11/10/2022 (~400πΧ) (~1800μΧ)

Άτομο: Δημόκριτος, Avogadro, Dalton (1η ατομική θεωρία)

- τα χημικά στοιχεία αποτελούνται από άτομα τα οποία είναι αδιαίρετα κ' όμοια
- χημικές ενώσεις: συνδυασμοί ατόμων με λόγο απλών αριθμών
- χημικές αντιδράσεις: αλλαγή χημ. ενώσεων όπου έχουμε ανακατανομή των ατόμων

(~1860) Mendeleev-Mayer, 1ος Π.Π. ~63 στοιχεία

1897 Thomson, ανακάλυψη e^-

1896 Beguerel-Curie x2, ανακάλυψη ραδιενέργειας

1911 Rutherford ανακάλυψη πυρήνα

1913 Bohr ατομικό πρότυπο

1920 Rutherford, υπόθεση ∃ n

1939 Chadwick, πειραματική ∃ n

1930-1940 γνώση δομής πυρήνα

1942 πλανητικό πρότ. ατόμου Fermi 1ος πυρηνικός αντιδρ.

1963 μοντέλο φλοιών πυρήνα

Z= ατομικός αριθμός
N= αρ. νετρονίων
$A = Z+N$ μαζικός αρ. αρ. νουκλεονίων
$^{A}_{Z}X_{N}$

νουκλεόνια: p κ' n

Χημικά στοιχεία: $Z = 1-83$ στοιχεία με σταθ. ισότοπα (εκτός $_{43}Tc$, $_{61}Pm$)

$Z=90$ (Th) κ' $Z=92$ (U) μακρόβια (θεωρ. σταθ) ισότοπα

$t_{1/2} = 14\cdot10^9 y$ ^{232}Th ^{238}U $t_{1/2} \sim 4,5\cdot10^9 y$ (99,3%)

^{235}U $t_{1/2} \sim 0,7\cdot10^9 y$ (0,7%)

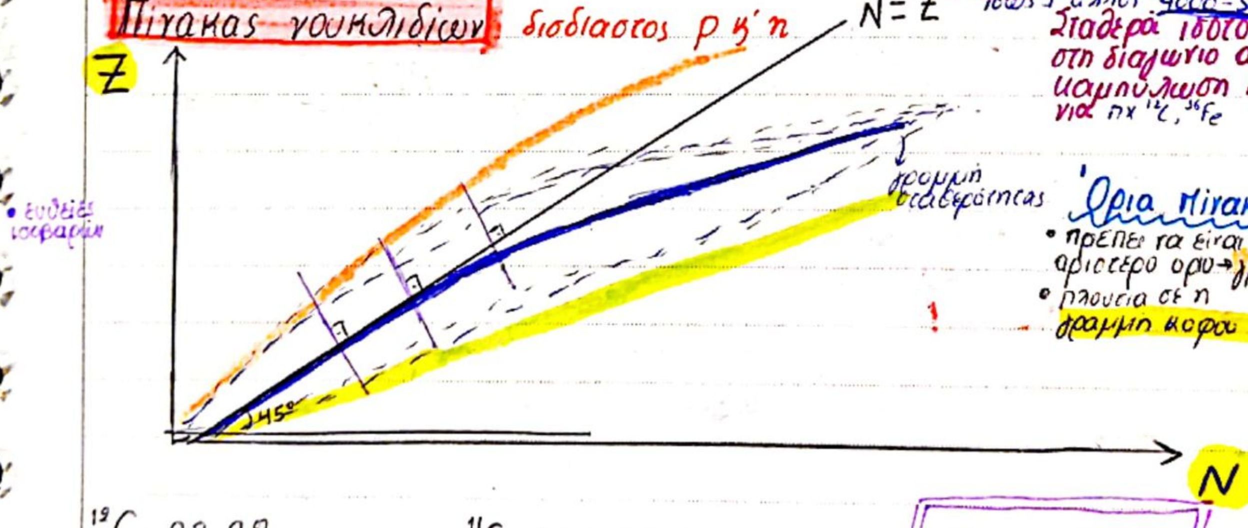
βαρείς πυρήνες → σχάση → παραγωγή E

! ∃ 288 σταθερά νουκλίδια
3300 ραδιενεργά νουκλίδια
ίσως ∃ άλλοι 4000-5000 πυρήνες πιθανοί

Σταθερά ισότοπα: αρχικά στη διαγώνιο αλλά μετά ∃ καμπύλωση προς τα νετρόνια πχ ^{12}C, ^{56}Fe

για ε
έχουν
συνεε
ατομ

Πίνακας νουκλιδίων διαδίαστος p κ' n



Όρια Πίνακα
- πρέπει να είναι δέσμιο σύστημα
  πλούσια σε p
  αριστερό όριο → γραμμή κορού πρωτονίων
- πλούσια σε n
  ! γραμμή κορού νετρονίων ; δεξί όριο

^{12}C : 98,9%
^{13}C : 1,1%
^{14}C $t_{1/2} \sim 5730y$
ζωντ. οργανισμοί 1:10^{12}

^{11}C $t_{1/2} \simeq 20 min$
$^{14}_{7}N_7$
$^{14}_{8}C_6$ $^{16}_{8}O_8$

ισότοπα: ίδιο Z = οριζόντια
ισότονα : ίδιο N = κάθετα
ισοβαρή : ίδιο A = διαγώνια

⊥ στη διαγώνιο N=Z

μητρικός πυρηνας → σφαιρικός

14.10.2022

Ραδιενέργεια = ό,τι προκύπτει από τη διάσπαση ασταθών πυρήνων για ενεργειακούς λόγους

ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΣ ΔΙΑΣΠΑΣΕΙΣ α, β, γ (αυθόρμητες διεργασίες)

^{4}He $e^{\pm}$ φωτόνια ↑E

Πρέπει να διατηρείται ο αριθμός των νουκλεονίων

- Διάσπαση α

λαμβάνει χώρα σε βαρυούς πυρήνες (πιο βαριοί από Pb)

$$^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{(A-4)}_{Z-2}Y_{N-2} + {}^{4}_{2}He_{2}$$

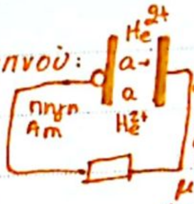
πχ.

$$^{238}_{92}U_{146} \rightarrow {}^{234}_{90}Th_{144} + {}^{4}_{2}He_{2}$$

$$^{241}_{95}Am_{146} \rightarrow {}^{237}_{93}Np_{144} + {}^{4}_{2}He_{2} \quad t_{1/2} = 433y \quad E_{a} = 5,5\,MeV$$

$$^{211}_{85}At_{126} \rightarrow {}^{207}_{83}Bi_{124} + {}^{4}_{2}He_{2} \quad t_{1/2} = 7h \quad E_{a} = 5,9\,MeV$$

ανιχνευτές καπνού:



ρεύμα πυρήνων He. Αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού αν ∃ καπνός τα α θα χωθούν στα μόρια του καπνού, το ρεύμα θα μειωθεί κ' ο καπνός θα ανιχνευθεί

- Διάσπαση β (β^{-}, β^{+}) σε πυρήνες πλούσιους σε νετρόνια

ισοβαρής διεργασία

β^{-}: $n \rightarrow p^{+} + e^{-} + \bar{V}e$

$$^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y_{N-1} + e^{-} + \bar{V}e \quad A = σταθ.$$

πχ.

$$^{14}_{6}C_{8} \rightarrow {}^{14}_{7}N_{7} + e^{-} + \bar{V}e \quad t_{1/2} = 5730y \quad E_{\beta^{-}_{,}max} = 0,157\,MeV$$

→ όταν το e^{-} έχει τη μέγιστη δυνατή τιμή

Το n ΔΕΝ είναι σταθερό $t_{1/2} = 10\,min$ $E_{\beta^{-}_{,}max} = 0,78\,MeV$

(ελεύθερο n)

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

ΟΜΩΣ στον πυρήνα με κατάλληλους συνδυασμούς δεν παθαίνει τίποτα

β^{+}: $p^{+} \rightarrow n + e^{+} + Ve$ σε πυρήνες πλούσιους σε πρωτόνια (ουν ή όσως

ΜΟΝΟ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΠΥΡΗΝΑ! ΟΧΙ ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΤΟ p^{+}

$$^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y_{N+1} + e^{+} + Ve$$

$$e^{+} + e^{-} \rightarrow \underset{0,511\,MeV}{\gamma} + \underset{0,511\,MeV}{\gamma}$$

εξαΰλωση

πχ.

$$^{18}_{9}F_{9} \rightarrow {}^{18}_{8}O_{10} + e^{+} + Ve \quad t_{1/2} = 110\,min \quad E_{e^{+}_{,}max} = 0,64\,MeV$$

PET

positron emission tomography

- Ηλεκτρονιακή Σύλληψη (EC) (ο πυρήνας παίρνει ένα e^{-})

$$p^{+} + e^{-} \rightarrow n + Ve$$

$$e^{-} + {}^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y_{N+1} + Ve$$

πχ.

$$^{22}_{11}Na_{11} + e^{-} \rightarrow {}^{22}_{10}Ne_{12} + Ve \quad t_{1/2} = 2,6y$$

Η $1s^{1}$ επειδή έχει έλλειμμα θα γίνει μετάπτωση εσωτερικού e^{-} κ' θα εκπέμψουν ακτίνες X

↓

δακτυλικό αποτύπωμα στοιχείου

Θέση στον πίνακα νουκλιδίων

α: 

β^{+}: 

β^{-}: 

EC: 

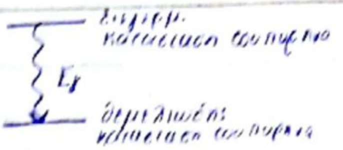
ΜΕΘΟΔΙΚΟ ασκ. β^{-} $^{22}_{11}Na_{11}$ α $^{259}_{98}Cf$ $^{226}_{88}Ra$ $^{149}_{65}Tb$ β^{-} $^{16}_{6}C$ $^{64}_{29}Cu$ $^{131}_{53}I$ $^{99}_{42}Mo$

β^{+} $^{11}_{6}C$ $^{15}_{8}O$ $^{64}_{29}Cu$ EC ^{7}Be $^{64}_{29}Cu$

{ διεργασία
$t_{1/2}$
E_{x}

Θέμα: α διάσπαση κ πορεία στον πίνακα
των νουκλιδίων

- Αποδιέγερση γ εκπομπή φωτονίων $E_\gamma \sim 1MeV$



$^{99}_{42}Mo \xrightarrow{\beta^-} {}^{99}_{43}Tc^*$ $t_{1/2}=6h$ $E_\gamma=0,141MeV$

$^{99}_{43}Tc^* \rightarrow {}^{99}_{43}Tc + \gamma$ $E_\gamma = h\cdot v$

- Αυθόρμητη σχάση συμβαίνει σε πολύ βαρείς πυρήνες

$^{252}_{98}Cf \longrightarrow {}^{130}_{50}Sn + {}^{120}_{48}Cd + 2n$ $t_{1/2}: 2,6yr$

