όχι από την αναλ. Pauli

Υπάρχουν σφαίρες νετρονίων; Όχι αδυσωτη
πυρήνα, $Z=0$, όχι σε βελήκη κτ.

Οι αστέρες νετρονίων (μεγάλα συστήματα)

Η αα εξισορροπείται από την βαρύτητα.

1,5-2 x 10^6 $R=10$ km

$$m(A, z) c^2 = z m_p c^2 + (A-z) m_n c^2 - BE(A, z)$$

[...] χρήση θν και βγαίνουμε παραγωγή

$$\alpha = m_n c^2 - a_v + \frac{a_s}{A^{1/3}} + a_a \quad \alpha > 0$$

$$\beta = (m_p - m_n) c^2 - \frac{a_c}{A^{1/3}} - 4a_a \quad \beta < 0$$

$$\gamma = \frac{a_c}{A^{1/3}} + \frac{4a_a}{A} \quad \gamma > 0$$

$$m(A, z) c^2 = \alpha A + \beta z + \gamma z^2 - \delta(A)$$

Σελ 4-5 un extra μαθηματικά (12/11/24)

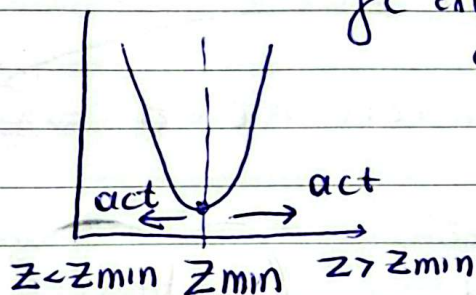
~~SO SARA~~ προαίρεση

$$z_{\min} = -\frac{\beta}{2\gamma} \quad \xrightarrow{\text{αντιστάθμιση}} \quad z_{\min} = \frac{A}{2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{4} \frac{a_c}{a_a} A^{2/3}}$$

$a_c = 0,71 \text{ MeV}$
 $a_a = 23,2 \text{ MeV}$
 $a_v, a_c = 0$

$z_{\min} = \frac{A}{2}$ το ελάχιστο της παραβολής

- Για δεδομένο A const ΠΕΡΙΤΤΟ, η διαγνωστή $A = ct$ με έχω $\downarrow$ αντιστρέφω μορφή εφίωξης



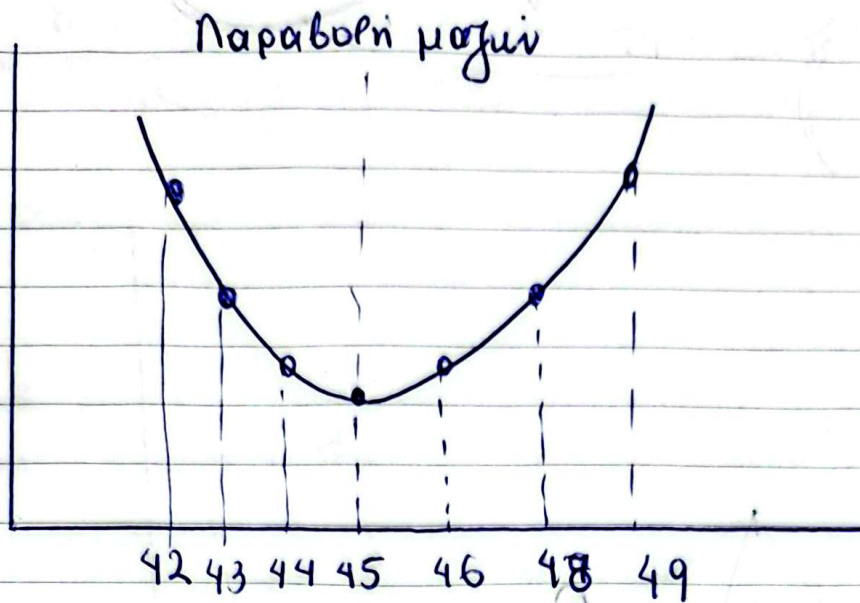
$\downarrow$ την ελάχιστη ενέργεια, και μαζα ελάχιστη

- $a_c \rightarrow 0$ για ελαφρείς πυρήνες $z = A/2$

$$\text{όσο } z \uparrow \Rightarrow \text{η συνεισφορά } \uparrow \Rightarrow z_{\min} < \frac{A}{2}$$

$$N > \frac{A}{2} \text{ άρα } n > p^+ \text{ (βαρείς)}$$

• Μου δίνουν $A=103$ και βρίσκω $Z_{min} = 44,9 \approx 45$ (Rη)

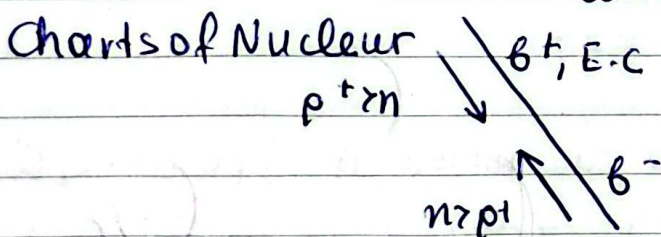


$^{103}_{42}\text{Mo}_{61}$ $t_{1/2} = 1 \text{ min}$ γτ act; Αυθόρμητα αλίζει $\left. \begin{array}{l} S \uparrow \\ E \downarrow \end{array} \right\}$

$n > p^+ \Rightarrow \beta^-$ διασπάσει διαδοχικές. Περτάει $42 \rightarrow 43$, $43 \rightarrow 44$, $44 \rightarrow 45$ (τένει στο ελάχιστο παραβολής μάζας)

1-82 υπάρχουν ct ισοτόνια, όχι όρι όλα ct αλλά μικρά ~~κ~~ ισοτόνια ct. Ισοτόνια μαυρίζονται Z_{min} ct παραβολής μάζας act και μετατρέπονται σε παρόμοιες καταστάσεις.

$^{103}_{49}\text{In}_{54}$ E.C. ή β^+ 1) ή το να ή το αλλο
2) ή σε ποσοστό E.C και σε ην αλλο ποσοστό β^+ .



ΜΕ ct διασπάσει now and act $\rightarrow$ ct νουκλίου

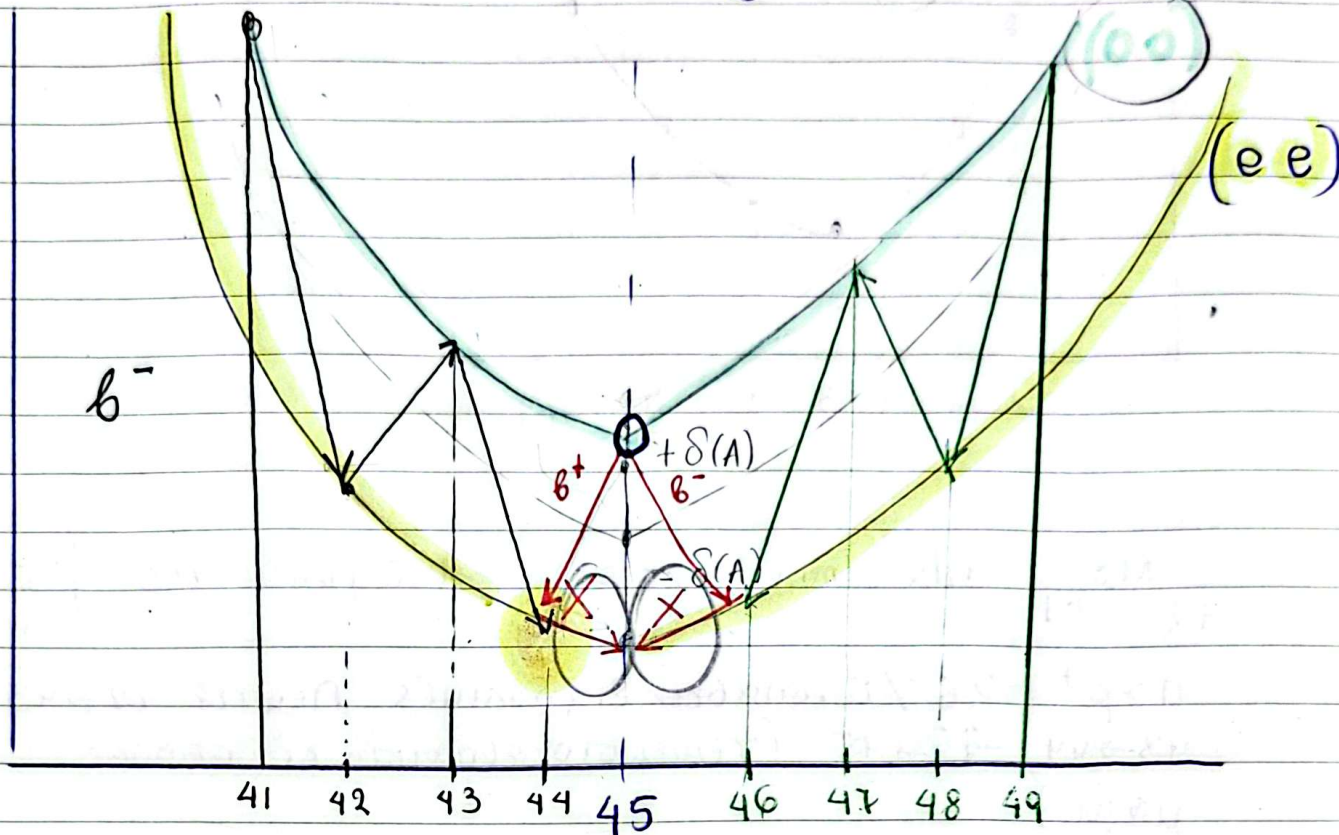
SOS: Δίνεται A , βγαίνω Z_{min} , ζω γραφιά για να δείχθουν με ποτες διασπασεις.

• A απτός απα

$A=104 \quad Z_{min} = 45,3 \approx 45$

(ee) ή (00) $\downarrow \delta(A) > 0$
 άρνητική
 διαφορά
 φορгов (-)

$\delta(A) < 0$
 θετική
 διαφορά



Αν γεννηθεί στο
 το Rh ο πυρήνας
 θα διασπαστεί στο
 $^{49}_{49}\text{Rh}$

$^{104}_{45}\text{Rh}$ $^{59}_{59}$

Αν γεννηθεί στο
 το Rh $^{49}_{46}$



(00) απαβιβαστεί αν
 πάνω κατέλη και μπορεί να
 υπάρξει b^+ ή b^- διάσπαση

π.χ $^{64}_{29}\text{Cu}$ $^{35}_{35}$ ($Z_{min} \approx 28,27 \approx 29$)

Αν βρεθεί στο Z_{min} πάνω να μπορεί να γραφεί b^+ , b^-
 διασπάση αλλιώς να υπολογιστεί Z_{min}

$^{130}_{53}\text{I}$ (52,54)

$^{44}_{21}\text{Sc}$ (20,22)

$^{40}_{19}\text{K}$ (18,20) → περιβάλλον

- Z_{min}
- α χ+διαγω διαφραγμα, β^+ , β^- ποιο παραγεται
- Βρίσκεται στο μητρη παραβολη ταξιν

Ανα τον κανον β^+ και β^- και διαγωση και θεαπεια
 $\alpha\chi$ $^{64}_{29}\text{Cu}$ $^{44}_{21}\text{Sc}$ $\neq$ PET ^{18}F μόνο διαγωση

13/11/24

Αημινη διεργαβια

H_i (Ηαρχικο)

$\Delta H < 0$



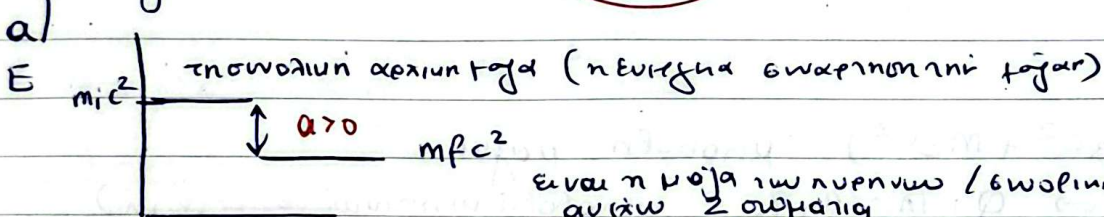
H_f (Ητελειω)

$$\Delta H = H_f - H_i$$

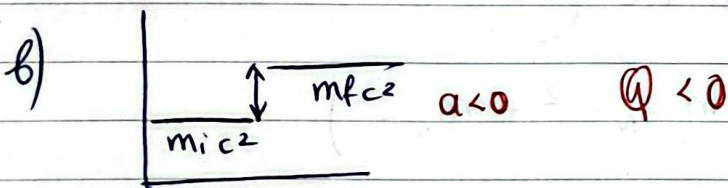
εγωθερηη

Πυρηνινη διεργαβια
(Διασπωση)

Οριζουμε την ποσότητα Q value της ανιδραση: $Q = m_i c^2 - m_f c^2$



Εγωθερηακη ανιδραση θα δωσι Ε στο περιβαλλον.



Εωδο ενεργειακη και γαυαριει θα δωσι Ε.

Τι γινεται στη ανωλινη ενεργεια; (Διασπωση ενεργειας)

$$E_i = E_f$$

$$E_i = m_i c^2 + T_i \quad (\text{αθροιστα οριω των κινητισμων του})$$

$$E_f = m_f c^2 + T_f \quad (\text{υπαρχων})$$

$$m_i c^2 + T_i = m_f c^2 + T_f \quad \Rightarrow \quad Q = m_i c^2 - m_f c^2$$

μανδρ > μηροποίηση

$$Q = T_f - T_i$$

↓
 Εκφράζει μια **περίσσεια** κινητικής ενέργειας των προϊόντων έναντι των αντιδρώντων
 αξιολογώ ως ενέργεια που απελευθερώθηκε μιας πυρηνικής διεργασίας.

Α) ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ



Βήματα

$$Q_{\text{value}} = (m_A c^2 + m_B c^2) - (m_C c^2 + m_D c^2)$$

$$Q = T_C + T_D - (T_A + T_B)$$

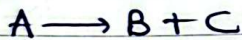
αντικörper
στο χώρο
 $T_B = 0$

ct έχει να κάνει με την ΕΒΑΗ και την Είσοδο

πχ $(p^+) \rightarrow \text{φύση AL} \rightarrow \text{ροδινίτσα ισότοπα}$

$$Q = T_C + T_D - T_A = \boxed{Q + T_A = T_C + T_D}$$

Β) Διασάση



$$Q = m_A c^2 - (m_B c^2 + m_C c^2) \quad \text{μεταβολή μάζας}$$

$$Q = T_B + T_C - T_A \Rightarrow Q + T_A = T_B + T_C \quad \text{μεταβολή κινητικής ενέργειας}$$

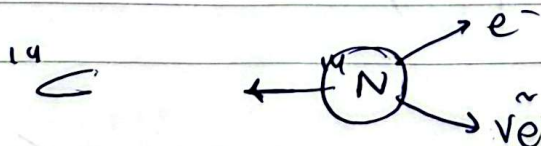
πχ β⁻ διασάση: $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$ αμάρο

$$Q_{\text{value}} = m_{^{14}\text{C}} \cdot c^2 - (m_{^{14}\text{N}} \cdot c^2 + m_e c^2)$$

$$Q_{\text{value}} = T_{e^-} + T_{^{14}\text{N}} + T_{\bar{\nu}_e} + \cancel{T_{^{14}\text{N}}} - \cancel{T_{^{14}\text{C}}} \quad \text{αρχικά αμάρο } p=0$$

⊛ Παράδοξη εξήγηση της σχέσης των μαζών. Το e⁻ ως προς τη μάζα p⁺ $\frac{1}{2000}$ άρα το e⁻ που παράγεται με το ^{14}N που έχει

144 $\frac{1}{28.000}$ Άρα σχεδόν $\text{N} \rightarrow$ μηδενική κινητική ενέργεια



Υπολογισμός Qvalue

α) αντίδραση $A+B \rightarrow C+D$

$$Q = (m_A c^2 + m_B c^2) - (m_C c^2 + m_D c^2)$$

M : ατομική μάζα

m : μάζα πυρήνα

$$M(A, Z) c^2 = m(A, Z) c^2 + Z m_e c^2$$

το $\bar{\nu}_e$ αήχο

Ελλείμμα μάζας

$$\Delta(A, Z) = [M(A, Z) - A] c^2$$

Τα e^- ίδια

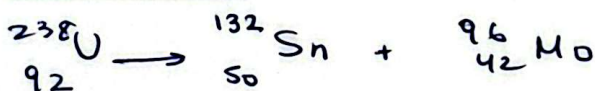
$$Q = (m_A c^2 + m_B c^2) - (m_C c^2 + m_D c^2)$$

↓ αντι $m \rightarrow M$

$$Q = M_A c^2 + M_B c^2 - M_C c^2 + M_D c^2$$

$$Q = \Delta_A c^2 + \Delta_B c^2 - \Delta_C c^2 + \Delta_D c^2$$

Αδυνάμηση



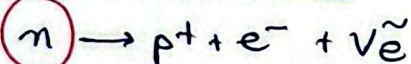
Ποσο το Qvalue; (μέσω $\Delta(A, Z)$ ή μάζα M κεφαλαίο)

(αλλιώς το αποτέλεσμα θα βγεί σε ατομική μονάδα μάζας / το αποτέλεσμα $\times$

$\times \cdot c^2$ και αντιστοίχως

$$u c^2 = 936,5 \text{ MeV}$$

β) διάσπαση



$$Q_{\text{value}} = m(A, Z) c^2 - (m(A, Z+1) c^2 + m_e c^2) \quad \text{το } \bar{\nu}_e \text{ αήχο}$$

Πως θα βρω μάζα πυρήνα $\begin{matrix} \swarrow \text{Εξουδεσμέωση} \\ M \\ \Delta \end{matrix}$

Πάμε με το M

$$Q_{\text{value}} (Q\beta) = M(A, Z) c^2 - M(A, Z+1) c^2 \quad \text{Τα } e^-; \Rightarrow$$

ΟΧΙ! Συμπεριλαμβανόμενα στο M

$$Q\beta^- = \Delta(A, Z) c^2 - \Delta(A, Z+1) c^2 \quad \text{αν π.χ } {}^{14}\text{C} \rightarrow {}^{14}\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$\Delta(A, Z) \quad 3.020 \quad 1.863$$

β^+ διάσπαση $(p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e)$ το νηπινος ν_e

$$Q_{\beta^+} = m(A, Z)c^2 - [m(A, Z-1)c^2 + m_e c^2]$$

$$Q_{\beta^+} = M(A, Z)c^2 - [M(A, Z-1)c^2 + 2m_e c^2]$$

και πρηνονο

$$Q_{\beta^+} = \Delta(A, Z) - [\Delta(A, Z-1) + 2m_e c^2]$$

το οτι βγαυη $2e^-$
δε μωρ ηαροφενειν
αυτο τον ποσο που οριζιται
οι ταξες

E.C. = ηαευρονιαυη ατατηγη $(p^+ + e^- \rightarrow \nu_e)$ (αλφειουο το οτι)

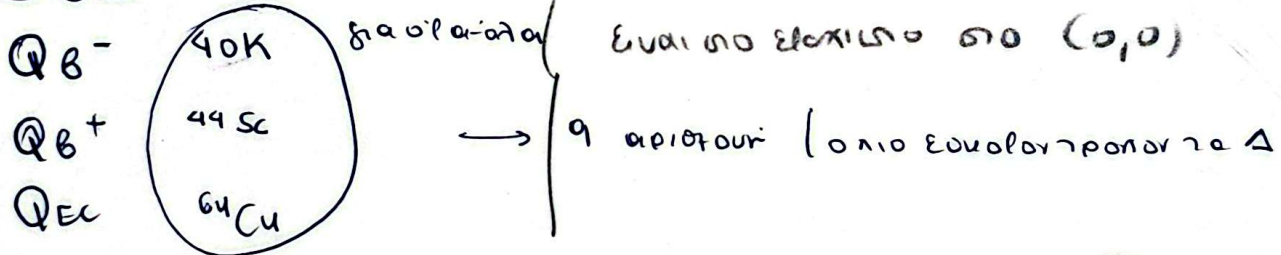
$$Q_{EC} = [m(A, Z)c^2 + m_e c^2] - m(A, Z-1)c^2$$

$$Q_{EC} = M(A, Z)c^2 - M(A, Z-1)c^2$$

εδωτα e^- τα ηει
βοηθει η μοτη
ταξες

$$Q_{EC} = \Delta(A, Z) - \Delta(A, Z-1)$$

SOS



SOS : Οι αηοδευημερ ερωηοερ ηω $Q = m \rightarrow Q = M \rightarrow Q = \Delta$

$M(A, Z) = m(A, Z)c^2 + 2m_e c^2$ *
 να τα ααυη $\downarrow$

Μοντέλο υφής σταγονάρ πυκνωμένο (δλδ κόνση της σθεναρίας κατ' από
τη συμπεριφορά του πυκνωτή κατ' με αλληθ θεωρία)

Βάση: η ενδοική υφής σταγονίας (αν, αs, αc, αo, δA)

Παραβολή μαζας $\begin{matrix} \swarrow \\ \searrow \end{matrix} \begin{matrix} \text{ου} \\ \text{εε} \end{matrix} \begin{matrix} \swarrow \\ \searrow \end{matrix} \begin{matrix} 2 \text{ παραβολές} \end{matrix}$

$$\text{οε} \rightarrow \delta(\lambda) = 0$$

SOS

Μοντέλο αερίου fermi

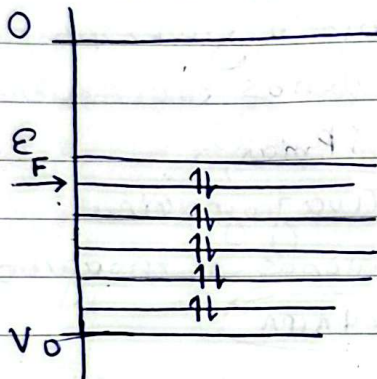
Τα p^+ , n (αυξάνονται εντερικώς κηφίου)

σαν να ήμασταν αεριο.

Θεωρώ

$\Sigma F = 0$ (δεν αλλοδρούν κηφίους με αλληθ προσέγγιση, άρα σαν κηφία
δανιού αερίου, το σύστημα από φερτιονία (υδατίνια σωματίνια)

Αεριο fermi: Σύστημα N fermiονίων δεδευμένων σε κηφία V



για να θεωρήσω κηφία $\Rightarrow$ συμ. V (δολιό)

$p^+ - n$ $\rightarrow$ το πυκνωτικό δωατίνιο τα περιόριζε
σαν πυκνωτή

$p^+ - e$ $\rightarrow$ κρατά τα e^- , τα περιόριζε στα ατομ
ατομο-ατομο $\rightarrow$ τα περιόριζε ο κηφιος δεδός
μορφο-τορπια $\rightarrow$ αδύσες vander Waals.

Υπάρκει κηφία δωατίνιο που κρατά τα φερτιονία σε κηφία κηφία των κηφίων.

Για να δώ τα ενεργειακά επίπεδα $\Rightarrow$ εγ. S

$\Sigma \epsilon$ καθε επίπεδο 2 φερτιονία με $\uparrow\downarrow$ spin

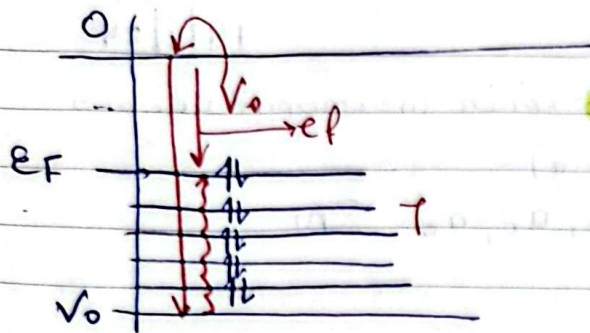
$\rightarrow p^+, n, e^-$ (στα κηφία κηφία κηφία $e^- \Rightarrow$ κηφία κηφία
αδύσες)

N φερτιονία $\rightarrow N/2$ ενεργειακά επίπεδα

Κηφία ενεργειακά επίπεδο $E_F \rightarrow 0$ (λίγο κηφία κατ' από το 0
γιατί το σύστημα δεδός).

Αν $E_F > 0$ θα απελευθερωθούν το δεδός σύστημα

E_F : ΤΕΛΕΥΤΑΙΟ ενεργειακά επίπεδο που δεδός ενεργειακά fermi (61)



Ενινεδο Fermi (SOS)

Για το τελευταίο ενινεδο

$$E_F = T_F + V_0$$

(-) (+) (-)

T_F = Ενέργεια Fermi
ή μέγιστη κινητική που μπορεί να έχει το σωματίδιο

Υενινεδο : $E_F = T + V_0$

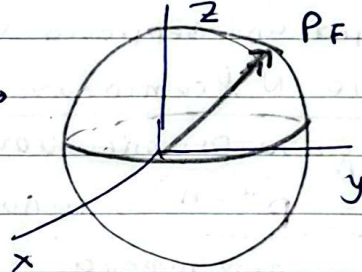
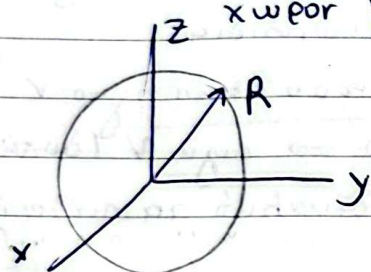
όσο πιο κατεβα το E , δηλαδή
| V_0 | ↑ τόσο πιο δεξιά το σύστημα

$$T_F = \frac{P_F^2}{2m} \Rightarrow P_F = \sqrt{2mT_F}$$

$$P_{\max} = P_F$$

ορμή Fermi : $P_{\max}$ ορμή ενός σωματιδίου

Γραμμά που βρίσκεται ένα σημείο Fermi, και η ορμή μπορεί να έχει, χωρος V -



$$\vec{p} = (p_x, p_y, p_z)$$

Ποιος ο γεωμετρικός τόπος των σημείων

$P_{\max}$;

Τινα ζωγραφίσω
κύλινδρος ή τσχαμμο

ΣΦΑΙΡΑ

ορμή Fermi $\rightarrow P_{\max} \rightarrow$ η R της σφαίρας

Όλα τα υπολογιστικά σωματίδια που βρίσκονται μέσα στη σφαίρα. Δεν είναι κατεύθυνση; Οπουδήποτε. Οποιαδήποτε κατεύθυνση $P < P_{\max}$

Χώρος γάσεων (συνδυασμένων χωρικών θέσεων και ορμής)

$$\left(\begin{matrix} \text{χωρού} \\ x, y, z \end{matrix} \right) \cup \left(\begin{matrix} \text{χωρος} \\ p_x, p_y, p_z \end{matrix} \right)$$

$$\text{Όγκος χώρου γάσεων : } V\phi = V \cdot V_p$$

$$R = P$$

$$V_R = \frac{4}{3} \pi R^3 \Rightarrow V_P = \frac{4}{3} \pi P_F^3$$

$$V\phi = V \cdot \frac{4}{3} \pi P_F^3$$

Θεωρητικά : για κάθε μία μη επιθυμητή ενέργεια υπάρχει κατάσταση : h^3 (καταλαμβάνει όγκο h^3) σε προσδιορισμένο κελύφος.

Αν πάρω μια ευρεγματική κατάσταση, ποιος ο όγκος που καταλαμβάνει στην χώρο; $\rightarrow h^3$

1 ευρεγματική $\rightarrow V = h^3$

$\frac{N}{2} \rightarrow \rightarrow V \phi = V \cdot \frac{4}{3} \pi p_F^3$

$$\left\{ \frac{N}{2} h^3 = V \cdot \frac{4}{3} \pi p_F^3 \right.$$

$$\rightarrow p_F = \hbar (3n^2)^{1/3} \left(\frac{N}{V} \right)^{1/3} \quad (1)$$

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$
 θεωρώ να έχω το $\hbar$

σωματιδιακή πυκνότητα

Βρούμε p_F συνάρτηση της πυκνότητας των σωματιδίων (φερμιονίων)

$p = \frac{N}{V}$ (2) αριθμητική πυκνότητα (1) $\Rightarrow p_F = \hbar (3n^2)^{1/3} \cdot e^{1/3}$

Πυρηνός $\leftarrow p^+$ n^0

μηάλλα $\rightarrow$ ελκυστικά e^-

$\rightarrow$ Η κατάσταση λέγεται : Το αέριο σφαιρικής διάστασης (απείρη - ήλιο) έχουν ελεύθερα ηλεκτρονία (e^-) από τα άτομα

$\rightarrow$ Απείρη πυρηνία (μόνο νετρόνια)

Αέριο φερμιονίων $\rightarrow$ μόνο n . Πως αλληλεπιδρούν μεταξύ τους; Αποδομής πυρηνιακή αλληλεπιδράση $\rightarrow$ δεν είναι να υπακούσει (n) δέσμευα μόνο

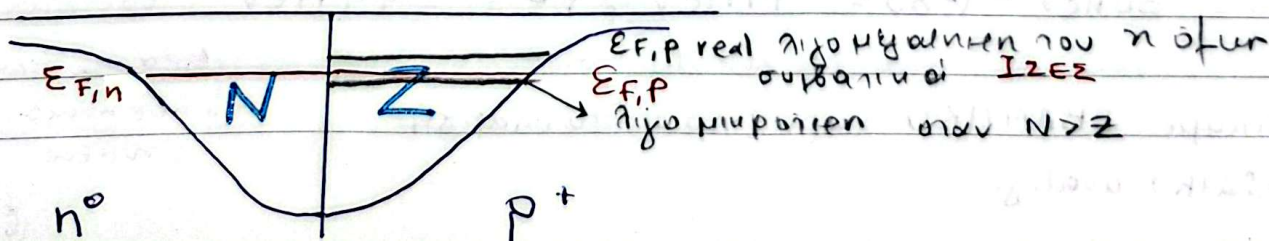
Τότε υπάρχουν; Είναι πολύ μικρό $R=10^{-15}m$ και βαρύνει $\gg$ πυρηνιακή αλληλεπιδράση

Ο περιοδικός πίνακας σταθερά στα βαρύτερα στοιχεία

Όχι, δε στίο $\rightarrow$ μόνο n όχι λόγω διαφοράς των ενεργειακών επιπέδων. Για να είναι δεσφίο να ενωθούν θα έπρεπε να είχε τονλάχιστον ίσο αριθμό p^+ για να σχηματισθούν πυρήνες.

Όταν τα p^+ αρχίζουν να γίνονται πάρα πολλά $\rightarrow$ υποβεί $\rightarrow$ ο Π.Π. σταματά στα μέγιστα στοιχεία (υπερβαρέα) γιατί πυρηνιακή υποβασεργαζία για $F_{coulomb}$.

ΕΞΤΙΑΖΟ ΣΤΟΝ ΠΥΡΗΝΑ



$n_{\text{protons}} = Z$ $n_{\text{neutrons}} = N$ $\rho_p = \frac{Z}{V}$ $\rho_n = \frac{N}{V}$ $P_{F,p} = \hbar (3n^2)^{1/3} \rho_p^{1/3} \left(\hbar \left(\frac{Z}{V} \right)^{1/3} \right)$
 $P_{F,n} = \hbar (3n^2)^{1/3} \rho_n^{1/3} \left(\hbar \left(\frac{N}{V} \right)^{1/3} \right)$

$N > Z \Rightarrow \rho_n > \rho_p \Rightarrow P_{F,n} > P_{F,p} \Rightarrow E_{F,N} > E_{F,p}$

• Εάν $N = Z$ $\rho_n = \rho_p = \frac{\rho}{2}$ $\rho \approx 0,16 \Rightarrow \boxed{\rho/2 = 0,08}$

Ορμές $P_{F,n} = P_{F,p} = \hbar (3n^2)^{1/3} \left(\frac{\rho}{2} \right)^{1/3} = \hbar (3n^2)^{1/3} \cdot 0,08^{1/3}$
η αριθμική συνάρτηση που δίνεται

$P_{F,e} = \hbar \cdot c \cdot (3n^2)^{1/3} \cdot 0,08^{1/3} \approx 260 \text{ MeV}$ **SOS**
λογιστώ Η.Η.Ο.τ
eV πολλαπλα
με "c"
 $P_{F,n} > P_{F,p} = P_F$

Άσκηση

Για $\rho = 0,16 \frac{\text{νucleons}}{\text{fm}^3}$ $P_F = ;$ $E_F = \frac{P_F^2}{2m} = ;$ $v_F = ;$
 $\sim 0,27c$

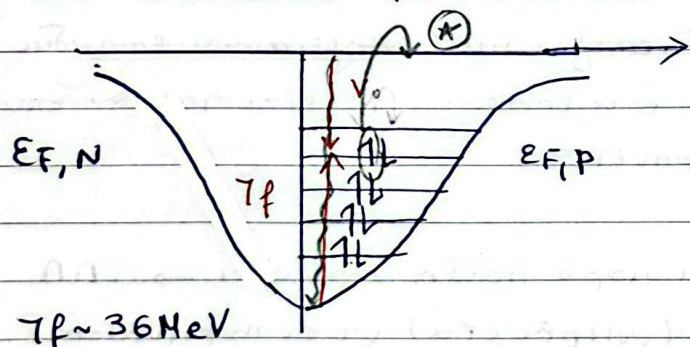
$P_F = \hbar (3n^2)^{1/3} \rho^{1/3}$ ($\rho = 0,16$)