Διαστάσεις

$1MeV = 1,6\cdot10^{-13}J$

ΜΗΚΟΣ

άτομο $R_{at} \sim 10^{-10}m$ (1Å)

πυρήνας $R_{nuc} \sim 10^{-15}m$ (1fm ή Fermi)

$\frac{R_{at}}{R_{nuc}} : 10^5$

ΕΝΕΡΓΕΙΑ

τυπική E χημικού δεσμού $\sim 2eV \sim 200kJ/mol$

—II— φυσικών διεργασιών $\sim 1/5$ εως $1/10$ eV $\sim 20kJ/mol$

1eV: η E που αποκτά 1 e^- σε περιοχή με διαφορά δυναμικού 1V
$U = q\cdot V = 1,6\cdot10^{-19}C\,V = 1,6\cdot10^{-19}J$

$1MeV = 10^6 eV$

1MeV E μπορεί να διασπάσει 10^6 χημικούς δεσμούς

ΜΑΖΑ

$1amu \rightarrow 1u$ $\frac{1}{12}M(^{12}C) = 1,66\cdot10^{-24}g$

$1u\cdot N_A = 1,66\cdot10^{-24}g\cdot 6,022\cdot10^{23}\underset{\frac{\text{σωμάτια}}{\text{mol}}}{} = 0,999 \simeq 1g/mol$ ΤΑΥΤΟΤΙΚΟΣ ΟΡΙΣΜΟΣ

για ένα ισότοπο $M_i(Z,A)$

$\underset{\text{στοιχείο}}{AM(Z)} = \sum_i \underset{\text{αφθονία}}{a_i}\, \underset{\text{ατομική μάζα ισοτόπου}}{M_i(Z,A)}$

$_6C$ $AM=12,01$

$_{17}Cl$ $AM=35,5$ $0,76\cdot35+0,24\cdot37=35,5$

Μάζα $\rightarrow E=mc^2 \Rightarrow m=E/c^2$ $1u = 931,5\,MeV/c^2$

$m_{e^-} = 0,511\,MeV/c^2$

$m_{p^+} = 938,3\,MeV/c^2$

$m_n = 939,6\,MeV/c^2$

$\boxed{m_n > m_p \Rightarrow \Delta m = 1,3\,MeV/c^2}$
γι'αυτό το ελεύθερο n μετατρέπεται σε p ενώ το ελεύθερο p όχι

⇓

$$\underset{939,6}{n} \rightarrow \underset{938,3}{p^+} + \underset{0,511}{e^-} + V_e \quad \leftarrow E_{e^-,max} = 0,78$$

Ασκήσεις

α

$^{252}_{98}Cf \rightarrow {}^{248}_{96}Cm + {}^4_2He$ $t_{1/2}=2,64y$

$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^4_2He$ $t_{1/2}=1,6\cdot10^3y$

$^{149}_{65}Tb \rightarrow {}^{145}_{63}Eu + {}^4_2He$ $t_{1/2}=4,11h$

β^-

$^{16}_6C_{10} \rightarrow {}^{16}_7N_9 + e^- + \bar{V}_e$ $t_{1/2}=750ms$

$^{67}_{29}Cu \rightarrow {}^{67}_{30}Zn + e^- + \bar{V}e$ $t_{1/2}=61h$ $E_\beta=0,5MeV$

$^{131}_{53}I \rightarrow {}^{131}_{54}Xe + e^- + \bar{V}e$ $t_{1/2}=8d$ $E_\beta=0,9MeV$

$^{22}_{11}Na_{11} \rightarrow {}^{22}_{12}Mg_{10} + e^- + Ve^-$ $t_{1/2}=2,6y$

$^{99}_{42}Mo \rightarrow {}^{99}_{43}T + e^- + \bar{V}e$ $t_{1/2}=65h$ $E_\beta: 1,4MeV$

EC

$^7_4Be \rightarrow {}^7_3Li_4 + Ve$ $t_{1/2}: 53d$

$^{64}_{29}Cu \rightarrow {}^{64}_{28}Ni + Ve$ $t_{1/2}=12,7h$ $E_\beta=0,58MeV$

Πέμπτη 10-12 προφ. 12-2 χημ 2-3 φυσ 3-7 φυσ

Τετάρτη 10-12 12-2 πυρ

Τρίτη 9-11 φ 1-6 φυσ

Δευτέρα 12-1 1-6 φυσ

Παρ 9-12 φα 12-2 πυρ 5

33

9

4

9

6

$\underline{\beta^+}$ $^{11}_{6}C_5 \rightarrow ^{11}_{5}B_6 + e^+ + \nu_e$ $t_{1/2} = 20{,}3$ min Ex 6667 keV

$^{15}_{8}O_7 \rightarrow ^{15}_{7}N_8 + e^+ + \nu_e$ $t_{1/2} = 122s$

$^{64}_{29}Cu \rightarrow ^{64}_{28}Ni + e^+ + \nu_e$ $t_{1/2} = 12{,}7h$

18.10.2022

Μεση μαζα νουκλεονιου $\bar{m}c^2 = 939{,}0\,MeV$

Το ελευθερο p^+ ΔΕΝ ΔΙΑΣΠΑΤΑΙ, μεσα στον πυρηνα όμως δανειζεται Ε από τα γειτονικά νουκλεόνια κ' διασπαται σε n, e^+ κ' ν_e

$1u = 931{,}5\,MeV/c^2 = 1/12\,M(^{12}C)$

Ο πυρηνας εχει πιο ΜΙΚΡΗ μάζα από τη μάζα των συστατικών του όταν είναι ελευθερα. Γενικα κάθε ΔΕΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ έχει μικροτερη μάζα από τα ελευθερα συστατικα. $\boxed{\Delta M = \text{Ενέργεια Συνδέσεως}}$

$$\boxed{AM(Z) = \sum_i a_i \overset{\text{μαζα ισοτοπου}}{M_i(Z,A)}}$$

$M_i(Z,A) = A$ σε u

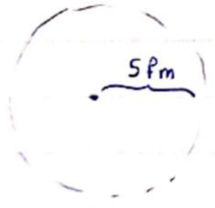
$\Delta = [M_i(Z,A) - A]c^2$ = "μικρος" αριθμός (ως προς τον μαζικό αριθμό) μικρή διορθωση

↓ έλλειμμα μάζας

Πιο πυκνα στοιχεια: Os 22,48 g/cm³
Ir 22,49 -״-

Πυκνότητες
άτομο: $\rho \sim 1-20\ g/cm^3$ (για στοιχεία)
πυρήνας: $\rho \sim 3\cdot10^{14}\ g/cm^3$ (300.000 ton/mm³)

Τα νουκλεόνια κινούνται στον πυρηνα με $\bar{U} = 0{,}2c = 6\cdot10^8\ m/s$



A = 100 (μεσοβαρής πυρηνας)

χρονος για να διανύσει ένα νουκλεόνιο μια πυρηνική διάμετρο

$$t = \frac{D}{\bar{U}} = \frac{10fm}{0{,}2c} = 50fm/c = 1{,}7\cdot10^{-22}s$$

$\boxed{30-300\ fm/c}$: Διαρκεια Πυρηνικων αντιδρασεων $(10^{-20} - 10^{-21}s)$ (0,1 - 1 zs)

zepto $= 10^{-21}$
↓
zs

1 fm/c = ο χρονος που κανει ενα φωτόνιο για να διασχίσει την ακτίνα του πυρηνα

Περιοχές Φυσικής

μέγεθος →

c ↓

Κλασσική Μηχανική	Κβαντική Μηχανική (πυρήνας, άτομο, μόριο)
Σχετικιστική Μηχανική	Κβαντική Θεωρία Πεδίου QED (quantum electrodynamics)

$V_{Γης} = 30 km/s = 10^{-4} c$

$^{133}_{55}Cs$ 55 e^-

$υ = 0,5c$

άρα περιγράφεται από την QED

αλληλεπιδράσεις = ανταλλαγές μποζονίων

Σωματίδια

Spin (στροφορμή) $|\vec{S}| \rightarrow s \cdot \hbar$ ← μονάδες

ακέραιο — ημιακέραιο ($n/2$)

(στοιχειώδη 1) **ΜΠΟΖΟΝΙΑ** (n)
- ΔΕΝ ισχύει η αρχή του Pauli (!)
- η Ψ είναι συμμετρική
(αν δλδ έχω 2 μποζόνια κ ανταλλάξω τη θέση τους η συνάρτηση μένει ίδια)
- ΔΕΝ αποτελούν δομικά συστατικά του φυσικού κόσμου είναι όμως φορείς των αλ/σεων

ΦΕΡΜΙΟΝΙΑ (στοιχειώδη φερμιόνια 1/2) πχ e^-, p^+, n
- ισχύει η απαγορευτική αρχή του Pauli
- η Ψ είναι αντισυμμετρική (αν 2 φερμιόνια αλλάξουν θέση η Ψ αλλάζει πρόσημο)
- δομικά συστατικά φυσικού κόσμου

Στοιχειώδη φερμιόνια

				Q	
I) ΛΕΠΤΟΝΙΑ:	e^-	μ^-	τ^-	-1	
	ν_e	ν_μ	ν_τ	∅	$t_{1/2} \nu = \infty$
mc^2	0,511	105,6	1777		$t_{1/2} e^- = \infty$
	~0	~0	~0		$t_{1/2} \mu^- = 2\mu s$ $t_{1/2} \tau^- = 3 \cdot 10^{-13} s$

ονομάζονται έτσι γτ θεωρείται ότι είναι ΣΗΜΕΙΑΚΑ (δεν έχουν διαστάσεις)

				Q
II) QUARKS:	d	s	b	-1/3
	u	c	t	+2/3

d = down
u = up
s = strange
c = charm
b = bottom/beauty
t = top/truth

βαρυόνια + μεσόνια = ΑΔΡΟΝΙΑ

ΠΑΝΤΑ βρίσκονται σε συνδυασμό 2 ή 3 quarks

Τριάδες = βαρυόνια

πχ
p^+: d u u $Q = +1$
n d d u $Q = 0$

Δυάδες = μεσόνια

Το ένα q κ το άλλο $\bar{q}$ (αντικουάρκ)

πχ
π^+ $u\bar{d}$
π^- $\bar{u}d$
π^0 $u\bar{u}$, $d\bar{d}$
} πιόνια

$t_{1/2} \pi^+, \pi^- = 26 ns$

$t_{1/2} \pi^0 = 10^{-17} s$ (λόγω εξαΰλωσης)

Θεωρώ το π^- ως ύλη κ το π^+ ως αντιύλη

Τα π διασπώνται σε μ^- ή αυτά σε e^-

$m\pi^+, \pi^- = 139,6 MeV/c^2$

$m\pi^0 : 135,0 MeV/c^2$

21/10/2022

Αλληλεπιδράσεις στη Φύση

	Δύναμη	"Φορέας"	Εμβέλεια	Σχετική ισχύς	Υπόθεμα	Χαρακτηριστικός χρόνος
1)	Βαρυτική	βαρυτόνιο	∞	10^{-36}	μάζα	—
2)	Ασθενής	W^+, W^-, Z^0	10^{-3} fm	10^{-3}	(ασθενές φορτίο)	10^{-12} s
3)	Ισχυρή	γλουόνιο	1 fm (10^{-15}m)	100	"χρώμα" (των quarks)	10^{-24} s
4)	Ηλεκτρομαγνητισμός	φωτόνιο	∞	1	ηλεκτρικό φορτίο	10^{-15} s