$E_F = \frac{P_F^2}{2m}$
 $\sim 36 \text{ MeV}$

$\langle E \rangle = \frac{3}{5} E_F$
(μεση ενέργεια)

$\langle E \rangle \approx 20 \text{ MeV}$
 $\langle u \rangle \approx 0,2 \cdot c$

Να μπορέσω να υπολογίσω το βάθος του δυναμικού
 Να το βωδίσω με ποσότητες που μάθατε στην τρέξη



(*) Αυτή την ενέργεια δίνω
 για να αποδράσουν το
 νουκλεόνιο (p)

$E_F = - S_p$
 $S_p = - E_F \approx 8 \text{ MeV}$

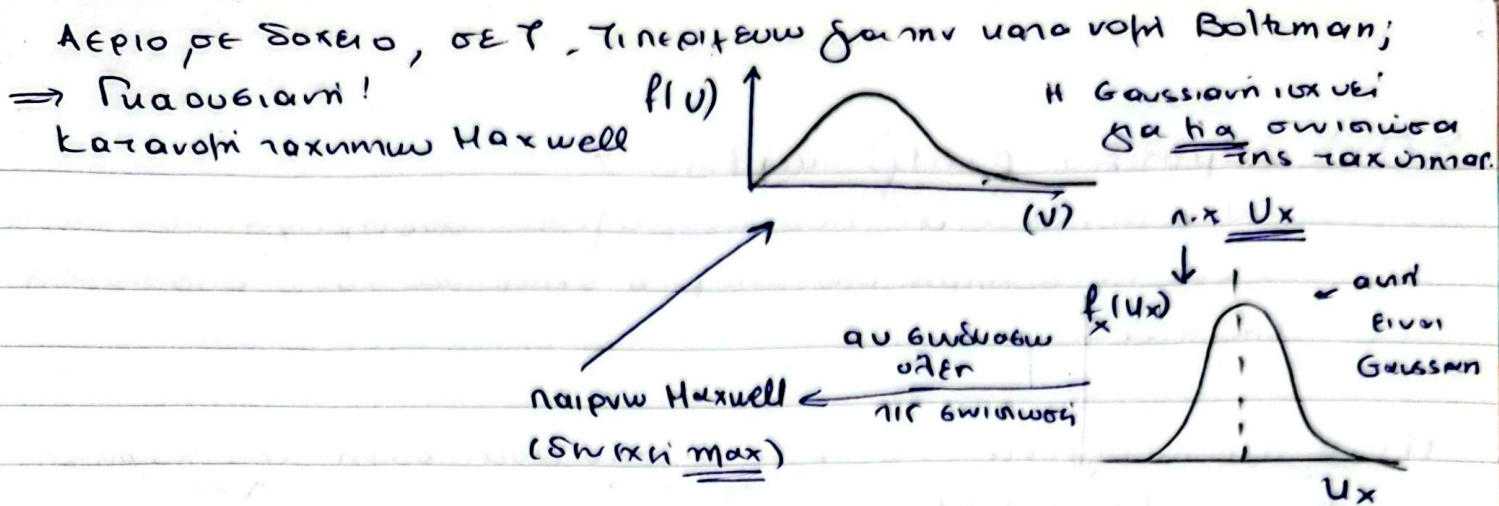
Ενέργεια διασποράς

$- V_0 = T_F - E_F$ (*) (-)
 $(E_F = T_F + V_0)$

$- V_0 = 36 \text{ MeV} - (-8) = 44 \text{ MeV} \Rightarrow \boxed{V_0 = -44 \text{ MeV}}$

το βάθος
 του δυναμικού
 κρατήρα
 το νεύρο
 δυναμ

Ότι είναι κβαντικό χαρακτήρα δεν υπάρχει
 κλασικό ανάλογο



Περιγραφή συμπεριφοράς υδατινού συστήματος

$\hookrightarrow$ Schrödinger (για να συστήμα σωματιδίων που συμπεριφέρονται υδατικά)

Χρονική εξάρτηση $\hat{H}\Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$

1 σωματίδιο $\Psi(\vec{r}, t)$

N σωματίδια $\Psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N, t)$ μη στατική κατάσταση
n.x. διάσπαση, ανιδραση

$$\Psi(\vec{r}, t) = \underbrace{\Psi(\vec{r})}_{\text{χωρικό}} \underbrace{e^{-\frac{E}{\hbar} t}}_{\text{χρονικό}} \quad \text{στατική κατάσταση}$$

$$\text{Πιθανότητα } |\Psi|^2 \equiv \Psi^* \cdot \Psi = \Psi^*(\vec{r}) \cdot \Psi(\vec{r}) = |\Psi(\vec{r})|^2$$

Οι χρονικές αντάρκτες μόνο για στατικές καταστάσεις
 $\hookrightarrow$ η Schrödinger: $\hat{H}\Psi = E\Psi$, η ενέργεια την $\Rightarrow$ τα E

$$\hat{H} = T + V(\vec{r}) = \frac{p^2}{2m} + V(\vec{r}) \rightarrow \text{κατασκευαστική}$$

$\Downarrow$ για να γίνει μετρήσιμη

$$\hat{H} = \frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\vec{r})$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \rightarrow$$

parity = ομοιοτιμία.

Για ένα σύστημα N σωματιδίων που δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους $SF=0$, αλληλεπιδρούν μέσω του δυναμικού $V(\vec{r})$

$$\hat{H} = \hat{H}_1 + \hat{H}_2 + \hat{H}_3 + \dots + \hat{H}_i + \dots + \hat{H}_N$$

$$E = E_1 + \dots + E_N$$

$$\Psi = \Psi_1(\vec{r}_1) \Psi_2(\vec{r}_2) \dots \Psi_i(\vec{r}_i) \dots \Psi_N(\vec{r}_N) \xrightarrow[\text{εφαρμογή}]{\text{εάν θα ήθελε}} \text{θα ήθελε να ορίσουμε Slater}$$

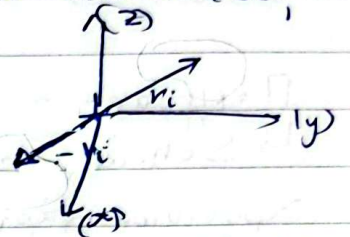
Για N φερμιόνια έχουμε την Ψ ως ορίσουμε Slater

SOS: Ομοτιμία (parity) χώρου

Μια διαδικασία που ονομάζεται αναστροφή του χώρου. Έχω το σύστημά μου σε μία θέση και κάνω αναστροφή του χώρου.

Ποια η συμπεριφορά της ψυσά την αναστροφή του χώρου;
 $\forall i: \vec{r}_i \rightarrow -\vec{r}_i$
 και διωρισμένο του αναστρέφω τη θέση.

$$\begin{cases} x_i \rightarrow -x_i \\ y_i \rightarrow -y_i \\ z_i \rightarrow -z_i \end{cases} \text{ δαδ}$$



Εάν το V εξαρτάται μόνο από το $\vec{r} \rightarrow V(\vec{r})$ αν $V(\vec{r}) = V(-\vec{r})$ τότε η H δεν αλλάζει $p^2 = -\hbar^2 \nabla^2$ δεν αλλάζει και οι κυμαλίστες θα έχουν την ίδια μαθηματική μορφή. Οι κυμαλίστες αυτές θα έχουν την εφ' ου υποχρεωτική ιδιότητα $|\Psi(-\vec{r})|^2 = |\Psi(\vec{r})|^2$

αυτοαπάρτητων κανονισμών (αυτοπαρατηρήσιμων).

Ό,τι γίνεται στο ① γίνεται στο ② ή η H ίδια

$\Rightarrow \begin{cases} \Psi(-\vec{r}) = \Psi(\vec{r}), \text{ η } \Psi \text{ έχει θετική τιμή parity} \\ \Psi(-\vec{r}) = -\Psi(\vec{r}), \text{ η } \Psi \text{ έχει αρνητική parity} \end{cases}$

$$\Pi = +1$$

$$\Pi = -1$$

(υδατοειδούς αριθμού)

$|\Psi|^2 = \Psi^* \cdot \Psi$ αν δεν ικανοποιείται κανονισμός δεν υπάρχει η παρατήρηση

Άσκηση

Να βρεθεί η parity. • $\Psi(x) = ax^2$ $\Pi = +1$
 (μόνα το βρω από τον τύπο του $\Psi(x)$ • $\Psi(x) = bx$ $\Pi = -1$
 ή βάζω το $-x$). • $\Psi(x) = ax^2 + bx$

$+1 \quad -1 \rightarrow$ Δεν έχει parity

Αν έχω 1 διωρισμένο OK. Αν έχω πολλά N - διωρισμένα. Βρίσκω την parity για καθένα και μετά προσθέτω

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 + \dots + \Pi_N$$

Sor: $\forall N$ αριθ $n \in \mathbb{N}$ $n > 0$ η parity είναι

Σωματίδια περιγράφονται σε σφαιρικό σύστημα άρα να δουλέψουμε σε σφαιρικές συντεταγμένες (r, θ, ϕ)

$$\Psi(x, y, z) = \Psi(r, \theta, \phi)$$

$$\Psi(r, \theta, \phi) = R(r) \cdot Y(\theta, \phi)$$

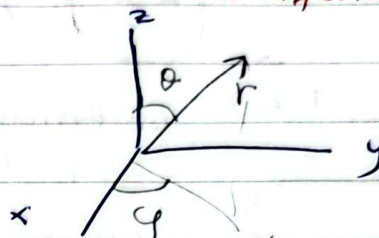
$$x = r \sin \theta \cos \phi$$

$$y = r \sin \theta \sin \phi$$

$$z = r \cos \theta$$

αυτήν με τον γωνιακό κ-vektor, σφαιρικές συντεταγμένες

Ιδια για όλα
η αλλαγή



Αν αλλαχθεί χώρος

$$r \rightarrow -r$$

$$\theta \rightarrow \pi - \theta$$

$$\phi \rightarrow \pi + \phi$$

$$\Psi(r, \pi - \theta, \pi + \phi) = R(r) (-1)^l Y_{lm}(\theta, \phi)$$

Παράμετρο διαφορά
η parity: Κανόνας

Σε μια διατήρηση

η parity = ct

Αν έχουμε

λειτουργία διατήρησης

parity = ct

Η parity είναι ίση με $(-1)^l$ στην κυκλική

$$P = (-1)^l$$

Sor

Για Ν σωματίδια η συνολική parity

$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \dots P_N$ για Ν σωματίδια

η.χ

2 σωματίδια

$$P = 2(-1)^l$$

Οχι $P = 0$ ΚΑΝΟΝ ΕΧΕ ΛΑΘΟΣ, η κυκλική πρέπει να έχει parity.

Οι αλλαγές που γίνονται 1) βαρύτητα $x \rightarrow y$ λαμβάνουν
2) ηλεκτρομαγνητισμός $V \rightarrow$ υδατική διατήρηση

parity
3) ισχυρή διατήρηση parity. Αν γίνει μια λειτουργία
απόδραση θα διατηρηθεί η parity

4) Ασθενής (ραδιομηχαν β-ακτινοβολία), το V

Οχι διατήρηση parity.

Τα V αν βρω νούμερα $\rightarrow$ ασθενείς

Εναντιομερή $\rightarrow$ σπρέινγκ το επίπεδο του ψαλιδιού διασποράς

Λοιπόν αυτή ιδιότητα είναι από τη φυσική σπρέινγκ ψαλιδιού

$\rightarrow$ οχι οι γυμνιστές είναι αν ξεπεράσουν με περισσότερα κεντρα (βιολογικά)

Στροφομή $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \rightarrow |\vec{L}| = |\vec{r}| \cdot |\vec{p}| \sin \alpha$ $L = \begin{vmatrix} i & j & k \\ x & y & z \\ p_x & p_y & p_z \end{vmatrix}$
 γωνία $(\vec{r}, \vec{p})$

Κβαντων L

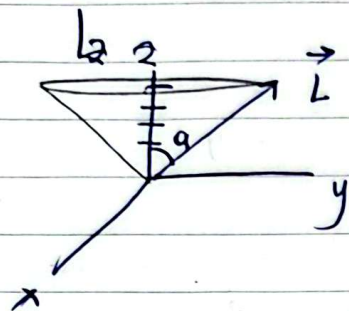
$$|\vec{L}|^2 = \hbar^2 l(l+1)$$

$$l = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$|\vec{L}| = \hbar \sqrt{l(l+1)}$$

$$L_z = \hbar m_l$$

$$m_l = -l, \dots, 0, \dots, +l$$



αββαίωμα που βρισκεί

το $\vec{L}$ μήκος

στο ποσοστό

αυτοίθι θέση στο κύβο

Το $\vec{L}$ διαγράφει έναν κύβο

$$1) E = h \cdot \nu \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

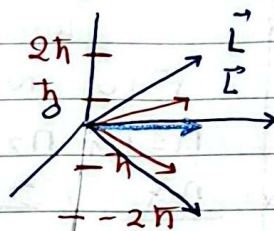
$$2) \text{ από το Bohr } L = n \hbar$$

$$\cos \alpha = \frac{L_z}{|\vec{L}|} \Rightarrow \cos \alpha = \frac{\hbar m_l}{\hbar \sqrt{l(l+1)}} = \frac{m_l}{\sqrt{l(l+1)}}$$

αν $l=2$ $m_l = -2, -1, 0, 1, 2$ → θα πάρει αυτή την τιμή που είναι

η max τιμή της προβολής

$$|\vec{L}| = \hbar \sqrt{l(l+1)} = \sqrt{6} \hbar$$



ιδιοδιανυσματα

για $l=2$ αυτά είναι τα γινόμενα L_z

Spin είναι η σπιν → $\vec{S}$ στροφομή στοιχειωδών σωματιδίων p^+, e^-, n (1922: Stern - Gerlach: από α γωνία διαχωρισμού

ως δέσμη σε 2 συνιστώσες, 1925: έννοια του spin για e^-)

$$|\vec{S}| = \hbar \sqrt{s(s+1)}$$

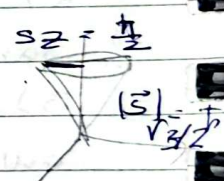
$$s = 1/2$$

$$\rightarrow m_s = -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$$

$$(προσθ. +1)$$

$$\forall s \quad m_s = -s, \dots, +s$$

$$s = \frac{1}{2} \quad |\vec{S}| = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar, \quad S_z = m_s \hbar = +\frac{\hbar}{2} \text{ ή } -\frac{\hbar}{2}$$



$$s = 1 \quad |\vec{S}| = \sqrt{2} \hbar, \quad S_z = m_s \hbar = \hbar, 0, -\hbar$$

$$(φωτόνια) \quad m_s = -1, 0, +1$$

υάνονες

Επιδόσην λαβμοροσμονία

Αν βάλω μαγνητικό πεδίο προς/γν

// στο z

$$\hbar \text{ στροφομή} = \hbar$$

2 ζεύγη στροφορμών

Με μικρά γράμματα: 1 βωμονίδιο
Με μεγάλα γράμματα: N βωμονίδια

$\vec{L}$: τροχιακή στροφ.