Νόμοι Νεύτωνα

1) $\Sigma\vec{F}=0 \Rightarrow v=0$ ή $v=$σταθ

2) $\Sigma\vec{F}=m\vec{a}$ → αδρανειακή μάζα

3) Δράση-αντίδραση

$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

Πως ασκείται μία δύναμη;

1) Εξ' αποστάσεως, στιγμιαία

2) Μέσω πεδίου

πχ. ηλ/κό πεδίο $E=\frac{F}{q}$

Τα πεδία διαδόνται με την ταχύτητα του φωτός

επειδή η c
είναι πεπερασμένη

3) Ανταλλαγή Φορέων

Νόμοι Διατήρησης

I) Κινηματικοί νόμοι: α) E σχετικιστική / ολική E: $E_i=T_i+m_ic^2$ $(\sum_i E_i)_i=(\sum_i E_i)_f$

β) P (ορμή) $(\sum_i \vec{P}_i)_i=(\sum_i \vec{P}_i)_f$

γ) Στροφορμή $\vec{J}_i=\vec{L}_i+\vec{S}_i$ $\vec{L}=\vec{r}\times\vec{p}$ $(\sum_i \vec{J}_i)_i=(\sum_i \vec{J}_i)_f$

II) Δυναμικοί νόμοι: α) ηλεκ. φορτίου $(\sum_i Q_i)_i=(\sum_i Q_i)_f$

β) λεπτονικού αριθμού λεπτόνια: $\frac{e^-}{\nu_e} \Big| \frac{\mu^-}{\nu_\mu} \Big| \frac{\tau^-}{\nu_\tau}$ $\Lambda_e=+1$ $\Lambda_\mu=+1$ $\Lambda_\tau=+1$

$\Lambda_{\nu_e}=+1$ $\Lambda_{\nu_\mu}=+1$ $\Lambda_{\nu_\tau}=+1$

$\sum_i \Lambda_{e_i}=$σταθ

$\Lambda_e=+1$ $\Lambda_\mu=+1$ $\Lambda_\tau=+1$

$\sum_i \Lambda_{\mu_i}=$σταθ

αντιλεπτόνια $\frac{e^+}{\bar{\nu}_e} \Big| \frac{\mu^+}{\bar{\nu}_\mu} \Big| \frac{\tau^+}{\bar{\nu}_\tau}$

$\Lambda_e=-1$ $\Lambda_\mu=-1$ $\Lambda_\tau=-1$

γ) βαρυονικού αριθμού $B=+1$ για βαρυόνιο $p=(uud)$ $n=(udd)$

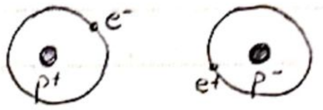
$B=-1$ για αντιύλη βαρυονίων $\bar{p}=(\bar{u}\bar{u}\bar{d})$ $\bar{n}(\bar{u}\bar{d}\bar{d})$

Σχέση ύλης - αντιύλης

ΥΛΗ	ΑΝΤΙΥΛΗ
$m, s, t_{1/2}$	$m, s, t_{1/2}$
$+Q$	$-Q$
Λ_e	$-\Lambda_e$
Λ_μ	$-\Lambda_\mu$
B	$-B$

ίδιες μακροσκοπικές ιδιότητες **εκτός** φορτίου

αλλαγή κβαντικών ιδιοτήτων



κατα την εκρηξη τα σωματιδια φευγαν αντιθετα για να διατηρειται η ορμη

Διασπάσεις

$n \longrightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$ $\quad E_\alpha = E_\tau + T_p + T_{e^-} + T_{\bar{\nu}_e} \Rightarrow \underbrace{m_i c^2 - m_f c^2}_{0,8 MeV} = T_p + T_{e^-} + T_{\bar{\nu}_e}$

$E_\alpha = m_i c^2$, $E_\tau = m_f c^2$

mc^2: 939,6 — 938,3 — 0,5 — 0

$m_n > M_{\alpha\nu\tau} \Rightarrow$ άρα η αντίδραση μπορεί να πραγματοποιηθεί

$\vec{P}$ θεωρώ την V του βαρέος σωματιδίου $\to 0$ (εδώ το p^+ σχεδόν ακίνητο) την K την παίρνουν το e^- κ' το ν_e

Q $\quad 0 \to + \quad - \quad 0$ ✓

Λ_e $\quad 0 \to 0 \quad +1 \quad -1$ ✓

Λ_μ $\quad 0 \to 0 \quad 0 \quad 0$ ✓

B $\quad +1 \to +1 \quad 0 \quad 0$ ✓

$m=0$ πχ φωτόνιο, ν_e

$\downarrow$

$E = p \cdot c$

ένα άμαζο σωματίδιο, έχει E ξ ορμή

$p^+ \longrightarrow n + e^+ + \nu_e$

mc^2	938,3	939,6	0,5	0	
$\vec{P}$	✓				
Q	+1	0	+1	0	✓
Λ_e	0	0	-1	+1	✓
Λ_μ	0	0	0	0	✓
B	+1	+1	0	0	✓

$m_i c^2 < m_f c^2$ **ΌΧΙ** σε ελεύθερο p^+ **ΌΜΩΣ** το p^+ "δανείζεται" 1,8MeV από τον πυρήνα

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

$mc_i^2 < mc_f^2$ ΔΕΝ ΓΙΝΕΤΑΙ <u>ΟΜΩΣ</u> σε πλουσια σε p^+ πυρήνα, το p^+ δανείζεται 1MeV

mc^2	938,3	0,5	939,6	0	
$\vec{p}$		✓			
Q	+1	−1	0	0	✓
Λ_e	0	+1	0	+1	✓
Λ_μ	0	0	0	0	✓
B	+1	0	+1	0	✓

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

$t_{1/2} \simeq 2\mu s$

$m_i c^2 > m_f c^2$ ✓

mc^2	105,7	0,5	0	0	
$\vec{p}$	✓				
Q	−1	−1	0	0	✓
Λ_e	0	+1	−1	0	✓
Λ_μ	+1	0	0	+1	✓
B	0	0	0	0	✓

$e^+ + e^- \longrightarrow \gamma + \gamma$

$E_i = 1{,}022\ MeV$

$m_i c^2 > m_f c^2$ ✓

$E_f = E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2}$

mc^2	0,511	0,511	0	0	
$\vec{p}$	0 →←	0	$\overleftarrow{p_1}$	$\overrightarrow{p_2} = -p_1$	
Q	+1	−1	0	0	✓
Λ_e	−1	+1	0	0	✓
Λ_μ	0	0	0	0	✓
B	0	0	0	0	✓

$$\frac{E_1}{c} = \frac{E_2}{c} \Rightarrow E_1 = E_2 \Rightarrow E_1 = E_2 = 0{,}511\ MeV$$

$e^+ + e^- \not\longrightarrow \gamma$

mc^2	0,511	0,511
$\vec{p}$	0	0

$E = \frac{p}{c} = 0$

ΑΡΑ ΔΕΝ ΓΙΝΕΤΑΙ ΝΑ ΕΧΩ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΑ ΑΔΕ ΚΑΙ ΑΔΟ

Η ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΔΕΝ ΓΙΝΕΤΑΙ!

<u>Ασκήσεις</u>

$\mu^+ \longrightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$

$\pi^- \longrightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$

$\pi^+ \longrightarrow \mu^+ + \nu_\mu$

$\pi^0 \longrightarrow \gamma + \gamma$

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

$m_{\pi^\pm} c^2 = 139{,}6\ MeV$

$m_\pi c^2 = 135\ MeV$

SOS διάσπαση n κ p

$\mu^+ \to e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$

mc^2	105,7	0,5	0	0	$m_ic^2 > m_fc^2$ ✓
$\vec{p}$	0	←	→		✓
Q	+1	+1	0	0	✓
Λ_e	0	-1	+1	0	✓
Λ_μ	-1	0	0	-1	✓
B	0	0	0	0	✓

$\pi^- \to \mu^- + \bar{\nu}_\mu$

mc^2	139,6	105,7	0	$m_ic^2 > m_fc^2$ ✓
$\vec{p}$	0	←	→	✓
Q	-1	-1	0	✓
Λ_e	0	0	0	✓
Λ_μ	0	+1	-1	✓
B	0	0	0	✓

$\pi^+ \to \mu^+ + \nu_\mu$

mc^2	139,6	105,7	0	✓
$\vec{p}$	0	←	→	✓
Q	+1	+1	0	✓
Λ_e	0	0	0	✓
Λ_μ	0	-1	+1	✓
B	0	0	0	✓

$\pi_0 \to \gamma + \gamma$

mc^2	135	0	0	✓
$\vec{p}$	0	←	→	✓
Q	0	0	0	✓
Λ_e	0	0	0	✓
Λ_μ	0	0	0	✓
B	0	0	0	✓

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

mc^2	0,5	0	0	✓
$\vec{p}$	0	←	→	✓
Q	-1	0	0	✗
Λ_e	+1	+1	0	✓
Λ_μ	0	0	0	✓
B	0	0	0	✓

25/10/2022

Αλληλεπιδράσεις νουκλεονίων

∃ μια ΣF αναμεσα στα quarks του n κ' του p^+ κ' άρα ∃ αλληλεπίδραση n κ p^+ ΟΜΩΣ γι'αυτό το μαθημα θεωρουμε τα p^+ κ' n ως ενιαία.

πυρηνική αλληλεπίδραση: αλληλεπίδραση μεταξύ νουκλεονίων του πυρήνα κ' οφείλεται στις επιμέρους αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών τους.