$\vec{S}$: στροφ. spin

$\vec{J}$: γενικευτ. στροφορμή

2 ζεύγη J_1 και J_2

$$J_1 = |\vec{J}_1| = \hbar \sqrt{J_1(J_1+1)}$$

$$J_{z,1} = \hbar m_{J,1}$$

$$J_2 = |\vec{J}_2| = \hbar \sqrt{J_2(J_2+1)}$$

$$J_{z,2} = \hbar m_{J,2}$$

J_1, J_2 : αυτεξολον ή μη αυτεξολον. (1/2) $J_1 = 0, 1/2$ ή $1/2, 3/2$

Η μισή των διαφύα' αυτήν

$$S = \frac{1}{2} \text{ σύμφων } \vec{S}, \vec{L}$$

$$J = J_1 + J_2$$

$$|\vec{J}| = \hbar \sqrt{J(J+1)} \quad J_z = \hbar m_J$$

$$J = |J_1 - J_2|, \dots, |J_1 + J_2|$$

$$m_J = -J, \dots, +J$$

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \quad J = |L - \frac{1}{2}|, L + \frac{1}{2}$$

($L=0$) το βωμονίδιο δευ

εχει στροφορμή

$$J = -1/2, 1/2$$

$$(L \neq 0) \quad J = L - 1/2 \quad J = L + 1/2$$

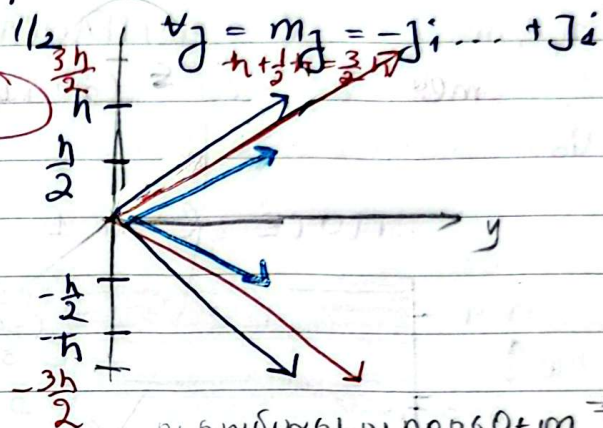
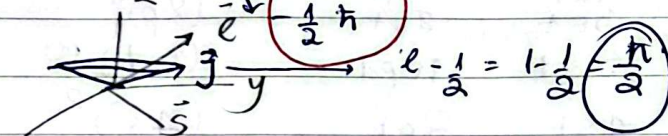
Γραμμική παραγωγή για $L=1$

$$|\vec{L}| = \hbar \sqrt{L(L+1)} = \sqrt{2} \hbar$$

$$L_z = m_L \hbar \rightarrow 0, \pm \hbar$$

$$S = \frac{1}{2} |\vec{S}| = \hbar \sqrt{\frac{1}{2}(\frac{1}{2}+1)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar$$

$$S_z = m_S \hbar \rightarrow \pm \frac{1}{2} \hbar$$



ο βωμονίδιο προοφ $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$
+ σπινιωτή (4-5)

Νυκτινός μονιτο φλοιού

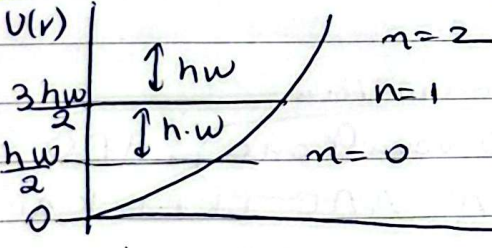
$$V(r) = \frac{V_0}{1 + e^{\frac{r-R}{a}}} \rightarrow \text{συντ. εφ } \delta \text{ οχι συγκεντρωτ. λύσεις}$$

Προβλεψη: θα παρω μια παραβολή

(*) παραβολική εξίσωση των r

$$\text{Αρμολογισμ } V = \frac{1}{2} k x^2 \quad k = m \omega^2, \omega = 2\pi \nu$$

Ισορροπία α.α.τ.



Όταν είναι γαλανισμ εξαρτ. τω
από την απόστασ r → ισορροπία
↳ το δωατισμ από το r
δε υαθτ απόστασ r το V δωατ
Σταθισμ δωατ

$$\text{Για τα νουκλεόνια} \quad V(r) = V_0 + \frac{1}{2} k r^2 \quad (\text{ληπα την κατλν και την κατεβάσα στην } r=0)$$

$$U_0 = -40 \text{ MeV}$$

$$E_n = U_0 + E_n$$

$$E_n = U_0 + \hbar\omega(n + \frac{1}{2})$$

Ενεργειακά επίπεδα των νουκλεονίων που υποβάλλονται στο ίδιο δωμάτιο

$$\Psi_{n, l, m_l}(r) = R_{n, l}(r) Y_{l, m_l}(\theta, \phi)$$

→ συγκεντρώνει το ραδιόφωνο

↑ τροχιακή απόσταση του νουκλεονίου στον πυρήνα

Το συγκεντρωμένο δωμάτιο ($U(r) = U_0 + \frac{1}{2}kr^2$) επιβάλλει $n-l = 2k$ άρτια
η διαφορά n, l πρέπει να είναι άρτιας αριθμότητας $k=0, 1, 2, \dots$

Κάθε μία κατάσταση χαρακτηρίζεται από n, l, m_l και 2 νουκλεόνια n, l

$$U(r) = U_0 + \frac{1}{2}kr^2 \quad E_n = U_0 + \hbar\omega(n + \frac{1}{2}) \quad n=0, 1, 2, \dots$$

↓ $\text{οχι } l = n-1$

$$\Psi_{n, l, m_l} \quad l \leq n \text{ (ΠΑΝΤΑ)}$$

$n-l = \text{άρτιας}$ (ΑΠΑΙΤΗΣΗ)

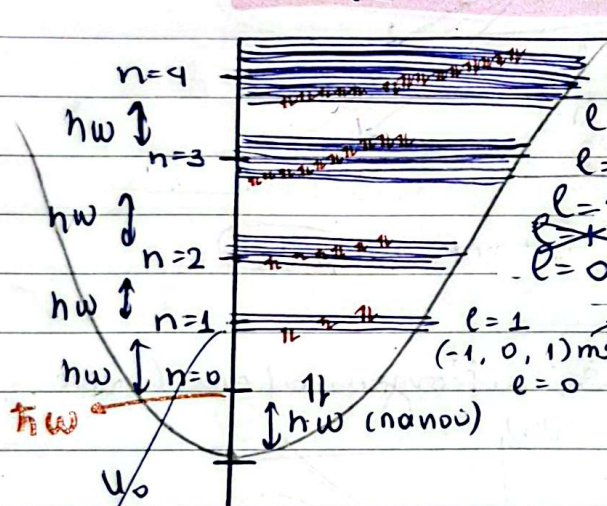
$$\forall l \quad m_l = -l, 0, +l \quad : (2l+1) \text{ τιμές}$$

$$U_0 = -40 \text{ MeV} \quad \text{SOS}$$

ΠΑΙΡΝΟΥΝ ΕΚΕΙΝΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ

ΠΟΤΕ $l = n-1$

ΟΠΟΥ $n-l$ άρτιος



n	l	State	particles	notation
4	4	9st	18pt	(1g) ¹⁸
4	3	5st	10pt	(2d) ¹⁰
4	2	1st	2pt	(3s) ²
3	3	7st	14pt	(1f) ¹⁴
3	2	3st	6pt	(2p) ⁶
2	2	5st	10pt	(1d) ¹⁰
2	1	1st	2pt	(2s) ²
1	1	3st	6pt	(1p) ⁶
0	0	1st	2pt	(1s) ²

State
υποστάσεις
(για 10ms)
100ms

particles
τοποθέτηση των
νουκλεονίων

3 διαφ. υποστάσεις
καθέτω φασματικές
2 σημειώσεις 16s

Συνιστάμε να
την ίδια ενέργεια
ολομορφία την απεικόνιση των $^{16}_8\text{O}_8$

το 1^ο τροχιακό p που βγαίνει παίρνει 6 σωματίδια
ΜΠΟΡΕ ΝΑ ΤΑΚΤΟΠΟΙΗΣΕΙ ΜΕΧΡΙ (20 νουκλεόνια), ΔΗΛΑΔΗ
(1d)¹⁰. ΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΠΟ ΕΚΕΙ ΚΑΙ
ΠΑΝΟ ΔΕΝ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΥΝ
ΟΥΤΟΣ Η ΑΛΛΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΑΛΟ ΚΑΤΩ ΟΧΙ ΑΚΡΙΒΩΣ
ΕΓΔΙ. ΙΔΙΟΡΥΘΜΙΑ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ F.

40
20 20 (H)

Εάν το δυναμικό τροχιακή στροφομή $l=2$
 πρώτα το $\vec{S} \uparrow$ ανόρι $\uparrow \vec{S}$

$\vec{L} \uparrow \vec{S} \rightarrow j = l + 1/2$ ευεργετικά παρόμοιο ανόρι $\vec{L} \uparrow \vec{S}$ $j = l - 1/2$
 το δυναμικό $\uparrow$ καλώς συν ευεργετικά ανόρι $\rightarrow$

Πως θα οριζωνισαμε τη δύναμη; } Διόρθωση αθλήων
 Πριν οι παραστάσεις ευθυγραμμιστούν; } Spin-orbit

$U(r) = V_0 + \frac{1}{2}kr^2 - \alpha \vec{L} \cdot \vec{S}$ (A) $\rightarrow \vec{L} \uparrow \vec{S}$ ($j = l + 1/2$)
 $\cos 0^\circ = 1$ $\cos 180^\circ = -1$
 $U(r) = V_0 + \frac{1}{2}kr^2 - (-\alpha \vec{L} \cdot \vec{S}) = V_0 + \frac{1}{2}kr^2 + \alpha (\vec{L} \cdot \vec{S})$ $\vec{L} \uparrow \vec{S}$
 $-(-1) = +1$

$\vec{L} \cdot \vec{S} = |\vec{L}| |\vec{S}| \cos(\vec{L}, \vec{S})$

Σχηματισμός απόδειξης γι' αυτό που θα δώσουμε από $\vec{L} \cdot \vec{S}$.

$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \Rightarrow |\vec{J}|^2 = |\vec{L} + \vec{S}|^2 \Rightarrow |\vec{J}|^2 = |\vec{L}|^2 + |\vec{S}|^2 + 2|\vec{L}||\vec{S}| \Rightarrow$

$\Rightarrow \vec{L} \cdot \vec{S} = \frac{1}{2} |\vec{J}|^2 - |\vec{L}|^2 - |\vec{S}|^2$ $|\vec{J}|^2 = \hbar^2 j(j+1)$ $|\vec{L}|^2 = \hbar^2 l(l+1)$ $|\vec{S}|^2 = \hbar^2 s(s+1)$ $s = 1/2$
 $\vec{L} \cdot \vec{S} = \begin{cases} -(l+1)\frac{\hbar}{2} & \text{για } j = l - \frac{1}{2} \quad \vec{L} \uparrow \vec{S} (1) \quad U(r) \uparrow \text{ από } \uparrow \\ (l+1)\frac{\hbar}{2} & \text{για } j = l + \frac{1}{2} \quad \vec{L} \uparrow \vec{S} (2) \quad U(r) \downarrow \text{ ct} \end{cases}$

Η διαδικασία την ανατροφοδότηση $\uparrow$ $\oplus$

Το (1), (2) μπαίνουν στο $A = (\alpha \cdot \vec{L} \cdot \vec{S})$. Με το $-$ μπροστά το
 τελικό πρόσημο διαχωρίζεται.

Ο λόγος που το $l=0$ επιλέγεται δεν ταξινομείται στο βάθος
 του φεγγαριού είναι απροσβέστα απροσδιοριστία. Αν
 επιρρίπτεται η Εκκυστική $\rightarrow 0$ γιατί τότε η βιβλιοθήκη
 στον πόλο μεγάλη (η αβιβλιοθήκη ορίστη μεδωτήρα για)

l	0	1	2	3	4	5	6
τροχ. S	s	p	d	f	g	h	i
$(2l+1)$ αριθμοί	1	3	5	7	9	11	13

$V(r) = V_0 + \frac{1}{2}kr^2 - \alpha (\vec{L} \cdot \vec{S})$
 $E_n = V_0 + \hbar \omega \left(\frac{3}{2} + n \right) - \alpha (\vec{L} \cdot \vec{S})$ } SOS

$$E_n(n, l) \begin{cases} \frac{\alpha \hbar^2}{2} (l+1) & \text{για } j = l - 1/2 \quad \vec{l} \uparrow \vec{s} \downarrow \\ -\frac{\alpha \hbar^2}{2} (l) & \text{για } j = l + 1/2 \quad \vec{l} \uparrow \vec{s} \uparrow \end{cases} \quad \Delta E = \frac{\alpha \hbar^2}{2} (2l+1) \quad \text{(+)}$$

Όταν $l \uparrow \Rightarrow \Delta E \uparrow \Rightarrow \uparrow$ η διάσχιση των δυο παραστάσεων.

$$\Psi(r, \theta, \phi) = R_{n, l}(r) \cdot Y_{l, m_l}(\theta, \phi) \quad \text{π. ε. } S \text{ συνάβει τον περιβάλλοντα}$$

$$n, l, m_l \quad n-l=2k \quad k=0, 1, 2, \dots$$

p^+, n : τα συνάβουν σαν ανεξάρτητα ευστηστά

Ο ευφορισμός. Οι παραστάσεις που υποδηλώνει ο l αέρηται μερικές λόγω αντισυμμετρίας $F \rightarrow \vec{l} \uparrow \vec{s} \rightarrow \text{το } U(1) \text{ αντιστρέφει } \vec{l} \uparrow \vec{s}$

$$(*) \langle \vec{l} \cdot \vec{s} \rangle = \langle \Psi | \vec{l} \cdot \vec{s} | \Psi \rangle. \quad \text{Το } U(1) \text{ τελεστής άρραυα το } \alpha(\vec{l} \cdot \vec{s}) \text{ τελεστής κινάεισιν ε. } S$$

Συνέγυ $\rightarrow$ καθεύα l διάσχιση $\begin{cases} +a \\ -a \end{cases}$ για $l \neq 0$

Για μεγάλο l

$$\Delta E = \frac{\alpha}{2} \hbar^2 (2l+1) \approx \frac{\alpha}{2} \hbar^2 \cdot 2l \approx \alpha \hbar^2$$

Η διάσχιση $\propto$ τών l .

ΑΥΤΟ ΔΕ ΘΕΛΩ

$$n-l=1$$

α.χ. $N=1 \rightarrow n-l=0$
 $N=2 \rightarrow n-l=2$

$$n, s \quad (2s)^2$$

$$n-l=2k \quad \begin{cases} (n-l)=2(N-1) & N=1, 2, 3 \\ k=N-1 \end{cases} \quad \begin{matrix} K=0, 1, 2, 3 \\ N=1, 2, 3 \end{matrix}$$

$\uparrow$ μου δίνει την τάξη του παρακτικού

$$E_n(n, l=2) \begin{cases} j=l-1/2 = \frac{3}{2} \quad \vec{s} \downarrow \vec{l} \uparrow & (-\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{3}{2}) \\ m_j = 2j+1 = 4 & \text{το πλήθος των } m_j \\ j=l+1/2 = \frac{5}{2} \quad \vec{s} \uparrow \vec{l} \uparrow & (-\frac{5}{2}, -\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}) \end{cases}$$

$$m_j = 2l+2 = 5$$

Στα νομφορία σε καθε εωφγματο εινεδα 1 νομφοριο.

η ταξινότηση του τροχιακού $\rightarrow$ ο αριθμός διαμορφώσεων που φιλοξενείται
 ποιο είναι το 1^ο $\downarrow$ ποιο $\downarrow$ ποιο
 $(N \ell_j)$: Με αυτό τον τρόπο θα γεμίσω τη φερά
 πληρώσεων

$(1s_{1/2})^2 (1p_{3/2})^4 (1p_{1/2})^2 (1d_{5/2})^6 (2s_{1/2})^2 (1d_{3/2})^4 (1f_{7/2})^8 (2p_{3/2})^4 (1f_{5/2})^2 (1g_{7/2})^{10}$
 2 8 20 50

π.χ

θεωρώ την σχέση δεδομένη (I) $\leftarrow$ SOS σου!

$13 \begin{matrix} \swarrow \\ 6 \end{matrix} \searrow 6$ $p^+ : (1s_{1/2})^2 (1p_{3/2})^4$
 $n : (1s_{1/2})^2 (1p_{3/2})^4$

αριθμοι που λένε για αλυσίδες
 αλυσίδες αυτές $\rightarrow$ μαγικοί αριθμοί
 διαίρετα με 2
 2, 8, 20, 50

να βρεθεί το συνολικό spin p^+, n

$J_p = 0$
 $J_n = 0$ τα έχω όλα γεματά

Όταν μαθε φλοιός

αληθής συνεισφέρει
 με 0

40 C_9 πολύ ετ πυρήνας { διπλα μαγικός
 20 20 $\rightarrow$ μαγικοί η
 μαγικοί p

Ποιοι οι μαγικοί; 2, 8, 20, 50

132 OM 2 ΒΑΡΕΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΩΠ!
 50 S_n 82 ~~διπλα~~ μαγικοί

Παρόλο που είναι διπλα μαγικοί, δυνάμει ετ (J_i)
 Επειδή $n \gg p^+ \rightarrow \beta^-$ διάσπαση

S_n $(50) (50)$ διπλα μαγικοί Το 2 πολύ μεγάλο Παρόλο
 που είναι διπλα μαγικός. Η δύναμη
 Coulomb τα χαλάει. Δεν έχει όρο ας
 ασυμπτωτικής $(B^{\text{συν}} W)$

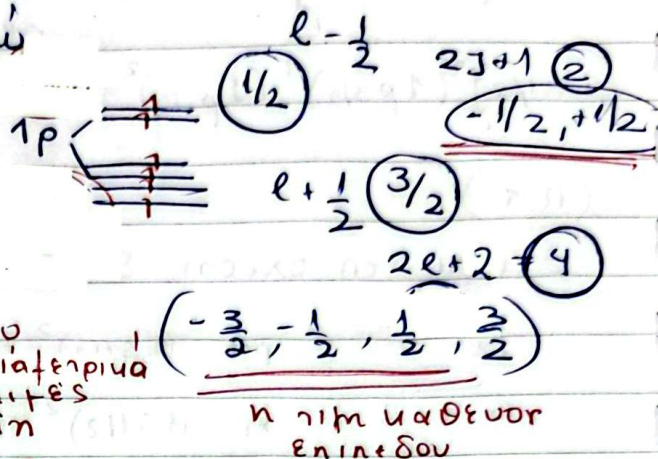
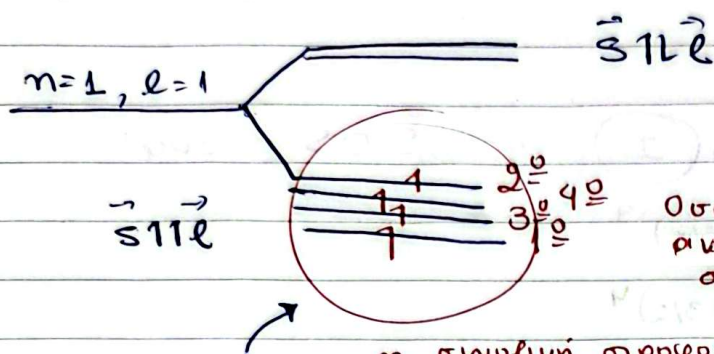
48 C 20 28 πολύ ετ πυρήνας

(Parity) : όταν γερω $\ell \rightarrow \pi = (-1)^\ell$
 $\ell = 0 \quad \pi = 1 \quad \text{αριθμός} > 0$
 $\ell = 1 \quad \pi = -1 \quad \text{περιττός} < 0$

Για $\forall$ νομίζουμε ότι ζεύγρια αρτία $\rightarrow n > 0$

50 $\rightarrow n > 0$ υπεύθυν

αν κω 49, 51 πρέπει να θυμίσω



Όσο πιο
αυτοδιαφέρη
σε spin

πρώτα τα χαμηλότερα ενεργειακά

Αρα βάζω το l^0 στο $-3/2$ το 2^0 στο $3/2$ για να εξαφανισώ
το parity.

$${}^{12}_6C_6$$

$$p^+ = (1s_{1/2})^2 (1p_{3/2})^4$$

$$n^0 = (1s_{1/2})^2 (1p_{3/2})^4$$

$$\Pi_{p^+} = (-1)^l = +1$$

$$\Pi_{n^0} = (-1)^l = +1$$

Αν νομίζω
πολύ
αρτία από το
ζεύγρια

$J = J_p + J_n = 0 + 0 = 0$ το συνολικό spin = 0, Γι' αυτό
και δεν είναι ενεργό στο NMR

Αρτία αριθμό $n, p^+ \rightarrow 0$ το spin και parity > 0

Συμβολισμός $J = 0^+$
στροφομή πυρήνα

$${}^{13}_6C_7$$

$$p^+ = (1s_{1/2})^2 (1p_{3/2})^4$$

$$n = (1s_{1/2})^2 (1p_{3/2})^4 (1p_{1/2})^1$$

$$J_p = 0$$

$$J_n = \frac{1}{2}$$

ένα συγγενικό/παιδί το spin
του συγγενικού

$$\Pi_{p^+} = 0$$

$$\Pi_n = (-1)^l = -1$$

$$J_{\text{πυρήνα}} = J_{p^+} + J_n = 0 + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

$$\Pi = \Pi_{p^+} \cdot \Pi_n = -1$$

$$J^n = \left(\frac{1}{2}\right)^-$$

το spin του ${}^{13}C$ οφείλεται
στα ταχύτερα νετρόνια

$${}^{11}_6C_5$$

1/12 = 20 min, 6+ δισον, ΡΕΤ, p' θα σπληνέται και θα δώσει 2 δισον

$$p^+ = 1s_{1/2}^2 (1p_{3/2})^4$$

$$\Pi_{p^+} = +1$$

$$J_{p^+} = 0$$

$$n = 1s_{1/2}^2 (1p_{3/2})^3$$

$$\Pi_{n^0} = -1$$

$$J_n = 3 \cdot \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$$

1 λιγότερο από τον αριθμό νετρονίων

ΟΠΗ ΝΕΤΡΟΝΙΟΝ

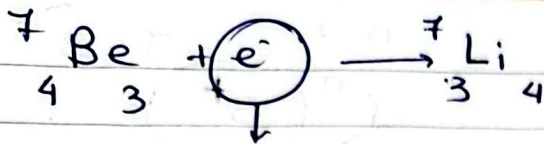
(χρήσιμο
σαν να τονίζω)

$$\Pi = -1 \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^- = \frac{3}{2}$$

(44)

2 onès

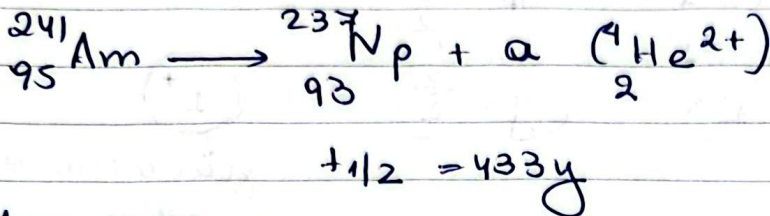
Γεωμετρία and $e^- \rightarrow n$



απορρόφηση σε εξεγερ. πύρρον

σελ. 3

Ραδιενεργό διασάσων α



το He $\rightarrow$ e κατέληθ
αυγ. Ρ He μπόρσε
ενηρ. θ-1

Αντικείμενι κοινού

β^+, β^- : ΟΧΙ

Νόμος ραδιενεργού διασάσων

Κινητήρι 1^η τάξης

$t=0$: N_0 (αρχικά)

t : N (οτι απέμεινε)

διασάσων $N_0 - N$ πυρήνερ

Σε χρόνο dt

$t \rightarrow N$

$t+dt \rightarrow N'$

$$\Delta N = N' - N < 0$$

$N' < N$

αφού διασάσων N' που έμειναν
Α.γ. από τους αρχικούς.

$$N - N' = -(N' - N) = -\Delta N$$

Ρυθμός διασάσων $= \frac{dN}{dt}$ ανάλογον

α N των πυρήνων που διασάσων
(οχι το αρχικό, την χρονική

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N \quad (\text{Σταθερή επιβίωση} \text{ στην } t)$$

$\lambda = \text{c.t. analogias}$, σταθερά ραδιενεργ. διασάσων

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N \Rightarrow \frac{dN}{N} = -\lambda dt \Rightarrow \frac{dP}{dt} = \lambda$$

dP = στατιστική σημασία
διασάσων

$$P = \frac{\Delta N}{N}$$

επιβεβαιώνει
υπόθεσιν να έχω

$$\text{Αν } dt = 1 \text{ τότε } dP = \lambda$$

SOS Αποδείξη

$$-\frac{dN}{N} = -\lambda \quad \text{ολοκληρ.} \quad \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_{t_0}^t -\lambda dt \Rightarrow$$

$$[\ln N]_{N_0}^N = -\lambda (t - t_0) \Rightarrow \ln N - \ln N_0 = -\lambda t \Rightarrow$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \Rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{(A) ολοληρ. μορφή του νότ. ραδιω. διασπ.}$$

$$p = \frac{N}{N_0} \leftarrow \text{παραμένει γιν. } t \text{ (από } t_0 \text{ που } N=N_0 \text{ σε } t \text{)} \quad \text{χρόνο } t$$

(B) Η πιθανότητα να διασπαστεί ένα νουκλ. : $1 - \frac{N}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t}$
σε χρόνο t

$$\Rightarrow N_0 - N = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \Rightarrow \frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t}$$

Ποσοί νουκλ. διασπασμένοι ανά μονάδα αρχικών νουκλ. N_0

$$\boxed{P = 1 - e^{-\lambda t}}$$

Να δοθεί ο ορισμός του $t_{1/2}$ και να αποδειχθεί η σχέση

1) C ΑΠΟΔΕΙΞΗ SOS

$$t_{1/2} \text{ χρόνος υποδιπλασίωσης } N_0 \rightarrow N = \frac{N_0}{2}$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda t} \Rightarrow -\lambda t = \ln 1/2 \Rightarrow$$

$$\lambda t = -\ln 1/2 \Rightarrow \lambda t = \ln 2 \Rightarrow \boxed{t = \frac{\ln 2}{\lambda}} \quad \text{το χρόνο ημζωής.} \quad \text{ct διασπασθ.$$

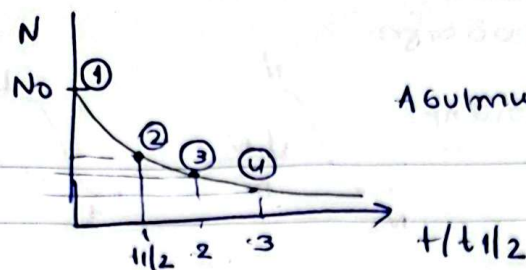
SOS: Ποια η φυσική σημασία του λ

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

2) Να δείχθει ότι $N = N_0 (1/2)^{t/t_{1/2}}$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \Rightarrow N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot t} \Rightarrow N = N_0 \cdot e^{-\ln 2 \cdot \frac{t}{t_{1/2}}} \Rightarrow N = N_0 e^{\ln 1/2 \cdot \frac{t}{t_{1/2}}} \Rightarrow N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}$$

Σχεδιασμάτων



Αβύττωτα χρόνο για x .

Ενέργεια (activity)

$$\left. \begin{aligned} A &= \lambda \cdot N \\ N &= N_0 e^{-\lambda t} \end{aligned} \right\} \underline{\underline{SOS}}$$

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow A = A_0 e^{-\lambda t} \quad \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad A = A_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{t/t_{1/2}}$$

Μ.Μ: $1 \text{ Bq} = 1 \text{ διάσπαση} / \text{sec}$

$1 \text{ kBq} = 1000 \text{ --} / \text{sec}$

$\text{MBq} \leftrightarrow 1 \text{ g}^{226}\text{Ra} \quad t_{1/2} \sim 1600 \text{ y (ισοτοπίων)}$
 GBq

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \mu\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^4 \text{ Bq} = 37 \text{ kBq}$$

$$1 \text{ mCi} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ Bq} = 37 \text{ MBq}$$

$\sim 10 \text{ mCi}$ για συνηθισμένη δόση (ταξίει 370 MBq)

SOP (A: όχι τον πληθυντικό, τον αριθμό-διάσπαση ανά μονάδα χρόνο) $27/11/24$

Άσκηση: Να βρεθεί ο αριθμός πυρήνων και η μέση δόση

1) ^3H $A_0 = 1 \text{ MBq}$ $t_{1/2} = 12,3 \text{ y}$

2) δόση ^{14}C $A_0 = 1 \text{ MBq}$ $t_{1/2} = 5730 \text{ y}$

1° Το $t_{1/2}$ σε sec οπωσδήποτε $1 \text{ y} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$
 $^3\text{H} \quad t_{1/2} = 38 \cdot 10^7 \text{ sec}$
 $^{14}\text{C} \quad t_{1/2} = 18 \cdot 10^{10} \text{ sec}$

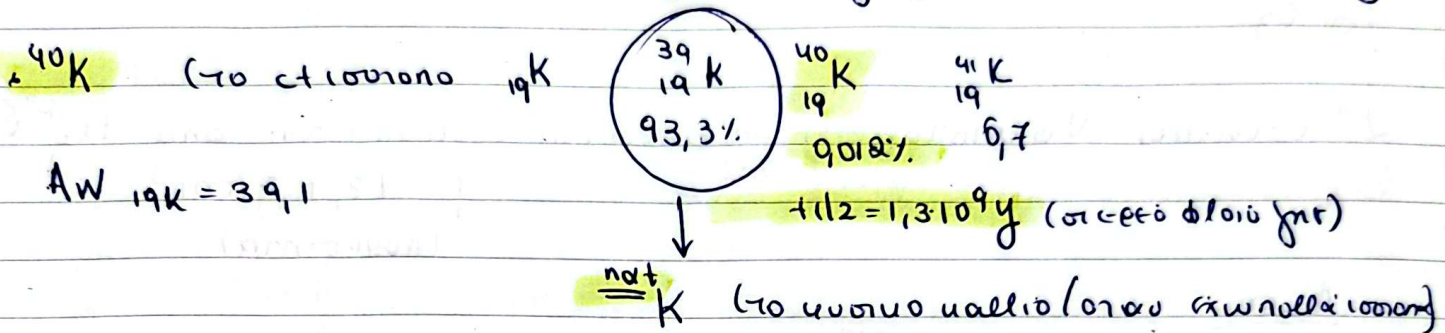
2 $\therefore \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$

3 $\text{Γερω } \lambda, A_0 \quad A_0 = \lambda N_0$

Για το ^3H $N_0 = 5,6 \cdot 10^{14}$ πυρήνες, $n = \frac{N_0}{N_A}$ (αρ. mole) $n = \frac{m}{A_r}$
 Α. $m = 0,28 \mu\text{g}$

Για το ^{14}C $N_0 = 2,6 \cdot 10^{17}$ πυρήνες ^{14}C $m = 6 \mu\text{g}$ $A_r = 14 \text{ g/mol}$
 μπορεί να συσχετιστεί με το ραδιενεργό υλικό.

Αφού ο ^{14}C έχει μέγ. $t_{1/2}$ αντί το ^3H , θα πάρουμε μεγαλύτερο αριθμό πυρήνων, συνεπώς μεγαλύτερη ποσότητα για να πάρουμε ίδια ενεργότητα.



Για ισότητα κηφιά δε μπορεί να διαχωριστούν, υπάρχει φυσικός τρόπος.
 Πόσα g K την ημέρα για μια ισορροπημένη διατροφή; $4 \text{ g/day}^{nat}\text{K}$

Sor

Η μπάνανα συμβολεί ραδιενεργία. Ποια είναι η ενεργότητα (A) της μπάνανας

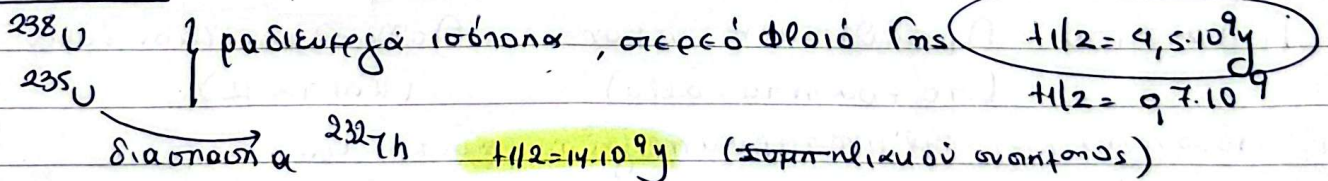
• 1 μπάνανα $\rightarrow 0,5 \text{ g}^{nat}\text{K}$ $A = ?$
 • Λύση: $A = \lambda \cdot N$, $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$ $t_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9 \text{ y} = 1,3 \cdot 10^9 \cdot 3,15 \cdot 10^7 \text{ sec}$

Από τα $0,5 \text{ g}$ το 9012% ^{40}K από $\frac{9012}{100} \cdot 0,5 \text{ g K} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ g}$

$n = \frac{m}{A_r} \Rightarrow n = \frac{6 \cdot 10^{-5} \text{ g}}{39,1 \text{ g/mol}} \Rightarrow n = 15 \cdot 10^{-7} \text{ mol}$ $N = 9,2 \cdot 10^{17}$ πυρήνες

Σε μαυροβιούρ πυρήνη δώσω μεγάλη διαφορά το N για 1-2 χρόνια
 $A = \lambda \cdot N = 15,6 \text{ Bq}$ (διασάσειν/s)

2^η Αδυναμία



Θύλακ: Η Ε που απελευθερώνεται κατά το α που γίνεται μια αντίδραση

$Q_{\text{value}} ^{14}\text{C} = 5 \text{ MeV}$

Εσωτερικό Γnr: διασπάσεις $\rightarrow$ σήμα $\rightarrow E \uparrow \Rightarrow$ μόνιμοι σε $\Theta \Rightarrow$
 $\Theta \uparrow \Rightarrow$ τήγμα εσωτερικό Γnr $\xrightarrow{40}$ εσωτερική Θ διασπασή

ο Fe $\rightarrow$ περιεργείται $\rightarrow$ μαγνήσιο νεό $\rightarrow$ εστρέφει τα σωμά-
 τδια από τον ήλιο και δε χτυπάει κατευθείαν πάνω μας ή στην atm γιατί
 θα απορροφώσε και το $O_3 \Rightarrow$ θα χάνατε την προστατευτική σκιά
 των O_3

SOS
 2^η (συνέχεια) Να υπολογιστεί η ελυσόμενη θερμική ισχύς από 1kg ^{nat}U
 Θεόρετο ότι έχουμε 100% ^{238}U $\rho = 18,7 \text{ g/cm}^3$
 (πυκνότητα)

Λύση
 $1 \text{ kg } ^{238}U \rightarrow \text{mol } ^{238}U \rightarrow N = \dots$ number ^{238}U
 (AW 100%)
 $A = \lambda \cdot N$ $\lambda = \ln 2 / t_{1/2}$ (σε sec $t_{1/2} ^{238}U = 4,5 \cdot 10^9 \text{ y}$)
 $A = 1,24 \cdot 10^7$ διασπ/s $1 \text{ year} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ sec}$