$m_pc^2 = 938,3$ MeV

$m_nc^2 = 939,6$ MeV

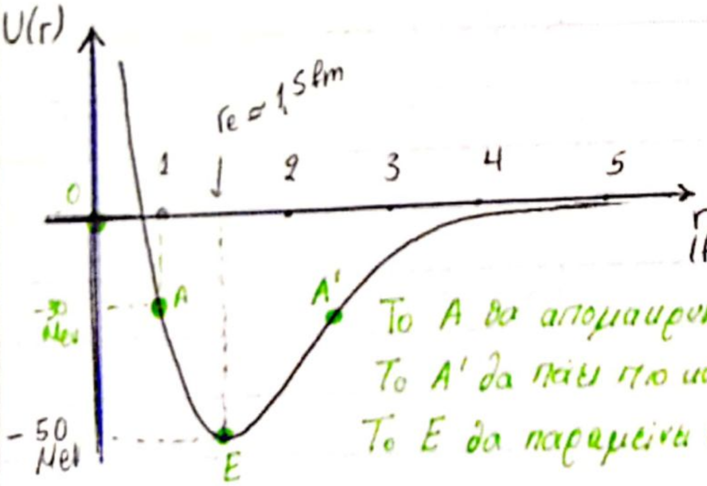
μάζα quark

$m_dc^2 \simeq 7MeV$

$m_uc^2 \simeq 3MeV$

→ θεωρητικό $m_pc^2 = 2m_uc^2 + m_dc^2 = 1$

πολύ διαφορετική από την πραγματική ΕΠΕΙΔΗ η αλληλεπίδραση των quarks συνεισφέρει στη μάζα (αντιστοιχεί στην E του πεδίου)



$$\boxed{F = -\frac{dU}{dr}}$$

Η δύναμη έχει την κατεύθυνση του μειούμενου δυναμικού

$U_{max} \to U_{min}$

Το A θα απομακρυνθεί από το O

Το A' θα πάει πιο κοντά στο O

Το E θα παραμείνει ακίνητο (ΣF=0, ακρότατο συναρτήσεως) μήκος πυρηνικού δεσμού = 1,5 fm

Ε πυρηνικού δεσμού: 50 MeV

Σειρά ισχύος αλληλεπιδράσεων νουκλεονίων μέσα στον πυρήνα

1) n-p

2) n-n (αρχή Pauli) οπότε γι'αυτό η αλ/ση είναι ασθενέστερη γιατί ∃ η περίπτωση τα n να έχουν το ίδιο spin

3) p-p (αρχή Pauli + άπωση Coulomb)

Άπωση Coulomb (μεταξύ 2 p^+)

$$\boxed{F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q_1\cdot q_2}{r^2}}$$

$$\boxed{U_0(r)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1\cdot q_2}{r}}$$

$$F=-\frac{dU_0}{dr}=-\left[\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}q_1\cdot q_2\left(\frac{1}{r}\right)'\right]=$$

$$F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1\cdot q_2}{r^2}$$

για p^+

$q_1=q_2=|q_e|\equiv e$ ‖ $1,6\cdot10^{-19}\,C$

$$U_0(r)=\frac{e\cdot e}{4\pi\varepsilon_0 r}=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}=\frac{1,44\,MeV\cdot fm}{1,5\,fm}\simeq 1\,MeV$$

→ (έστω r = 1,5 fm μήκος πυρ. δεσμού)

$$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} \rightarrow 1,44\,MeV\cdot fm$$

ασκ. αποδεικνύω τη σχέση

$$\frac{\text{Δύναμη Coulomb}}{\text{Δυναμη πυρην. έλξης}}=\frac{1}{50}$$

Γι'αυτό ∃ η δομή του πυρήνα κ' αυτός δεν διασπάται λόγω απώσεων

εδώ $r = 1\mathring{A} = 10^5\,fm$

Άτομο

πυρήνας: $Z\,p^+$ κ' $Z\,e^-$

αλ/ση e^- με τον πυρήνα

$$V(r)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_e\cdot q_{πυρ}}{r}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(-e)(Ze)}{r}=-\frac{e^2 Z}{4\pi\varepsilon_0\cdot r}=-\frac{1,44\,MeV\,fm\,Z}{10^5\,fm}=$$

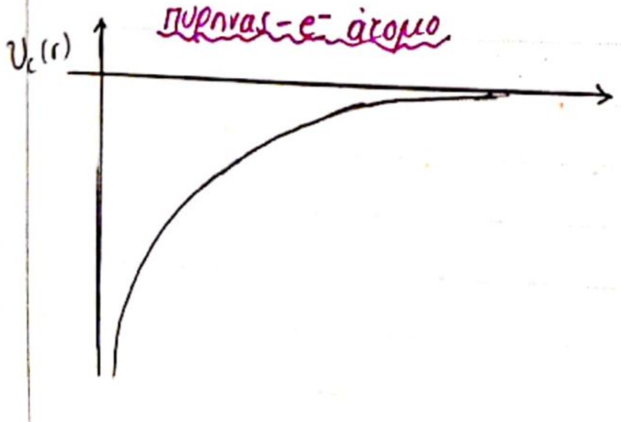
για άτομο H $Z=1$

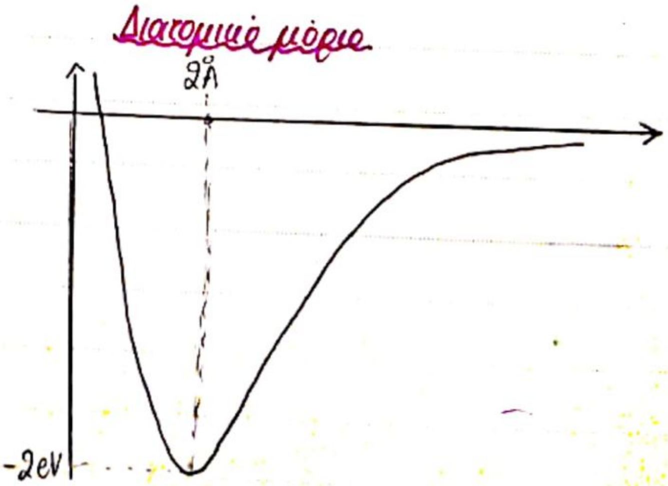
$$=-1,44\cdot10^{-5}\,MeV=-14,4\,eV$$ ελκτική Ε $e^- - p^+$

ασκ. 2Ε Z=50 - e^- αλ/ση C $r = 1\mathring{A}$

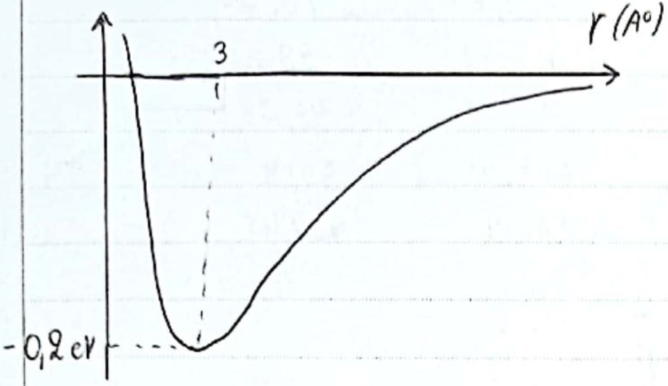
− = έλξη

+ = άπωση





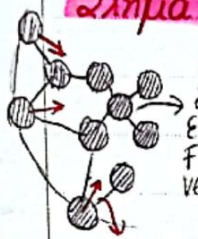
Διαμοριακές αλ/σεις μόριο-μόριο



$$\frac{\text{χημικός δεσμός}}{\text{διαμορ. αλ/σεις}} = \frac{10}{1}$$

Σχήμα πυρήνα

ασκ 3 γιατί ο πυρήνας είναι σφαιρικός;



σωματίδιο στο εσωτερικό
$\Sigma F = 0$
Επειδή ασκούνται F απ' όλες τις κατευθύνσεις κ' εξουδετερώνονται

ισχυρότερα συνδεδεμένο

ΑΡΑ → ο πυρήνας είναι σφαίρα γιατί έχει τη μικρότερη επιφάνεια για δεδομένο όγκο

ΣF = προς τα μέσα
σωματίδιο στα άκρα

ασθενέστερα συνδεδεμένο

Σφαίρα
Επιφάνεια: $S = 4\pi R^2$
όγκος $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

Ακτίνα πυρήνα

πυρήνας: A νουκλεόνια
όγκος : $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

$$V \propto A \Rightarrow \frac{4}{3}\pi R^3 \propto A \Rightarrow R^3 \propto A \Rightarrow R \propto \sqrt[3]{A} \Rightarrow \boxed{R = r_0 A^{1/3}}$$

$r_0 = 1,12$ fm

ασκ 4. R για A (10, 20, 40, 100, 240) βρίσκω R (fm) S (fm²) V (fm³)
Διατομή πr^2

ασκ 5 ρ=; A=100 σε g/cm³ κ' σε νουκλεόνια/fm³
$m_n = 1,6 \cdot 10^{-24}$ g
αριθμητική πυκνότητα

$A = \frac{C}{s}$
$N = \frac{kg \cdot m}{s^2}$ J=N·m

$1 eV = 1,602 \cdot 10^{-19}$ J $1 MeV = 1,6 \cdot 10^{-13}$ J

Ασκήσεις

1. $U = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}$ $\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} = \frac{2,56 \cdot 10^{-38} C^2 \cdot kg \cdot m^3}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} A^2 s^4} = \frac{2,56 \cdot 10^{-38} J.m.C^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} s^2 A^2} = \frac{0,023 \cdot 10^{-26} J.m.\cancel{C^2}}{\cancel{s^2 A^2}} =$

$0,023 \cdot 10^{-26} \cdot J \cdot m =$ ~~$0,023 \cdot 10^{-26} J \cdot m = \frac{0,023 \cdot 10^{-26}}{1,6 \cdot 10^{-19}} eV \ m = 0,0144 \cdot 10^{-7} eV \ f = 1,44 \cdot 10^{-4}$~~ $eV \cdot fm = 1,44 MeV \cdot fm$

ΛΑΘΟΣ!

2. $U(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 r} q_e \cdot q_{πυρ} = \frac{(-e)(e \cdot 50)}{4\pi\varepsilon_0 \cdot 1 Å} = \frac{-1,44 MeV \cdot fm \cdot 50}{10^{5} fm} = -7,9 \cdot 10^{-4} MeV$

3. Ο πυρήνας είναι σφαιρικός γιατί η σφαίρα είναι το σχήμα με τη μικρότερη επιφάνεια για δεδομένο όγ
Τα σωματίδια στο εσωτερικό δέχονται μια $\Sigma F = 0$ ενώ στο εξωτερικό μια συνισταμένη προς τα μέσα

	$R = r_0 A^{1/3}$, $1{,}12$	$4\pi R^2$	$\frac{4}{3}\pi R^3$	πR^2
A	R (fm)	S (fm²)	V (fm³)	Διατομή
10	2,41	72,99	58,63	18,95
20	3,04	116,13	117,68	29,03
40	3,63	184,33	235,33	46,08
100	5,20	339,79	588,98	84,95
240	6,21	484,61	1003,14	121,15

ασκ 5 αριθμητικη πυκνοτητα $\boxed{\rho = \frac{A}{V}}$

$A = 100$ νουκ/fm³ g/cm³

$R = r_0 A^{1/3} = 5{,}2$

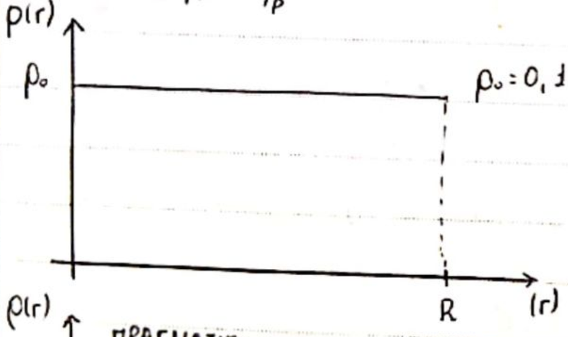
$V = 588{,}98$ fm³ $\rho = 0{,}17$ νουκ/fm³

$$\rho = \frac{100 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-24}\, g}{10^{-39}\ cm^{-3}} = 1{,}6 \cdot 10^{17}\, g/cm^3$$