1 διασπασή $\rightarrow$ 1 σωματίδιο $\alpha \rightarrow$ ενέργεια $E = E_\alpha = 4 \text{ MeV}$

Άρα $E = A \cdot E_\alpha$ SOS: $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

$E_{\text{ελυσόμεν}} = 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ J/s}$ (Q)

$P = \frac{E}{s} = 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ W}$ (μικρή ισχύς)
 (ισχύς)

$1 \text{ kg} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ W}$ $1 \text{ ton} = 8 \cdot 10^3 \text{ W}$ (8mW)

Πιθανότητα: Προσθετιμότητα νοτών (το ένα ή το άλλο) Πολλαπλασιασμός νοτών (και τα 2)

ιδιότητα που θεωρείται χαρακτηριστική νοτών

$$P_i = \frac{N_i}{N}$$

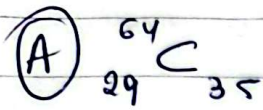
Οι πυκνότητες υπομεινών σε ένα είδος ραδιεν. διασπασή
 όμως 100 πυκνότητες $\rightarrow$ A διασπ. και ποιοι

$f_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_{tot}}$ ποσοι διασπαιναν με την τροπη i
 λ_{tot} ωρηρηρη οφιος

η πιθανοτητα του νυκτια να αουλοθιβετο σε οτο i

$f_1 + f_2 + \dots = 1$
 σορ: Αβυνη

$\lambda_{tot} = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$



$t_{1/2} = 12,7 \text{ h}$



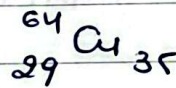
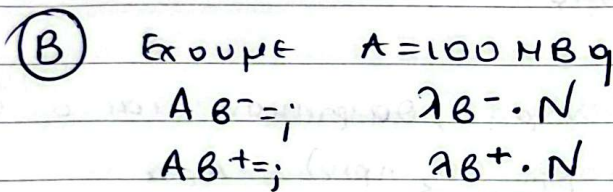
SOS

$f_{\beta^+} = 0,6$
 $f_{\beta^-} = 0,4$

$\lambda_{\beta^+} = ;$
 $\lambda_{\beta^-} = ;$

1) $\lambda_{tot} = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \text{ (sec)}$

2) $f_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_{tot}} \Rightarrow \lambda_1 = f_1 \cdot \lambda_{tot}$
 $\lambda_{\beta^+} = f_{\beta^+} \cdot \lambda_{tot}$
 $\lambda_{\beta^-} = f_{\beta^-} \cdot \lambda_{tot}$

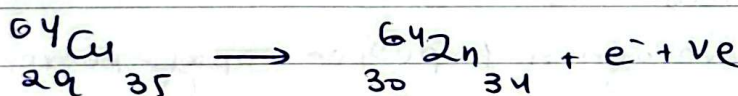
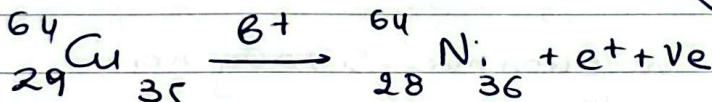


να βρω ποια η

$A = \lambda_{tot} N$

$\lambda_{tot} = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$

βριβυω

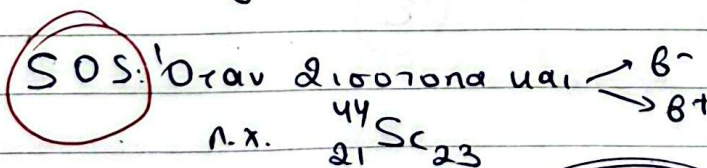


Να τα γιρω

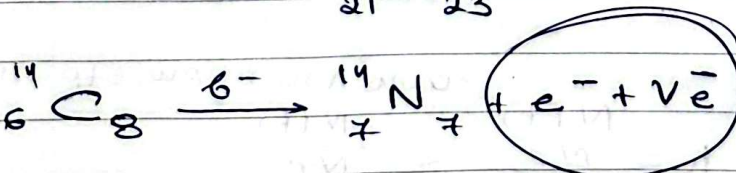
$\text{MBq} \rightarrow 10^6 \text{ διαση / sec}$

$\beta^- \rightarrow$ θεραπεινιο ποτο

$\beta^+ \rightarrow$ διαγνωσνιο (μεγεθορ οφου νου ουιτεωρηζω)



θεραπεινιο



εχει να αουητενη ενεργεια

$Q_{\beta^-} \sim T_e + T_{\bar{\nu}_e} + T_{\text{ιν}}^0$

$Q_{\beta^-} \approx 0,157 \text{ MeV}$

(καρζηματι να ειναι αουο)
 Q_{β}

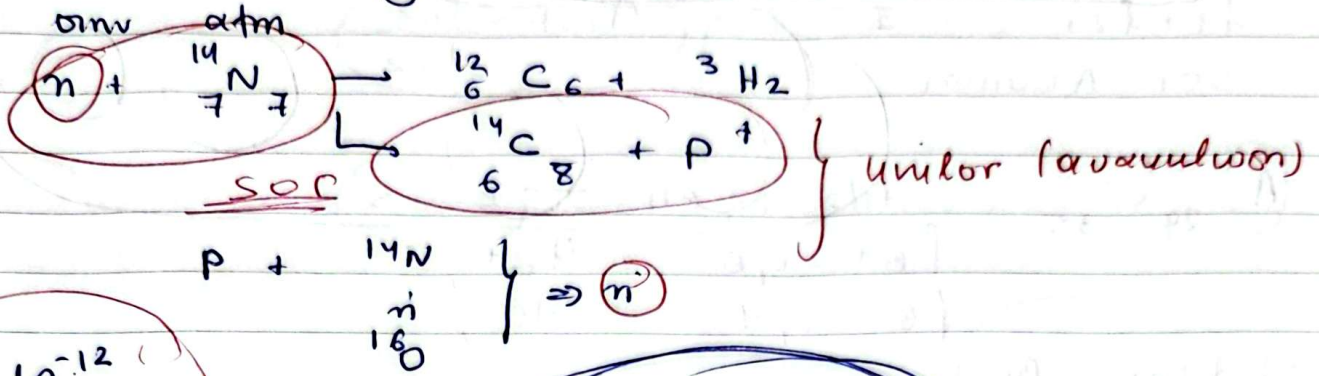
$Q_{\text{value } \alpha} = 5 \text{ MeV}$

(81)

Sor (για πιθανή ισοτοπία)

$$^3\text{H} \quad t_{1/2} = 12,3 \text{ y}$$

Το ^3H σχηματίζεται από την κοσμική ακτινοβολία



$$^{14}\text{C} \quad 10^{-12}$$

$$t_{1/2} = 5730 \text{ y}$$

Σημαντική έδωση

Ο ρυθμός παραγωγή ^{14}C = ρυθμοί διάσπασης
 άρα η περιεκτικότητα $\rightarrow$ ετ σιν ατμ
 ανά τους αιώνες (οχι αυξανόμενη ποσότητα)

$^{14}\text{C} \rightarrow$ απορρ. τα αέρια $\rightarrow$ γωα $\rightarrow$ ερμς. Όλα τα εβλια
 οηα ^{14}C με 10^{-12} περιεκτικότητα

Πριν 6.000 χρόνια $\rightarrow$ κολλησαν δέντρα, θαψηναν και ο ^{14}C
 παύει να αναπληρώνεται (με την απορρ. CO_2 πριν). Άρα
 απομονώνεται και διασπάται (MOND) με το ρυθμό
 $t_{1/2} = 5730 \text{ y}$.

$\rightarrow$ Σωτηρίτ ένα δέντρο που κολλησε 5730y πριν
 θα έχει τη μισή ποσότητα ^{14}C .

Τη βάση για τη ραδιοχρονολόγηση (ρυθμοί παραγ = ρυθμοί
 διάσπασης) $\rightarrow$ γωα / θάνατος μόνο διάσπαση $\Rightarrow$
 νόμος ραδιοεξτγού διασπ'θων

Ποσότητα $N_0 \rightarrow N$

$$\frac{N_0(^{14}\text{C})}{N(^{nat}\text{C})} = 10^{-12}$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\frac{N(t)}{N_r} = \frac{N_0}{N_r} e^{-\lambda t}$$

το ισοτόπιο αναφοράς ^{12}C

$$\frac{N(t)}{N_r} = e^{-\lambda t}$$

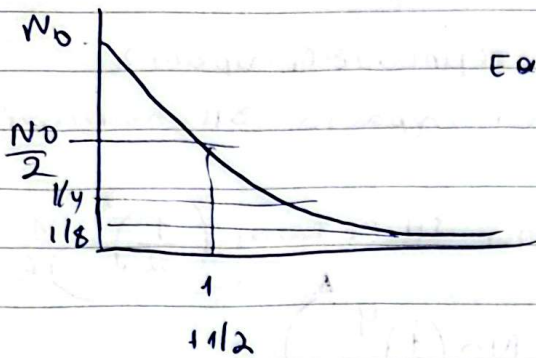
$$K = \frac{N(t)}{N_r} = \frac{N(t)}{N_r}$$

η αναλογία όταν απομονωθεί

$$k = e^{-\lambda t} \quad k < 1$$

Για να βρω το k πρέπει να βρω το λ $\frac{N(t)}{N_r}$

ο ^{14}C δεν προϋπάρχει; παραγματοποιείται και υποκαθίσταται συνεχώς με β-διάσπαση



Ευθέρω ποσο $N \rightarrow$ βρίσκω το t
 $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}$

$$k = e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln k = -\lambda t \Rightarrow \ln k = -\lambda t \Rightarrow t = -\frac{\ln k}{\lambda}$$

Για $(-)$; διότι $k < 1 \Rightarrow \ln k < 0$ άρα ένα $(-)$ ώστε η συνολική ποσότητα $t > 0$.

Η ραδιοχρονολόγηση πολύ δύσκολη με και υπόθετο ραδιενέργειας

Άσκηση: δείγμα δείτρου ^{14}C $\leq 10\text{mg}$ (αρχή)

Ενέργεια δείτρου $A_0 = 20$ διασπάσεις/μέρα

Ερωτήσεις: 1) Πόση ενεργότητα δείτρου (A) σε Bq (διασπ/sec) από διασπάσεις/μέρα. $\frac{20 \text{ διασπ.}}{86,400 \text{ sec}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Bq}$

2) Αριθμός πυρήνων ^{14}C που έχει το δείγμα $t_{1/2} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ sec}$
 $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{6 \text{ sec}}$

$A = \lambda \cdot N \Rightarrow N = \frac{A}{\lambda} \rightarrow \text{Bq}$ για τη δεδομένη στιγμή $N = 6 \cdot 10^7 \text{ πυρ. } ^{14}\text{C}$
 $\rightarrow t_{1/2} \text{ σε sec}$

3) Να βρω το λ ποσό $\frac{N}{N_r} \rightarrow 6 \cdot 10^8$ πυρ ^{14}C $\leftarrow N_r$
 χρονο 10mg (ηχο)

$n = N/N_r \Rightarrow n = N/N_A \rightarrow N_r = 5 \cdot 10^{20} \text{ πυρ. } ^{12}\text{C}$

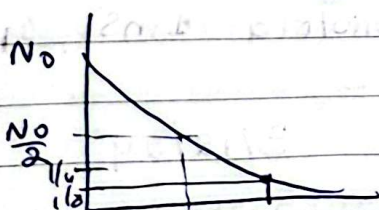
Άρα $\frac{N}{N_r} = \frac{6 \cdot 10^7}{5 \cdot 10^{20}} = 1,2 \cdot 10^{-13}$

4) $t = ?$ ποσο πρώτο δείγμα;

$$t = -\frac{\ln k}{\lambda}$$

$$k = 1,2 \cdot 10^{-13}$$

το λ το περιβρίπαιω $t = 17.500 \text{ y.}$ πρέπει να βγει τεταμένο τον $t_{1/2}$, έχω η ηραση ποσ λ $\rightarrow$ $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$



ορια ευαισθησία: $0,1 t_{1/2} = 10 t_{1/2}$ $\rightarrow$ $500 \text{ y} - 57300 \text{ y}$
 σημαίνει ότι είναι και η παλαιότητα $\rightarrow$ $500 \text{ y} - 57300 \text{ y}$
 ορια. (η ουσία καταναλώνεται συνεχώς)

$t_{1/2}$ $\rightarrow$ υποκαθιστάται.

$^3\text{H} - \text{H}_2\text{O}$ - κρασί Ραδιοπρωτοβόληση με ^3H $t_{1/2} = 12,3\text{y}$
 $1\text{y} = 3,15 \cdot 10^7\text{s}$

Αδυνατότητα: Ενεργότητα ① $^3\text{H} (\text{H}_2\text{O})$, $A = 0,37\text{ Bq/L}$, ποιον ο αριθμός

πυρήνων ^3H (N) σε $1\text{L H}_2\text{O}$

② Πως μπορούμε να υπολογίσουμε ραδιοπρωτοβόληση (μουνάλι, υραβί)
 παλαιό κρασί $\rightarrow$ βάρβι $\rightarrow$ αποσυντίθεται αργά το ^3H υπομένει
 σε ραδιενεργό διάσπαση

(Αφού $t_{1/2} = 12,3\text{y}$) σε $50\text{y} \rightarrow$ ο αριθμός ^3H θα είναι $\left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{1}{16}$

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}} \Rightarrow N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{50}{12,3}} = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^4$$

③ Ποια θα είναι η A μετά από 50 years . $A = A_0 \cdot \frac{1}{16}$

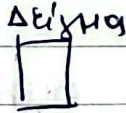
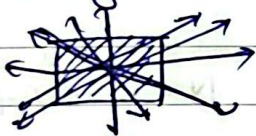
Εχουμε $A_{\text{δείγματων}} = 0,037\text{ Bq/L}$ $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$
 $A_0 = 0,37\text{ Bq/L}$

το κρασί
 έχει 10C
 αλλά η
 μισότητα
 είναι
 10y
 80y

Δόση ραδιενέργειας (ιονίζουσα $h\nu$)

(Η ραδιενέργεια που θα απορρ έχει να κάνει με τη δόση)

Ενέργεια: μετρούμενη βιολογικά από ένα δείγμα.



Ορισμός: $D = \frac{\text{ΕΝΕΡΓΕΙΑ}}{\text{ΜΑΖΑ}}$

ραδιενεργό

τα βιολογικά που απορροφούνται συνιστούν

ληγή

Δόση ραδιενέργειας

1J/kg (μεγάλη ΜΜ)

προκαθορισμένη

M.M.

S.I.