01/11/2022

αριθμητική πυκνότητα πυρηνα: $\rho = 0{,}16$ νουκλ/fm³ $\rho = \frac{A}{V}$

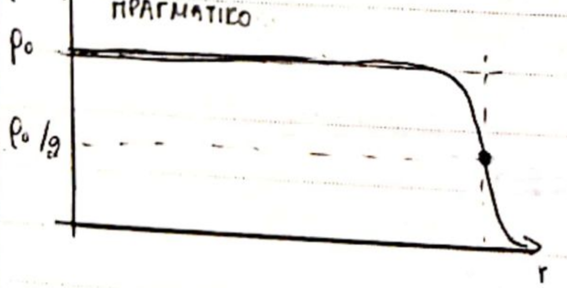
$$\left.\begin{matrix}\rho = \frac{A}{V} \\ A = N + Z\end{matrix}\right\} \rho = \underset{\rho_n}{\underset{\downarrow}{\frac{N}{V}}} + \underset{\rho_p}{\underset{\downarrow}{\frac{Z}{V}}} \qquad \text{αν} \left.\begin{matrix}Z = N \\ A = Z + N\end{matrix}\right\} \rho_n = \rho_p = \frac{\rho}{2} = 0{,}08\ fm^{-3}$$



$\rho_0 = 0{,}16\ fm^{-3}$

αν ο πυρηνας ηταν μια "σκληρή" συμπαγούς ομογενης σφαιρα

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΝ ειναι (κάποια νουκλεόνια πετάγονται παραέξω.



$$\boxed{\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + e^{(r-R)/a}}}$$

$a = 0{,}55$ fm

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

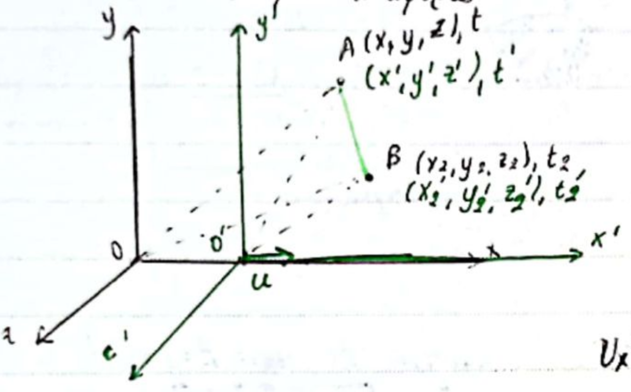
Συνάρτηση Fermi

αν $r = R \Rightarrow \rho(r) = \rho_0/2$

ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

- Αδρανειακά συστήματα αναφοράς
- Χώρος: ισότροπος, απόλυτος
- Χρόνος: ισότροπος, απόλυτος, παγκόσμιος
- Αρχή Σχετικότητας: νόμοι αναλλοίωτοι σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς

} Κλασσική Μηχανική



Μετασχηματισμός Γαλιλαίου

$x' = x - ut$	$\Delta x' = \Delta x$
$y' = y$	$\Delta y' = \Delta y$
$z' = z$	$\Delta z' = \Delta z$
$t' = t$	$\Delta t' = \Delta t$

$\Delta x = x_2 - x$

$v_x' = v_x - u \Rightarrow v_x = v_x' + u$

$v_y' = v_y$ αν $v_x' = c$ $v_x = \cancel{c + u}$

αδύνατο δεν μπορεί να ∃ $v > c$

$v_z' = v_z$

Αρχές Ειδικής Σχετικότητας

- Αρχή Σχετικότητας
- Αρχή Σταθερότητας της ταχύτητας του φωτός (η ταχύτητα του φωτός είναι c σε ΟΛΑ τα συστήματα αναφοράς)

Μετασχηματισμός Lorentz

$x' = \gamma(x - ut)$

$y' = y$

$z' = z$

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

γ παράγοντας Lorentz

$\boxed{\gamma(u) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}}}$ $\beta = \frac{u}{c}$

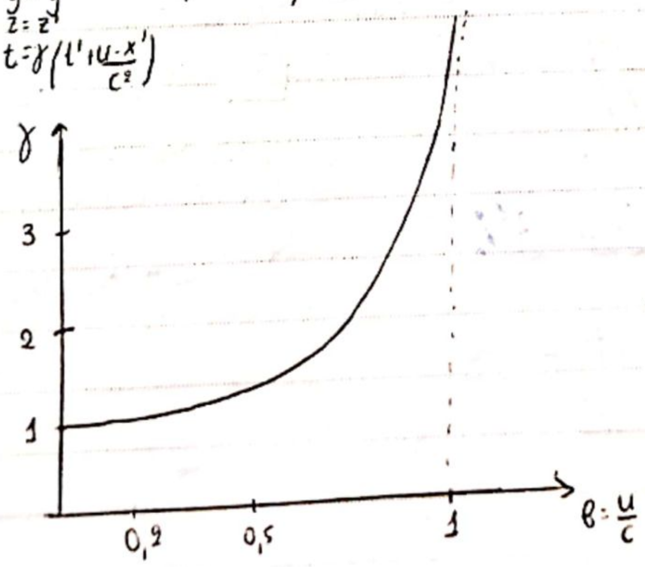
$x = \gamma(x' + ut')$ αντίστροφος μετασχημ. Lorentz

$y = y'$

$z = z'$

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

β	γ
0	1
0,2	1,02
0,5	1,15
0,9	2,3
0,99	7,1
0,999	22,37
0,9999	70,71



Μετασχηματισμός διαστημάτων

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

$\Delta y = \Delta y'$

$\Delta z = \Delta t'$

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

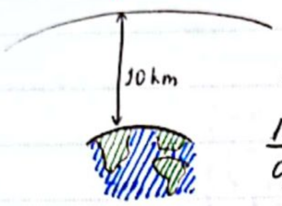
στο O' $\Delta x'=0$ $\Delta t'$ διάρκεια μιας διεργασίας

$\Delta t \overset{\downarrow}{=} \gamma\left(\Delta t' + \frac{\Delta x' u}{c^2}\right) \Rightarrow \underset{(O)}{\Delta t} = \gamma \cdot \underset{(O')}{\Delta t'} \Rightarrow \Delta t = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}\Delta t'$ $\quad \Delta t > \Delta t'$

Διαστολή χρόνου

$\left.\begin{array}{l}\pi^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu \\ \pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu\end{array}\right\}$ $\quad \begin{array}{l}\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu \\ \mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu\end{array}$

$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ $\quad t_{1/2} \simeq 2\mu s$



$v_\mu = 0,99c$

$S = v_\mu \cdot t_{1/2} = 0,6 km$

$\frac{10 km}{0,6 km} = 16\, t_{1/2}$

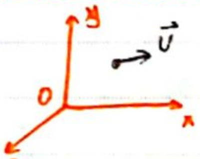
ΟΜΩΣ εμείς μετράμε μιόνια γιατί ∃ η σχετικότητα

Ο ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΣΤΕΛΛΕΤΑΙ

$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t' = \gamma \cdot t_{1/2} = \frac{1}{\sqrt{1-(0,99)^2}} = 14\mu s$

Δυναμική στην ειδική σχετικότητα

(όχι $=m\vec{a}$) $\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$

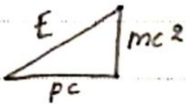


$\vec{P} = \gamma \cdot m\vec{u}$

ινητική ενέργεια $T = \underbrace{\gamma mc^2}_{\text{ολική σχετικιστική ενέργεια}} - mc^2 \Rightarrow T = (\gamma - 1)mc^2$

Ολική Σχετικιστική Ενέργεια: $E = \gamma mc^2$

$T = E - mc^2 \Rightarrow \boxed{E = T + mc^2}$



Σχέση E κ' p: $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$

απόδειξη: $E = \gamma mc^2 \Rightarrow E^2 = \gamma^2 (mc^2)^2$

$p = \gamma mu \Rightarrow pc = \gamma mc \cdot u \xrightarrow{\beta = \frac{u}{c} \Rightarrow u = \beta c} pc = \gamma mc^2 \beta \rightarrow (pc)^2 = \gamma^2 (mc^2)^2 \beta^2$ $\Big\}\ \Theta$

$E^2 - (pc)^2 = \gamma^2 (mc^2)^2 - \gamma^2 (mc^2)^2 \beta^2 \Rightarrow$

$E^2 - (pc)^2 = \gamma^2 (1 - \beta^2)(mc^2)^2 \Rightarrow$

$E^2 - (pc)^2 = \left(\cancel{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}\right)^{\cancel{-2}} \cdot \cancel{\left(1-\left(\frac{u}{c}\right)^2\right)} (mc^2)^2 \Rightarrow E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$

Σχέση p-T $\quad pc = \sqrt{T(T + 2mc^2)}$

⧗ $E = T + mc^2$ στο τετράγωνο
(−) $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$

απόδειξη $\quad E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2 =$

$(pc)^2 = E^2 - (mc^2)^2 \Rightarrow pc = \sqrt{E^2 - (mc^2)^2} \Rightarrow pc = \sqrt{(T + mc^2)^2 - (mc^2)^2} \Rightarrow$

$pc = \sqrt{T^2 + 2Tmc^2 + \cancel{(mc^2)^2} - \cancel{(mc^2)^2}} \Rightarrow pc = \sqrt{T^2 + 2Tmc^2} \Rightarrow pc = \sqrt{T(T + 2mc^2)}$

$1J = \frac{1eV}{1,6\,10^{-19}}$

ασκ 1. $0,023\ 10^{-26} J\cdot m = \frac{0,023\ 10^{-26}}{1,6\cdot 10^{-19}}\ m\,eV = \frac{2,3}{1,6}\frac{10^{-28}}{10^{-19}}\ m\,eV = 1,44\cdot 10^{-9}\ m\,eV = 1,44\ 10^{6}\ eV\ fm$

1,44 MeV fm

$1fm = 10^{-15}m$

04/11/2022

$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ $E = \gamma mc^2$ $T = E - mc^2$ Α.Δ.Ε. $\left(\sum_i E_i\right)_{initial} = \left(\sum_f E_f\right)_{final}$

$\underline{E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2}$ $E = T + mc^2$

$\vec{p} = \gamma m\vec{v}$ $T = (\gamma - 1)mc^2$

Σωματίδια χωρίς μάζα ($m = \phi$) (πχ φωτόνια, γ)

1) Νευτώνια μηχανική

$m = 0 \rightarrow p = mv = 0 \rightarrow F = \frac{dp}{dt} = 0$ ΑΡΑ ∄ σωματίδιο χωρίς m

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \xrightarrow{\text{με } \beta = 1\ (v=c)} \infty$

2) Σχετικότητα

a) $v < c$ $m = 0 \rightarrow p = \gamma mv = 0 \rightarrow F = 0$ ∄

β) $v = c$ $\left.\begin{array}{l} m = 0 \rightarrow p = \gamma mc = \infty \cdot 0 \cdot c \\ E = \gamma mc^2 = \infty \cdot 0 \cdot c^2 \end{array}\right\}$ ΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΑ

ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΧΩΡΙΣ m ∃
ΜΟΝΟ ΑΝ $v = c$

$\frac{E = \gamma mc^2}{p = \gamma mv} \Rightarrow \frac{E}{p} = \frac{c^2}{v} \xrightarrow{v=c} \frac{E}{p} = c \Rightarrow \boxed{E = p\cdot c}$

ή $E^2 = (pc)^2 + (\overset{0}{\cancel{m}}c^2)^2 \xrightarrow{m=0} E = pc$

Νευτώνεια μηχανική $T_N = \frac{1}{2}mv^2 = p^2/2m$

Σχετικιστική -ΙΙ- $T = (\gamma - 1)mc^2$

$mc^2 = 938,3 MeV$

Να βρεθούν T_N κ' T για p ($v = 0,2c$) κ' η μεταξύ τους διαφορά (%)

$T = (\gamma - 1)mc^2 \Rightarrow T = \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right)mc^2 = \left(\frac{1}{\sqrt{1-0,2}} - 1\right)mc^2 = \left(\frac{1}{0,9} - 1\right)mc^2 = \frac{0,1}{0,9}\cdot 938,3 MeV = 104,3 MeV$

$T_N = \frac{1}{2}m\,0,04c^2 = 0,02\cdot 938,3 MeV = 18,77 MeV$

$T - T_N = 104,3 - 18,77 = 85,5 MeV$

$\%\Delta T = \frac{85,5}{104,3}\cdot 100\% = 81,97\%$

$$(1+x)^a = 1 + ax + \frac{a(a-1)}{2}x^2 + \dots$$

⇓

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = (1-\beta^2)^{-1/2} = 1 + \frac{1}{2}\beta^2 + \frac{3}{8}\beta^4 + \dots$$

$$\gamma - 1 = \frac{1}{2}\beta^2 + \frac{3}{8}\beta^4 + \dots$$

για $\beta = 10^{-1}$
$\beta^4 = 10^{-4}$
το σφαλμα θα ναι $1/10.000$

$$T = (\gamma-1)mc^2 = \frac{1}{2}\beta^2 mc^2 + \frac{3}{8}\beta^4 mc^2 = \frac{1}{2}mU^2 + \frac{3}{8}(mc^2)\beta^4 \Rightarrow T = T_N + \underbrace{\frac{3}{8}(mc^2)\beta^4}_{\text{αποκλιση}}$$

για $\beta \lll$ $T \to T_N$

οκλιση: $\delta = \frac{T - T_N}{T} = \frac{\frac{3}{8}(mc^2)\beta^4}{\frac{1}{2}mc^2} \Rightarrow \boxed{\delta = \frac{\frac{3}{8}\beta^4}{\gamma - 1}}$

β	γ	δ
0	1	0
0,2	1,02	0,03
0,5	1,15	0,16
0,9	2,29	0,19

⇓
V_{e^-} β διασπασεως

⇒ $\beta = 0,5$ ταχύτητα e^- → $\delta = 16\%$ <u>αρα</u> για e^- χρειάζομαι ιβαντικη ή διορθωσεις
(εσωτ. / εσωτ.)

$V_{e^-} = ;$ β διάσπαση $T = 1\,MeV$

$$T = (\gamma-1)mc^2 \Rightarrow 1\,MeV = (\gamma-1)\,0,5\,MeV \Rightarrow 2 = \gamma - 1 \Rightarrow \gamma = 3$$

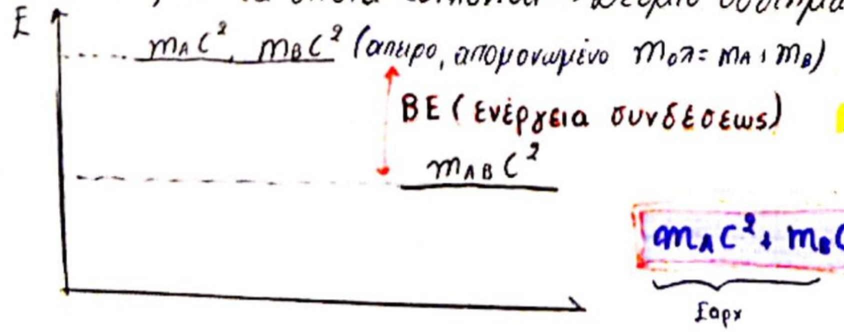
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{U}{c}\right)^2}} \Rightarrow \sqrt{1-\left(\frac{U}{c}\right)^2} = \frac{1}{3} \Rightarrow 1-\left(\frac{U}{c}\right)^2 = \frac{1}{9} \Rightarrow \left(\frac{U}{c}\right)^2 = \frac{8}{9} \Rightarrow \frac{U}{c} = \frac{\sqrt{8}}{3} \Rightarrow$$

$$\boxed{U_e = \frac{\sqrt{8}c}{3}}$$

ΔΕΣΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

- 13,6 eV BE ατόμου H
- πυρήνας
- νουκλεόνια (δέσμια συστηματα quarks)
- σώματα δέσμια στη Γη
- Ήλιος · πλανήτες
⋮

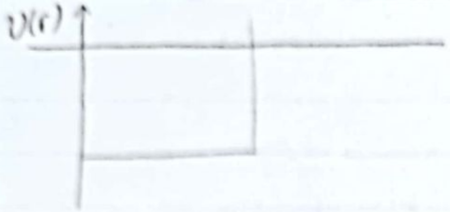
Έστω A κ B τα οποία έλκονται ⇝ Δέσμιο σύστημα A − B



$m_{AB} c^2$: μαζα δεσμια συστηματος

ΑΡΧΙΚΗ ΜΑΖΑ > ΜΑΖΑ ΔΕΣΜΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

$$\boxed{\underbrace{m_A c^2 + m_B c^2}_{E_{αρχ}} = \underbrace{m_{AB} c^2 + BE}_{E_{τελ}}}$$



ελκτικό δυναμικό

"Πέφτει" στο πηγάδι ή μειώνεται η μάζα του

$m = \frac{p}{\rho \cdot V}$

μπορώ να παραλείψω το BE όταν έχω βαρύτητα ή ΗΜ όμως όχι πυρηνική

- άτομο H: $m_H c^2$

p: $m_p c^2 = 938,3\ MeV$
e⁻: $m_e c^2 = 0,5\ MeV$

$\Rightarrow m_p c^2 + m_e c^2 = 938,8\ MeV$

$$\underset{10^9 eV}{m_p c^2 + m_e c^2} = m_H c^2 + \underset{\underset{13,6 eV}{\Downarrow 10^1 eV}}{BE_e}$$

$\frac{BE_e}{m_H c^2} \sim 10^{-8}$ γι'αυτό μπορώ να μην τη λάβω υπ'όψιν

οι $BE \sim 1 MeV$

- Δευτέριο, D (p-n) $BE = 2,2\ MeV$

$m_p c^2 = 938,3\ MeV$
$m_n c^2 = 939,6\ MeV$

$\Big\} \ m_p c^2 + m_n c^2 \simeq 2000\ MeV$

$\frac{BE}{m_p c^2 + m_n c^2} = \frac{2,2}{2000} \sim \frac{1}{1000}$ σημαντική ✓

- Μόρια (E τυπική χημ. δεσμού $2eV \simeq 200\ kJ/mol$)

H-H 436 kJ/mol (4eV)   O=O 497 kJ/mol (5eV)   C=O 1076 kJ/mol (10eV)   N≡N 945 kJ/mol (10eV)

∘ N_2 $^{14}N - ^{14}N$ $m = 28u$ $1u = 931,5 MeV/c^2$. $m_{N_2} = 28000\ MeV$ ($28 \cdot 10^9\ eV$) $BE = 10eV$ ($10^1 eV$)

- Μοριακές αλ/σεις 0,2eV

~ ∘ ~

<u>H_2O</u>

$\frac{m_H c^2}{hot}$

Q

$\frac{mc^2}{cold}$

$m_c c^2 + Q = m_H c^2$ Το ζεστό νερό είναι βαρύτερο από το κρύο κατά Q

$m_c = 1Kg$ $\vartheta_1 = 20°C$ $\vartheta_2 = 50°C$. $\Delta\vartheta = 30°C = \Delta T$

ειδική θερμότητα (1cal/g·°C = 4,18 J/g·°C)

$Q = m_c C_p \Delta\vartheta = 125\ kJ$ $\frac{Q}{c^2} = 1,4\ ng$

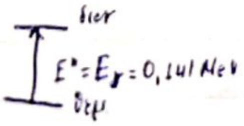
$\Delta E = \Delta m c^2$

Άρα το 1kg ζεστό νερό είναι βαρύτερο από το ψυχρό κατά $1,4\ ng = 1,4 \cdot 10^{-12} Kg$

~ ∘ ~

$^{99m}Tc^*$ $t_{1/2} = 6h$ $E_\gamma = 0,141\ MeV$

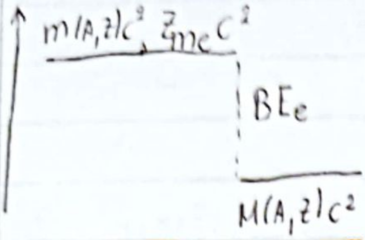
m: μετασταθής



ο πυρήνας είναι βαρύτερος κατά 0,141 MeV αυτό αντιστοιχεί με ΜΣ

Ατομική μάζα $M(A,Z)$

Ατομο: δέσμιο συστημα πυρηνα μαζας (A, Z) κ' Ze^-



σχετικα μικρη συχνα παραλειπεται

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

$BE_e(Z) \simeq 15,7\ Z^{7/3}$

ατομικη μαζα: $M(A,Z)c^2 = m(A,Z)c^2 + Zm_ec^2$

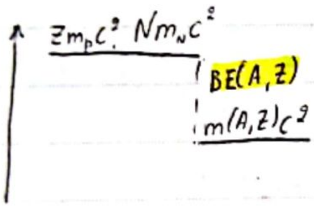
$M(1,1) = m_pc^2 + m_ec^2$

Z	BE_e
1	15,7 eV δεν δουλευει καλά
6	9597 eV
20	17,046 eV
42	96 KeV = 0,096 MeV 96267 eV
92	599.889

M = μάζα ατόμου

$BE = \Delta\ c^2$

Πυρήνας: δέσμιο σύστημα p-n



Z πρωτόνια

A - Z νετρόνια

$Zm_pc^2 + Nm_nc^2 = m(A,Z)c^2 + BE(A,Z)$

$BE(A,Z) = Zm_pc^2 + (A-Z)m_nc^2 - m(A,Z)c^2$
↓
$BE(A,Z) = Z \cdot M(1,1)c^2 + (A-Z)m_nc^2 - M(A,Z)c^2$

Μονάδες μάζας

$1u = \frac{1}{12} M(12,6)$

$m_pc^2 = 938,3$
$m_nc^2 = 939,6$
$\Big\}$ $\bar{m}c^2 = 939,0$ μεση μάζα νουκλεονιου

$1uc^2 : 931,5\ MeV$

$1uc^2 < \bar{m}c^2$ λογω BE στο άτομο C

Έλλειμμα μάζας

$\Delta(A,Z) = [\underset{\text{σε } u}{M(A,Z)} - \underset{\text{σε } u}{A}]\underbrace{(1u)c^2}_{931,5 MeV}$

χαρακτηριστικό στοιχειο

της τάξης των δεκάδων MeV

πχ $\Delta(^{40}Ca) = -35,0\ MeV$

$^{40}Ca\ M(Z,A) \simeq 40u$

Επειδη το Δ ειναι πολύ μικρό μπορώ να κάνω αυτη την προσεγγιση

C: $\Delta(12,6) = [12u - 12u] \cdot 931,5 = 0$

C $\Delta(14,6) = [14,00324 - 14u] \cdot 931,5 = 3,01806\ MeV$

$BE(14,6)$

^{40}Ca $\Delta = -34,8\ MeV$ $M(A,Z)$: $\Delta = (M(A,Z) - 40) \cdot 931,5 \Rightarrow M(A,Z) = 39,96$

$\cancel{c^2} m(A,Z) = M(A,Z)\cancel{c^2} - Zm_e\cancel{c^2} = 39,46 - 20 \cdot 0,511 = 29,74$

$BE(A,Z) = Zm_pc^2 + (A-Z)m_nc^2 - m(A,Z)c^2$

$20 \cdot 938,3 + 20 \cdot 939,6 - 29,14 \cdot 9 \cdot 10^{19}$

ΜΕΘΟΔΙΚΟ

$\Delta = \cancel{238}\,(M(A,Z) - 238)931,5 \Rightarrow 41,3 \Rightarrow 0,05 = M(A,Z) - 238 \Rightarrow$

$^{238}U \quad \Delta = 41,3\ MeV \qquad M(A,Z) = \cancel{m(A,Z)}\ 237,95\ MeV$

$\frac{BE}{A} \sim 8\ MeV \qquad m(A,Z) = 237,95 - 92 \cdot 0,511 = 190,49\ MeV$

$BE(A,Z) = 92 \cdot 938,3 + 146 \cdot 939,6 - 190,49 =$

$86326 + 137181 - 190,49 = 223317$

· κάτι δεν πάει καλά...!!

$\boxed{\frac{BE}{A} : 7,5 - 8,5}$

$\Delta < 0$ σταθερότερος από ^{12}C

$\Delta > 0$ ασταθέστερος από ^{12}C

$\downarrow \frac{BE}{A} \rightarrow \uparrow$ αστάθεια

6/11/2022

α/α

$\boxed{M(A,Z)c^2 = m(A,Z)c^2 + Zm_ec^2}$

$\boxed{m(A,Z)c^2 = Zm_pc^2 + Nm_nc^2 - BE(A,Z)}$

$\boxed{\Delta = [M(A,Z) - A](1u)c^2} \quad \boxed{(1uc^2) = 931,5\ MeV}$

$\boxed{BE(A,Z) = Zm_pc^2 + \underset{(A-Z)}{N}m_nc^2 - m(A,Z)c^2}$

Ενέργεια διαχωρισμού

- S_n νετρονίου $\quad {}^{A}_{Z}X_N \rightarrow {}^{A-1}_{Z}X_{N-1} + 1n$

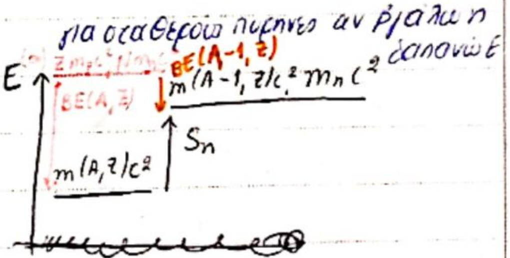
$\boxed{S_n = m(A-1,Z)c^2 + m_nc^2 - m(A,Z)}$

$\boxed{S_n = BE(A,Z) - BE(A-1,Z)}$

τυπική τιμή $S_n \simeq 8MeV$

Στην neutron drip line $\boxed{S_n \rightarrow 0}$

για σταθερούς πυρήνες αν βγάλω n δαπανώ E

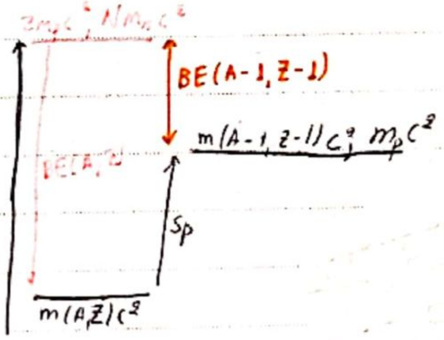


- S_p πρωτονίου $\quad {}^{A}_{Z}X_N \rightarrow {}^{A-1}_{Z-1}Y_N + 1p$

$\boxed{S_p = m(A-1,Z-1)c^2 + m_pc^2 - m(A,Z)}$

$\boxed{S_p = BE(A,Z) - BE(A-1,Z-1)}$

proton drip line $\boxed{S_p \rightarrow 0}$



Υπολογίζω S_n κ S_p των ^{34}Ca, ^{40}Ca, ^{48}Ca, ^{60}Ca, ^{70}Ca με γνωστά $\Delta(A,Z)$ η $M(A,Z)$ η $BE(A,Z)$

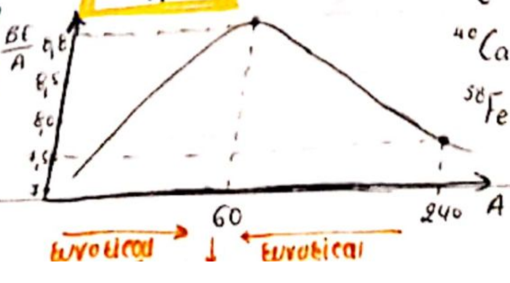
δεν ∃ άρα δεν μπορώ να δω ποια έχουν ενέργεια

$\boxed{BE(A,Z) \propto A}$ Ταρ. γειτονικών νουκλεονίων · x = BE · x

Ένα νουκλεόνιο αλληλεπιδρά με τους άμεσους γείτονές του

Η πυρην. αλ/ση έχει μικρή ισχύ

$\boxed{\frac{BE(A,Z)}{A}} \sim$ σταθ (~8MeV)



$^{12}C \quad BE/A = 7,68 \quad J$

$^{40}Ca \quad BE/A = 8,55 \qquad ^{120}Sn \quad 8,50$

$^{56}Fe \quad BE/A = 8,79 \qquad ^{235}U \quad 7,58$

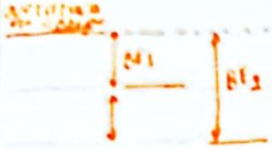
$(R = r_0 A^{1/3})$

$^{12}_{6}C + ^{44}_{20}Ca \longrightarrow ^{56}_{26}Fe$ Να βρεθεί η Ε που εκλύεται, οι ακτίνες των πυρήνων κ το δυναμικό Coulomb (θεωρώ τα φορτία στο κέντρο,

$\frac{E}{A}$ 7,68 8,66 8,79

$V_{coulomb} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1 \cdot Q_2}{R} \Rightarrow Q = Z \cdot e$

$V_{coulomb} = \underbrace{\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot e^2}_{1,44} \frac{Z_1 Z_2}{R_1 + R_2} = \frac{1,44 \cdot 6 \cdot 20}{6,51} = 26,54$ MeV



$E = (7,68 \cdot 12 + 8,66 \cdot 44) - 8,79 \cdot 56$

$R_C = 1,12 \cdot 12^{1/3} = 2,56$ fm

$R_{Ca} = 1,12 \cdot 44^{1/3} = 3,95$ fm

$R_{Fe} = 1,12 \cdot 56^{1/3} = 4,28$ fm

$^{236}U \longrightarrow ^{130}_{50}Sn + ^{106}_{42}Mo + 2n$ βρίσκω $\frac{BE}{A}$, BE, εκλυόμενη Ε (~200MeV), $V_{coulomb}$ όταν τα δύο θραύσματα βρίσκονται σε επαφή

E: 7,57 8,39 8,48

E: 1802 1091 899

E = 1802 − (1091 + 899) = 188 MeV

$V = \frac{1,44 \text{ MeV} \cdot \cancel{fm} \cdot 50 \cdot 42}{11,07 \text{ fm}} = 273$ MeV

$R_{Sn} = 1,12 \cdot 130^{1/3} = 5,67$ fm

$R_{Mo} = 1,12 \cdot 106^{1/3} = 5,30$ fm

$$-BE = m_{AB}c^2 - m_A c^2 - m_B c^2$$

$$BE = -m_{AB}c^2 + m_A c^2 + m_B c^2$$

Μοντέλο υγρής σταγόνας

κλασσικό ανάλογο μιας φορτισμένης υγρής σταγόνας

Εξίσωση Bethe - Weizsacker

$$BE(A,Z) = \underset{volume}{\alpha_v A} - \underset{surface}{\alpha_s A^{2/3}} - \underset{coulomb}{\alpha_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}} - \alpha_a \frac{(N-Z)^2}{A} + \delta(A)$$

- $\alpha_v = 15,9$ MeV
- $\alpha_s = 18,4$ MeV
- $\alpha_c = 0,71$ MeV
- $\alpha_a = 23,2$

$\delta(A) = \pm \frac{\alpha_p}{\sqrt{A}}$

$\alpha_p = 11$ MeV

$BE \propto A$ θεμελιώδης όρο που συνεπάγεται πυρην. σταθ. (πυρήνας δέσμιο σύστημα)

[illegible]

Ενέργεια για να μεταβεί ένα μόριο στην επιφάνεια $\gamma = dW/dS$ $\int_0^{E_s} dE = \int_0^S \gamma dS \Rightarrow E_s = \gamma \cdot S$

$S = 4\pi R^2$ $R = r_0 A^{1/3}$

Έστω Rνουκλ $R_n \sim r_0 = 1,12$ fm

$R = r_0 A^{1/3}$ επιφ. $4\pi r_0^2 \simeq 16 fm^2$ διατομή $\pi r_0^2 = 4 fm^2$ $S = 4\pi r_0^2 A^{2/3}$

$4 fm^2$ αν θέλω να πάω ένα νουκλεόνιο από το εσωτερικό στην επιφάνεια

$E_s = 4\pi r_0^2 \gamma A^{2/3}$

$\gamma = \frac{\alpha_s}{4\pi r_0^2}$

$\gamma = 1,2 MeV/fm$

↓

$\gamma = 1,9 \cdot 10^{17} J/m^2$

μετατρέπω το MeV/fm^2 σε J/m^2

Επιφανειακή τάση πυρήν

$\gamma_{νερό} = 70 mJ/m^2$

$\gamma_{Hg} = \frac{~~500~~}{450} mJ/m^2$

^{34}Ca ~~S_n: 7173·34 keV − 0 = 243,9 MeV~~ δεν υπάρχει ^{33}Ca

S_p: 7173·34 keV − 7392·33 = −54 MeV

^{40}Ca S_n: 8551·40 − 8369·39 = 15,65 MeV

S_p: 8551·40 − 8557·39 = 8,317 MeV

^{48}Ca S_n: 8666·48 − 8639·47 = 9935 keV

S_p: 8666·48 − 8514·47 = 15810 keV

^{60}Ca ×

^{70}Ca X

11/11/2022 **Μοντέλο υγρής σταγόνας (Bethe - Weizsacker)**

$$\boxed{BE(A,Z) = \underbrace{\underset{όγκος}{\alpha_v A} - \underset{επιφάνεια}{\alpha_s A^{2/3}} - \underset{Coulomb}{\alpha_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}}}_{κλασσικοί\ όροι} \underbrace{- \underset{ασυμμετρία}{\alpha_a \frac{(N-Z)^2}{A}} + \underset{συζεύξεως}{\delta(A)}}_{κβαντικοί\ όροι}}$$