1 Gy (gray)

1e^- ενέργεια 1MeV ιονίζει 10^6 δεσμούς
 ο χημικός δεσμός $1-2\text{eV}$

ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΔΟΣΗ (D_e)

$D_e = D \times WR$

← παραγοντας
 επιρροής
 (risk factor)
 και η

$WR = 1$ για e^-, γ

$WR = 10-20$ για σωματίδια α (βαριά σωμα-
 τείδια, προκαλούν επιπλοκές πιο γρήγορα)

M.M.(S.I.): 1 Sv (sievert)

$1\text{ Sv} = 1\text{ Gy} \times WR$

μεγάλη μονάδα $\rightarrow$ υποβίβασμα 1mSv , $1\mu\text{Sv}$

⊛ υπη-ανώτερη ιδιότητα $e^- + e^- \rightarrow 2\gamma$ εξαγωγή

3/12/24

Εστω β^- διάσπαση, με ενέργεια βιολογικά β η η ενέργεια των

2MeV

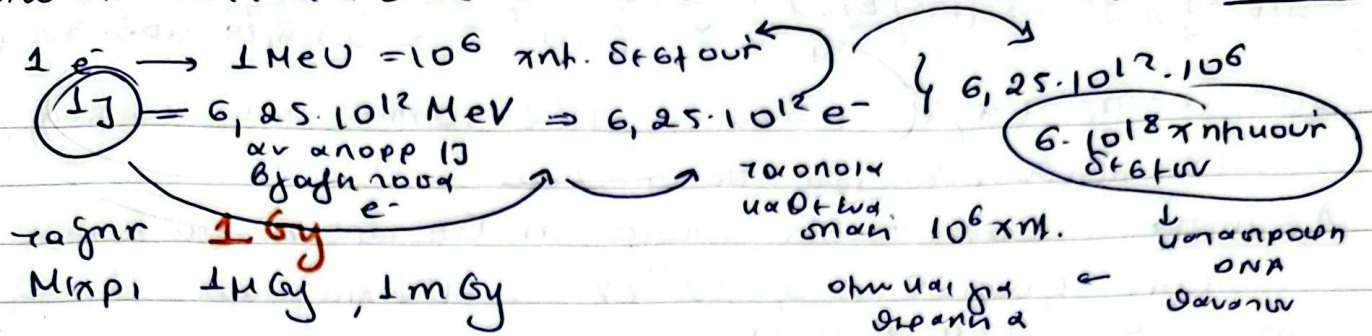
$1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{J}$

$1\text{MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13}\text{J}$

(94)

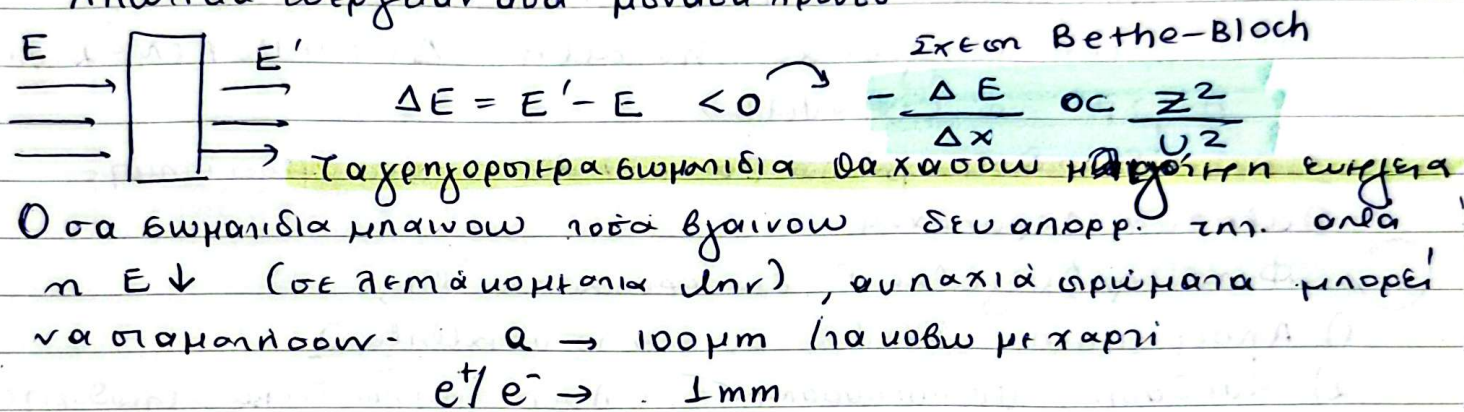
αποθήκη μεγάλης ποσότητας

Εστω ότι απορροφά $E=1J$ από τα e^- που περνούν στο δείγμα σε 1

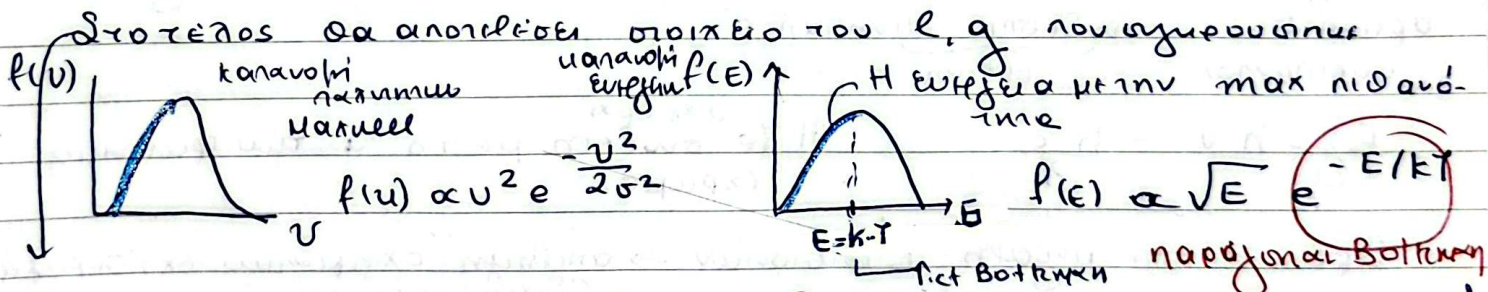


Σωματίδια ευνοη $\rightarrow$ ιονίζουσα ην $\rightarrow$ επιπλέον ιονισμός στην υλη
 Αλλάση αλληλεπίδρασης με υλη

- (A) Φορτισμένα σωματίδια α (He^{2+}), e^- , p^+ , p^- , e^+ , μιονία μ^- , μ^+ , π^+ , π^- (π⁰ αφορτισμένο) - μιονία (δεδομένη ιόντων από επαναχρησιμοποιούμενα σωματίδια)
 Απώλεια ενέργειας ανά μονάδα μήκους



- (B) Νετρόνια : διασύνουν δεσμούς cm / γενοί
 Τα p^+ ηλίου $\rightarrow$ ανιδράσει θερμότητα α_{th}
 Τα n^{000} p^+ αλληλεπιδρών με πυρηνική ύλη χάνει σημαντικό ποσό E.
 Το η συγκρούεται βωχία μπει να πάρει μια μέση Εκτιμώμενο
 όχι $Vn=0$, ολα παίζα σε ταλάνωση



Τα νετρόνια που έχω τρεθεί σε θερμική ισορροπία με τα
 υλικά που βρίσκονται στο χώρο θερμικά νετρόνια
 ίδια ενέργεια με τα βωχία που υλικά που βρίσκονται.

Η πιο πιθανή ενέργεια $E_m = kT$ $k = 8.6 \cdot 10^{-5} \frac{eV}{K}$
 $T = 300K$ (θερμ. εργαστήριο)

- (85) $E_m = 0.025 eV$ / Τα η που σταματήσαν πω αυτή την ενέργεια

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{E_k \cdot 2}{m}} \approx 7 \cdot 10^{-6} \text{ C} \sim 2 \text{ km/s} \text{ ιαθροσισμική}$$

Το φρεναριστό α σε μSec $t_{1/2} = 10 \text{ min}$ των νετρονίων,
 δαδο πληθυσμός τους θα υποδιπλασιάζει

Αδυναμία : Εάν $T = 3 \text{ K}$ ποια η E_m των η και ποια η v ;
 $E_m = 0,00025 = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ eV}$ $v \downarrow$ πιο μικρή $v_{\eta} = 0,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$
 $m_{\eta} c^2 = 939,3 \text{ MeV}$

$$\frac{1}{2} m c^2 \left(\frac{v^2}{c^2} \right) = \frac{1}{2} m c^2 \beta^2$$

β^2 (το υψόβημα την γαλματάρ των φωτονίων)

Το η σημαίνει παραγόμενα ιονίζουσα $h\nu$ (1m παρακάτω / μεγάλες διαστάσεις για να το σκεφτούμε)

Συστατικό ιονίζουσα $h\nu$ αλλά ΔΕΥΤΕΡΟΤΕΡΗΣ

$n \rightarrow p^+$ η (σπάρδαλη)

$E \rightarrow$ δίνει p^+ που θα προκαλέσουν επιπλέον ιονισμό

Θαλασσο, Αεροπλοΐα

Γ Φωτόνια, μεγάλης E διακτείνω την ύλη,

1) Απορρόφηση $\gamma\text{-Vis}$ αν έχει το κατάλληλο λ.

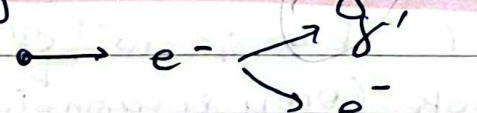
2) Διείσδυση γV και παρακτα $\rightarrow$ λύση πηκτικού δακτύ $\rightarrow$ ΕΑΕΘ-ρίγες
 ($E \uparrow$ ιονιστικό τοπίων)

α $\gamma + A \rightarrow e^- + A^+$ ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ
 φωτόνιο άτομο $\downarrow$ σταυπυαί το μέταλλο/πιαχυαύ $\rightarrow e^-$ και οπέρ
 προύπαρξη στο άτομο

$E_{\gamma} = B E_e + T_e$ Αρχή διατήρησης ενέργειας
 αρχική E σπώδση κινητική e^-
 ευσήματων T_e

$E_{\gamma} = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ $H T_e$ σπώδση με το λ των φωτονίων (χρώμα)

Βραδύ: όχι μεγάλη E φωτονίων $\rightarrow$ απλήση σπώδση όχι χρώμα
 $\nu \uparrow \Rightarrow E \uparrow$ (διακτείνωτο)

β $\gamma + e^- \rightarrow \gamma' + e^-$ Φαινόμενο Compton
 Στο φωτοηλεκτρικό το φωτόνιο (γ) πρίσεται και δίνει ενέργεια στο p^+

Στο Compton εξαμολωθή να υπαρκτερο φωτόνιο αλλά τε $E \downarrow$ για η
 Επει δύνει E στο e^-

8) Διόσην γέωση (υψηλός E)

Όταν $E_{\text{φωτονίου}} > 2m_e c^2$

1,022 MeV



αυθεντία

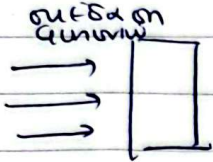
2γ (εξισότιση
μν-αντιμν)

$(m_e c^2 = 0,511 \text{ MeV})$

412124

Ασχολούμαι για λόγους οπλισμας με την εσωτερική σπινάδα
Όσο η E ↓ ⇒ εξωτερική σπινάδα

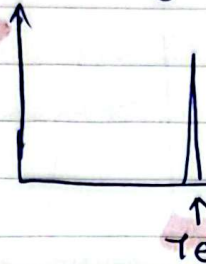
Ομωρ μνμνμνμνμν $E_{\gamma} \rightarrow$ εσωτερικής σπινάδας



αυ βυλκθού
δε δε βγαν
τα αλφά βγαν

φάσμα κατανομή

$P(E)$



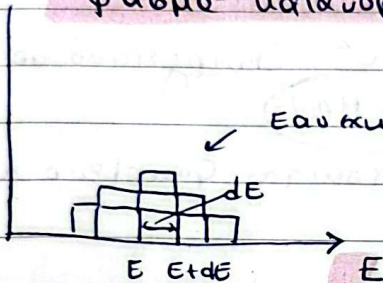
$$T_e = E_{\gamma} - \beta E e^0$$

οφέα
δρατι
μονοκρυσταλλική
στέση

βυλκθού
αρχή

εργεα δίσκων

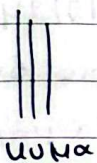
$\frac{dN}{dE}$



Εάν κω πληθυσμό φωτονίων

ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ

Το φως απορροφάται



0
βωμ

V

=

V'

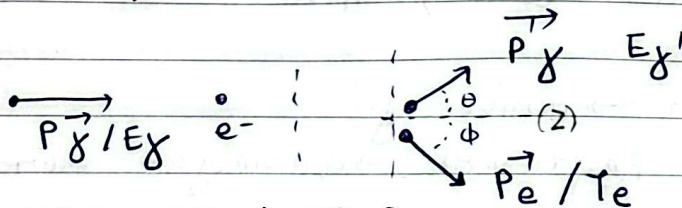
υψηλός κίνηση γ
παρεβαλναιτο
βωμνιδίο.

Σε φωτονία
υψηλότερη E
απλ UV-VIS
απλ X-ray
κατανομή

Compton

1923

βωμνιδιού συντελεστή



Τα φωτονία μερικώς πλνθν
ελ και παν

$$P = \frac{E}{c}$$

Το φως σε δαγεται

$$E_{\gamma} = E_{\gamma'} + T_e$$

$$p_{\gamma} = p_{\gamma'} + p_e$$

$$E_{\gamma} = \frac{m_e c^2}{2}$$

$\frac{dN}{dE}$

Εάν
ανιχνεύει

Μονο
για Compton

$E_{\gamma} - m_e c^2$

E_{γ}

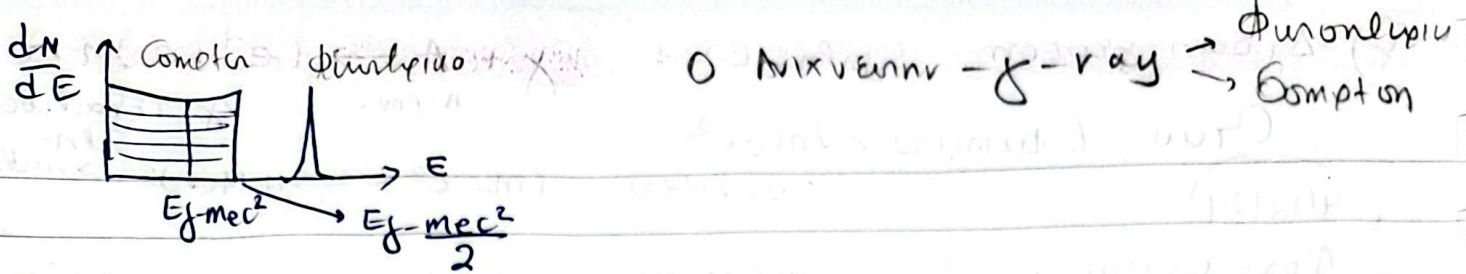
$E(e^-)$

87

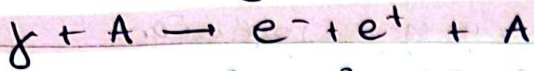
Αν μονο Compton ⇒ σωφές φάση

βελτιών

180°: Η max ενεργεια που
μπαλκναι το e- $E_{\gamma} - \frac{m_e c^2}{2}$
(οριοθεσιφδαση)



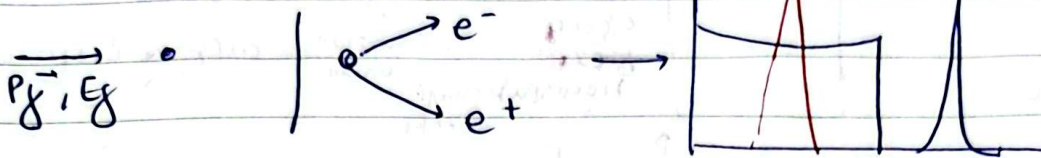
Δίδουν γένεση



1 φωτόνιο υφάνα σα πρηνά

$E_\gamma = 2mec^2 + T_{e^-} + T_{e^+}$

2 μορφή που παρηνάσαν



θα αναγραφεί $T_{e^-} + T_{e^+}$

Για να γίνει δίδου γένεση

$E_\gamma > 2mec^2$ (ενεργειακό κατώφλι)

1.022 MeV

SOS Εαν $E_\gamma = 1.33 \text{ MeV}$

να σχεδιασώτα φαινόμενα

αλβανών κώρα

Αν $E_\gamma = 0.622 \text{ MeV}$ οχι δίδου

6/12/24

Μικροβανν

Geiger-Müller (γ, X-ray) τα α σε υαίλοιο θαφτό

Πληρη απρωματογία γελοπρία ην περνα από μάρ

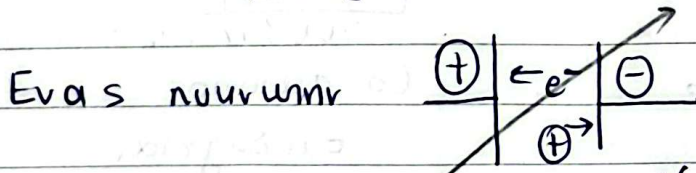
Υποβαθρο: α) υοστική ην, β) μισα μεσα από υηρία

Εδαφον δομική υηρία, υηρία

CS → ανοιτρο, υηριο → αμίνερ γ

α) φύλλα Pb βίχονρο Pb το υοβεί → ό,τι ανουχεται από το υοβαθρο

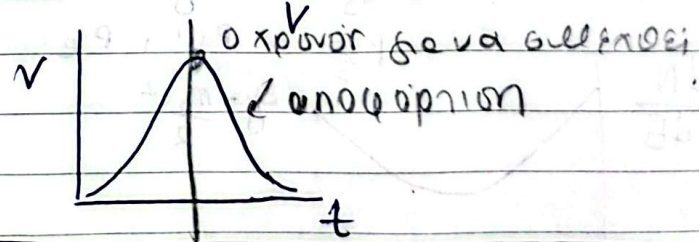
ΓΥ Pb; Μεγάλη διατομή στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο



Ενας πυρηνωτη

$C = \frac{Q}{V} \Rightarrow Q = C \cdot V$

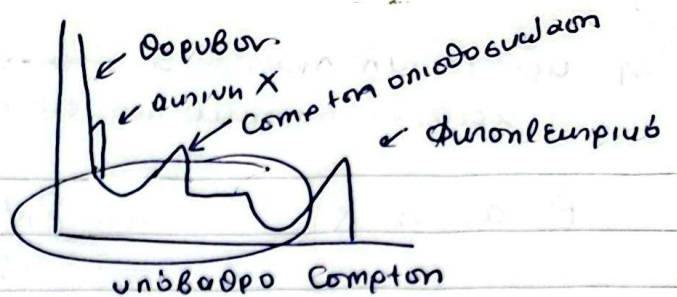
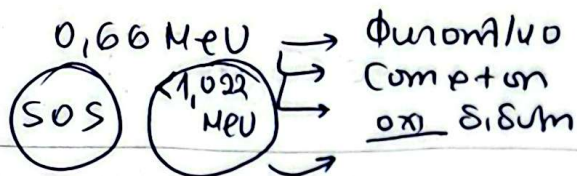
SOS: κυμά θα. 3.



Το h (υγος) πάντα ίδιο

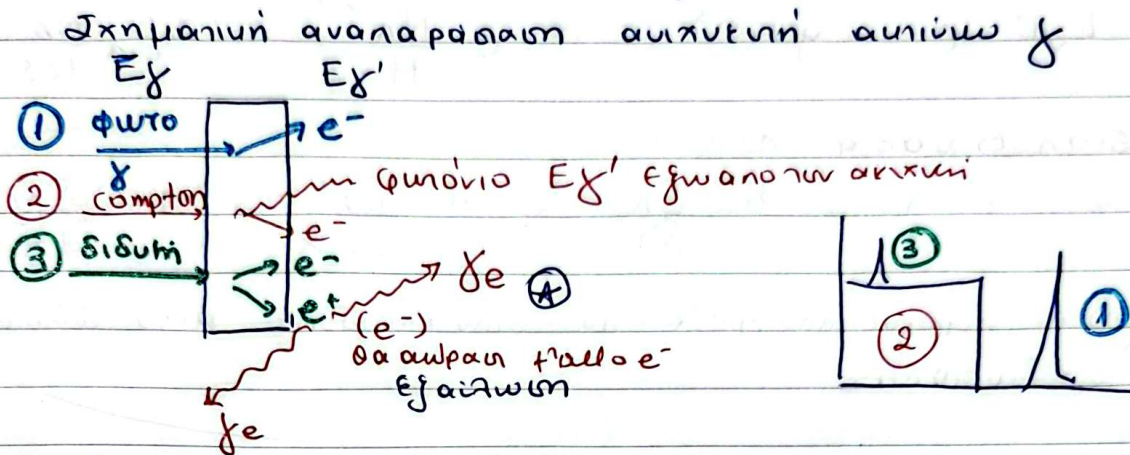
μικρότερο θήμα για ηχητικότητα Α (ενεργεια)

KCE : Βαζω φάκρο για να υέγω e^- 90%
γ 10% 0.00067



Τα σωματίδια α αλληλεπιδρούν με το ηλεκτρονιακό νέφος και χάνουν ενέργεια E . (σπρώξεις)

(β' μέρος 7ης οπής)



④ Αν ↑ μέγεθος ανιχνευτή μπορεί να να λιασώ την 1, 2 γe

Μικρός ανιχνευτής γ: όταν διαφεύγουν γe την εξάτωση αλλά και τον Compton διαφεύγουν

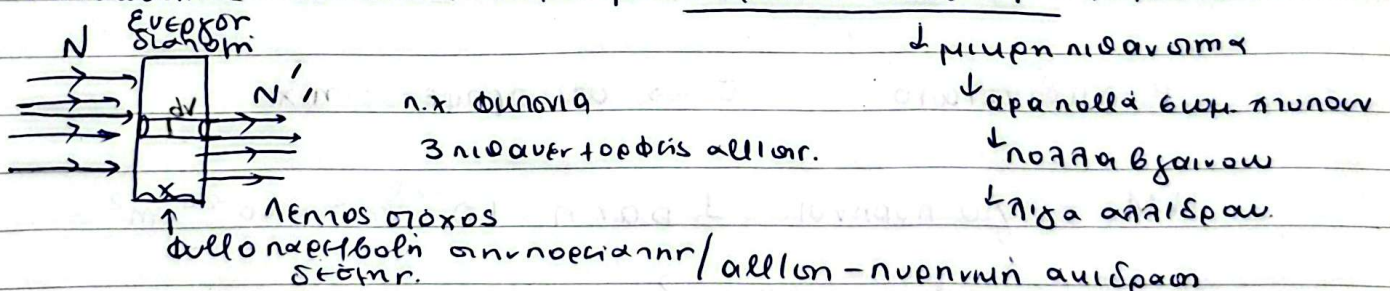
Εάν λίγο μεγαλύτερος ανιχνευτής ⇒ πιο πολύ κοντά γα δe γ

Με βδομιον: 1 και 2 γe την διδωμ. (υποαφραφω το 0,511)
Μεγαλο: όλα δe ηie υπορυνή (σε 2-2)

Ανιχνευτή ιονίζουσα $h\nu$ αεριο
σπινθηρισμοί
αλμυρο

(φωλ α διο)

Η πιθασμο να λαβε πωρα μια πυρηνική αιδραση 10/12/24



$$\Delta N = N' - N < 0 \quad P = -\frac{\Delta N}{N}$$

πιθασμοτή N

Η P α x (πάχος στοχου) αν $x' = 2x \Rightarrow P' = 2P$ (89)

n : αριθμητική πυκνότητα του ~~α~~
 ο αριθμός πυρήνων του στοχού ανά τετραγωνό ογκό

$$P \propto n \cdot x \quad n = \frac{\delta N}{\delta V} = \frac{\text{αριθμοί mol} \cdot N_A}{\text{όγκο}} = \left(\frac{m}{Ar} \right) \cdot \frac{N_A}{\text{όγκο}}$$

$$n = \rho \frac{N_A}{Ar} \rightarrow \text{υαλινού στοχού Ni, Fe}$$

αν μόριο $n = \rho \frac{N_A}{Mr}$

π.χ. H_2O $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$

$n = \rho \frac{N_A}{Mr} \rightarrow n = \frac{1 \text{ g}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{N_A}{18 \text{ g/mol}}$ μόριο $6,023 \cdot 10^{23}$

Φυσική σημασία $n \cdot x$?

$$dV = \delta S \cdot x \quad n = \frac{\delta N}{\delta V} \Rightarrow n = \frac{\delta N}{\delta S \cdot x} \Rightarrow n \cdot x = \frac{\delta N}{\delta S} \rightarrow$$

→ Ο αριθμός πυρήνων που προβάλλονται στην επιφάνεια ΜΙΑΣ διαστάσεως όχι 3 διαστάσεις.

Αν $x' = 2x \Rightarrow$ διπλασιάζει αριθμό πυρήνων θα προβάλλονται

↳ Εξηγεί γιατί όταν $x \uparrow$ η Ραδιόρ $\uparrow \Rightarrow$ Επεδρή προβάλλονται
 ($n \cdot x$) περισσ. πυρήνες

$$P = \sigma \cdot x \cdot n$$

↓
Ενεργή διατομή

Ποια η φυσική σημασία σ

$$\sigma = \frac{P}{x \cdot n}, \text{ παρανοήτηση } x \cdot n = 1$$

⇒ $\sigma = P$ άρα η ενεργή διατομή εκφράζει την πιθανότητα αντίδρασης υπό τις συνθήκες ότι $n \cdot x = 1$, δηλ. 1 πυρήνας ανά μονάδα επιφάνειας
 (την πιθανότητα αντίδρασης όταν στη μονάδα επιφάνειας του στοχού έχω 1 πυρήνα)

$P \rightarrow$ αδιαστάσιο

$\sigma \rightarrow$ αμειρομερ $n \cdot x$

ΜΜ σ για πυρήνα $1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2 = 10^{-24} \text{ cm}^2 = \dots$

$$10^{-28} (10^{15} \text{ fm})^2 = 100 \text{ fm}^2 \text{ (η διάμετρος ενός κοσμοβαριόν πυρήνα)}$$

(90)

Θέλω $A' = 10 \text{ XA}$ το άκιστον $\begin{cases} 1) \text{ αύξηση } i \\ 2) \text{ αύξηση } \tau \text{ συνιστούντων} \\ 3) \text{ μεταβολή } \lambda \text{ ακτίνων} \end{cases}$

ΟΧΙ την ενέργεια διατομή $\Rightarrow$ παρατηρούμε την συμπίεση αμύδρασης

12/12/24

Λεπτο σκόρο $P = \sigma n x$ $dP = \sigma n dx$ (γραμμική σχέση)

Παχύ σκόρο : (εξθετική σχέση) $\int_{N_0}^{N_f} -\frac{dN}{N} = \int_{x_0}^{x_f} \sigma n dx \xrightarrow{\text{ολοκλήρωση}}$

$$\int_{N_0}^{N_f} \frac{dN}{N} = -\sigma n \int_{x_0}^{x_f} dx \Rightarrow (\ln N)_{N_0}^{N_f} = -\sigma n x_f \Rightarrow \ln \frac{N_f}{N_0} = -\sigma n x_f$$

$$N_f = N_0 e^{-\sigma n x_f}$$

εξθετική $\downarrow$ της προσήκουσας ελαστικότητας
βρίσκω παχύ σκόρο με απόσταση x .

Νόμος ραδιενέργειας διάσπασης

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \rightarrow [\dots] N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\mu = \sigma n$$

γραμμικός συντελεστής εξασθένισης
ηθάνωμα αμύδρας ανεξάρτητα λ ή μ

$$\frac{dP}{dx} = \sigma n$$

$$\bar{x} = \frac{1}{\mu}$$

μέση ελεύθερη διαδρομή / το μ που του δανεί

η λ δίνει αλληλότητα να σταματήσει

SOS: Πόσο παχύ το λ ή μ για να σταματήσει για συμπίεση
όταν

$$\mu = \sigma n$$

$$x > \frac{1}{\mu}$$

Παραγωγή τρέλανο

Λεπτός σπορ

$$\rho = \sigma n x$$

$$n = e \frac{NA}{AW}$$

$$n_x = \rho x \frac{NA}{AW}$$

Παχύρ σπορ

$$\frac{d\rho}{dx} = \mu = \sigma n$$

$$\bar{x} = \frac{1}{\mu}$$

$$N = N_0 e^{-\sigma n x}$$

Νόμος παδ. δρασ

$$- \frac{dN}{N} = \lambda dt$$

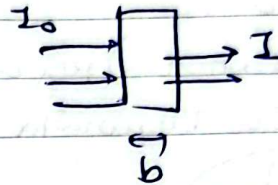
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

Lambert - Beer (απορρ φωτός από σπορ)

$$A = \epsilon b c$$

$$T = \frac{I}{I_0} \text{ διαπεραση}$$



$$A = -\log T = -\log \frac{I}{I_0}$$

$$I < I_0 \quad \log < 0 \Rightarrow \text{δύναμη (-)}$$

$$-\log \frac{I}{I_0} = \epsilon b \cdot c \Rightarrow \log I/I_0 = -\epsilon b c \Rightarrow \frac{I}{I_0} = 10^{-\epsilon b c} \Rightarrow I = I_0 10^{-\epsilon b c}$$

$$I = I_0 \cdot (e^{\ln 10})^{-\epsilon b c} \Rightarrow I = I_0 e^{-\underbrace{\epsilon (\ln 10)}_{\sigma} \underbrace{b \cdot c}_{\frac{1}{n}}}$$

Ενεργειο δραστι all/σως φωνων

① σφαιρικη ορ $\propto Z^5$
 $E_\gamma \neq 12$

② σcompton ορ $\propto f(E_\gamma)$

③ σpair ορ $\propto Z^2 \ln\left(\frac{E_\gamma}{m_e c^2}\right)$

(μεγαλτερ Ε)
 $E_\gamma \uparrow \Rightarrow \sigma_{pair} \uparrow \Rightarrow \sigma_{phot} \downarrow$

Μεγαλυτερ ενεργειο δραστι (σ) $\Rightarrow$ ηπειροσ αλλοις $\Rightarrow$
υψηλοτερη προσοαωα Pb $\gg$ Al (για φ)

Τα χρησιμοποιώ ως μοναδία των αλληλεπιδράσεων;

Τα ε' μιλώ αν νη και φρενάρω, δαδ παύω ευήθεια.

- Αν έχω υψηλές ευήθειας δαδη Γουόου

Ποια η πιθανότητα αλληλεπιδράσεων με νη;

Ποιο η συνολική ευήθης δαδη πιθανότητα αλληλεπιδράσεων με νη; $\sigma_{tot} = \sigma_{photo} + \sigma_{comp} + \sigma_{pair}$

(οχι ταυοχρημα)
αυροισμα

Γιατι χρησιμοποιώ για προσοδια απο δαδης φωτονι Pb, Al ;

Γτ βασικά μιλώ;

1) επειδη το σ_{photo} μεγαλο η A ειναι

2) αν χρησιμοποιώ ως μοναδία ειναι ειναι για το Z^2 (αυξανεται τα εωμονδια)

3) Τα η αλληλεπιδράσεις ελαστικά με τους πυρήνες (φρενάρω)

Θερμικά νηονια / θωρακιστη απο η

Η μεταφορά P, E πολυ αποκατασταται

η

P

$\Delta E \approx 0$

πολυ μεγαλη ποσότητα $\rightarrow$ σχεδον ελαστική

Γωνια

$$\theta = \frac{L}{r} = \frac{2L}{2r}$$

Αδισιαστο συντηρητισμο

$$r = L \quad \theta = 1 \text{ rad}$$

$$\frac{\partial}{\partial r} = \frac{S}{r^2}$$

σε ερε γωνια

~~σε ερε γωνια~~

$$\rightarrow \frac{\partial}{\partial r} = \frac{S}{4r^2}$$

$$\frac{\partial}{\partial r} = \frac{S}{4r^2}$$

Μοναδα: αν $S = r^2$ τοτε $\frac{\partial}{\partial r} = 1 \text{ steradian (sr)}$

$$\frac{\partial}{\partial r} = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi \text{ sr}$$

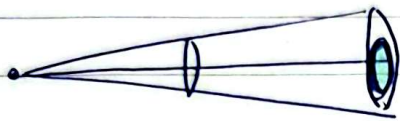
Ανιχνευτής

ή ανιχνευσία
ισότροπη ηγή: τα σωματίδια υίνονται ευθεία και υίνονται το $r \uparrow$ τα
σωματίδια ανοίγουν

Στερεά γωνία $\Omega_d = \frac{S_d}{r^2}$

Επιφάνεια ανιχνευτή $\approx$ επιφάνεια
σφαίρας

SOS
Σε $r' = 2r$, αν ο ανιχνευτής λάβει από r σε $2r$ ποσά
σωματίδια θα δει



Διακτω σε 4π μέτρο (μικαύλια)
θα υίνεται το $1/4$

Ποιο το φυθίνο μέτρο που θα του δείξει τη μνάνση;

Σημειώ, Σε $r' = 2r \rightarrow \Omega_{d'} = \frac{S_d}{r'^2} = \frac{S_d}{(2r)^2} = \frac{S_d}{4r^2} = \frac{1}{4} \frac{S_d}{r^2} \Rightarrow$
γινώ

$$\Omega_{d'} = \frac{1}{4} \Omega_d$$

SOS: σχέση ανιχνεύου τήρας

Όλη η σφαίρα $\Omega = 4\pi$
μνάν $\Omega' = 2\pi$

Η στερεά γωνία είναι το μνρό
την (ποσότητα) χώρου που υνολογείται
ενα ανιχνεύου από μια συγκεκριμένη
ομντή

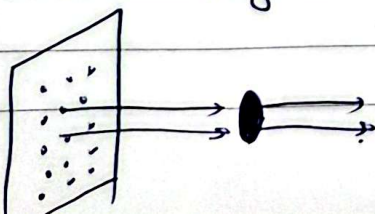
Σημειώνη ηγή - ισότροπη ευνομή

- 1) Φωτεινή ηγή (αστεράς - τεγάλη απόσταση σε Ηας από ονείανη,
αατηνρας σε τεγάλη απόσταση)
- 2) Σημειώνη ηγή ηχου
- 3) ηγή διακυσος (σε Η₂Ο κρωσιών τα μορίε πανού στο ε
ερωμα, το τορία διακτοπαί λουο υί ες ης υατηλώσαν)
- 4) Ραδιενεργη ηγή (οείαν)

Ευκαμνν ηγή

αυ ευδιακτο ηγή $\Rightarrow$ υίδυο χείρς

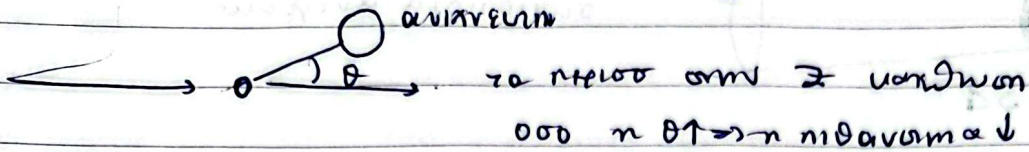
2D πολυμεγάλη ηγή



Αποτέλλεται από πολλή ηγή υισοίτες
; δια ευνομή $\Rightarrow$ όδες ευνέκων σωματίδια
Είτε ο ανιχνευτής σε r ή $2r$ θα δει
τον υίδο υείδο σωματίδων

(25)

Στην πυρηνική αντίδραση έχουμε γυμνάση κατανόησης



Ευρωπαϊκή φαινία Coulomb

~~~~~ ΤΕΛΟΣ ~~~~~