$\delta(A) = \pm \frac{\alpha_p}{\sqrt{A}}$

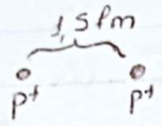
$\alpha_v = 15,9$ MeV $\alpha_a = 23,2$ $\alpha_p = 11$ MeV

$\alpha_s = 18,4$ MeV $\delta(A) = \pm \frac{\alpha_p}{\sqrt{A}}$

$\alpha_c = 0,71$ MeV

όρος Coulomb: $-\frac{a_c \cdot Z(Z-1)}{A^{1/3}}$

2 φορτία q_1, q_2: $U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 \cdot q_2}{r}$



$m_{p_1} c^2 = 938,3$ MeV
$m_{p_2} c^2 = 938,3$ MeV
θα ∃ κ' μια απωστική δυναμη άρα θα λυγίσω κ' μια παραπανω E την οποια δαπανησα για να τα φέρω εκει

2 ομόσημα φορτία q_1, q_2

$$\boxed{U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 \cdot q_2}{r}}$$ E διεγέρσεως

2 μάζες m_1, m_2

$$\boxed{U = -G\frac{m_1 \cdot m_2}{r}}$$ Ενεργεια συνδεσεως

Ομογενής σφαίρα μάζας M $\boxed{U = -\frac{3}{5}G\frac{M^2}{r}}$

Ομογενώς φορτισμένη σφαίρα, φορτίο Q $\boxed{U = \frac{3}{5}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q^2}{r}}$

Πυρήνας $Q = Z \cdot e$

$$E_c = \frac{3}{5}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(Ze)^2}{R} = \frac{3}{5}\overset{1,44\,\text{MeV}\cdot\text{fm}}{\left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\right)}\frac{Z^2}{R} = 1,44\,\text{MeV}\cdot\text{fm}\cdot\frac{3}{5}\frac{Z^2}{R} = 0,86\,\text{MeV}\cdot\text{fm}\frac{Z^2}{R} = \frac{0,86\,\text{MeV}\cdot\text{fm}\,Z^2}{r_0 A^{1/3}} =$$

$$\frac{0,86\,\text{MeV}\cdot\text{fm}\,Z\cdot Z}{1,12\,\text{fm}\,A^{1/3}} = \underbrace{(0,77\,\text{MeV})}_{\text{πολυ κοντά στην } a_c}\frac{Z^2}{A^{1/3}} \Longleftrightarrow$$ ΟΜΩΣ στον όρο Coulomb έχω $Z(Z-1)$

Για ενα p^+: $E_{c,p} = \frac{3}{5}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{R_p} = \frac{3}{5}\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{R_p}$

θα πρέπει να την αφαιρέσω από την προηγουμενη γιατί δεν την χρειαζα για να το χτίσω

$E'_c = E_c - Z E_{cp} =$

$$\frac{3}{5}\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Z^2}{R} - \frac{3}{5}\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Z}{R_p} \overset{\text{προσέγγιση}}{=} \quad (R_p \leftrightarrow R)$$

$$\frac{3}{5}\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Z(Z-1)}{R} \Rightarrow$$

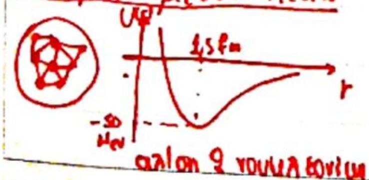
$$E'_c = \underbrace{\frac{3}{5}\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 1,12 r_0}}_{a_c}\frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}$$

όρος ασυμμετρίας: $-\frac{a_a (N-Z)^2}{A}$ ασυμμετρία = $N \neq Z$

ευτος κ' αν Z=N ο όρος έχει (−) κ' άρα είναι αποσταθεροποιητικός

SOS

Δυναμικό μεσου πεδίου



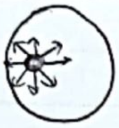
αλλων 2 νουκλεονιων

p-p
n-n
n-p

Σειρά αλληλεπίδρασης: απ. αρχη Pauli

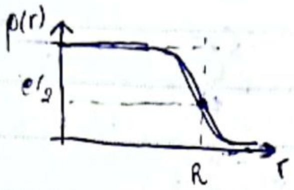
$n\text{-}p \approx n\text{-}n > pp$

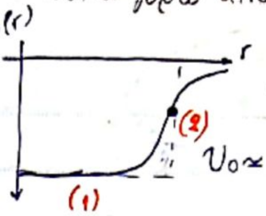
pauli Pauli + απωση Coulomb



μεσο πεδιο: πεδιο που δημιουργουν τα νουκλεονια γυρω απο ενα συγκεκριμενο νουκλεονιο

$U(r) \propto \rho(r)$





αρνητικα επειδή το δυναμικο ειναι ελκτικο

$U_0 \approx -40MeV$.

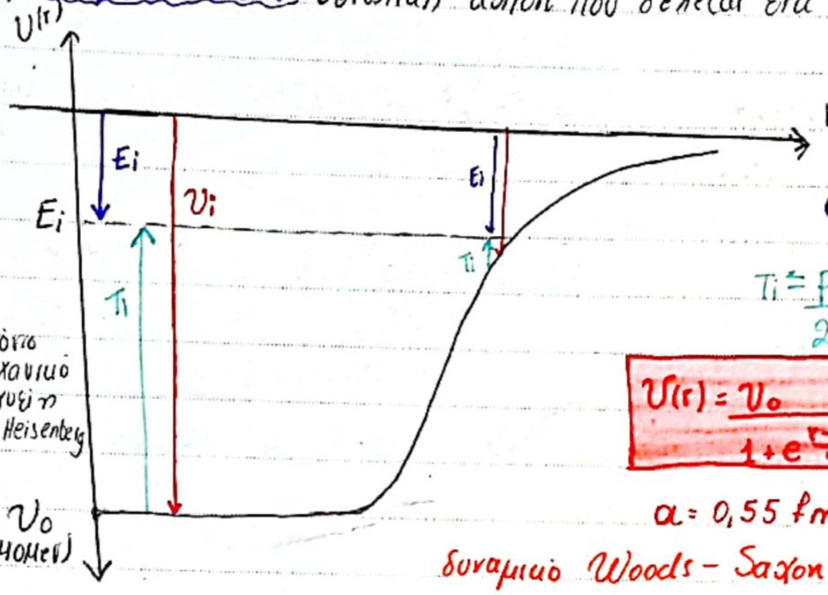
$F = -\frac{dU}{dr}$ $U = σταθ \rightarrow F = 0$

(1) $\Sigma F = 0$.

(2) Δυναμη έχει την κατευθυνση του μειούμενου δυναμικου

αν το νουκλεόνιο ειναι μακριά ⇒ έλξη

Δυναμικό μέσου πεδίου: συνολική αλ/ση που δέχεται ενα νουκλεονιο απο τα υπόλοιπα



! μπορεί το Ei να ταυτιστεί με το U0 άρα Ti=0;
ΟΧΙ, το νουκλεόνιο είναι κβαντομηχανικό σωματίδιο, Ισχύει η αρχη απροσδ. Heisenberg
$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$

$E_i = T_i + U_i$
(-) (+) (-)

$T_i = \frac{p_i^2}{2m} = \frac{1}{2} m v_i^2$

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

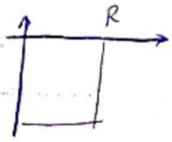
$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1+e^{\frac{r-R}{a}}}$$

$a = 0{,}55\ fm$

δυναμικό Woods-Saxon

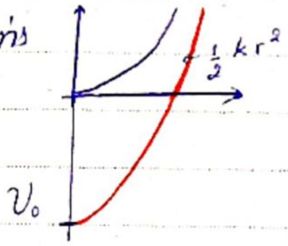
Προσεγγιστικές μορφές

α) τετραγωνικό δυναμικό



β) αρμονικός ταλαντωτής

$U(r) = U_0 + \frac{1}{2} kr^2$

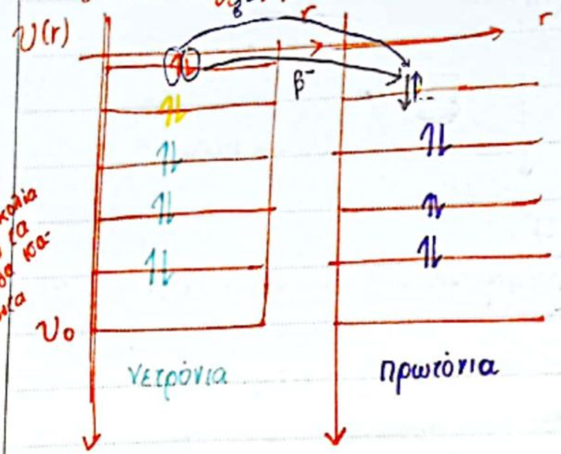


Όρος ασυμμετρίας:

${}^{12}_{6}C_6$ ∞ ${}^{16}_{6}C_{10}$ $t_{1/2} = 0{,}75$

${}^{14}_{6}C_8$ $t_{1/2}$ 5730yr

Απλό διάγραμμα ενεργειακών επιπέδων



για ευκολία θεωρώ τα επίπεδα ισαπέχοντα

$^{12}_{6}C_6$

για $^{14}_{6}C_8$ (τα προηγούμενα συν τα κίτρινα)

$^{16}_{6}C_8$

εξ' αιτίας της δύναμης Coulomb το σκαλοπατάκι του επιπέδου θα 'ναι ελάχιστα ψηλότερο ~1 MeV (αμελητέο)

για $^{12}_{6}C_6$

Όσο πιο πολλά n βάζω η απόσταση των επιπέδων En κ' των p αυξάνεται πάρα πολύ κ' άρα ο πυρήνας αποσταθεροποιείται

Ο πυρήνας θα ήθελε να μετατρέψει τα n → p

$$^{16}_{6}C_{10} \xrightarrow{\beta^-} {}^{16}_{7}N_9 \xrightarrow{e^-} {}^{16}_{8}O_8$$

1.ο Ζωγραφίζω το ενεργειακό διάγραμμα $^{30}_{10}Ne_{20}$ $t_{1/2}$ = 6~~00~~ ms κ μετατρέπω με β^- διασπάσεις μέχρι τον σταθερό $^{30}_{15}P_{15}$

-Όρος: συζεύξεως · δ(A) $\delta(A) = \pm\frac{a_p}{\sqrt{A}}$

$$\delta(A) = \left\{ \begin{array}{l|c|c|l} & Z & N & \\ +a_p/\sqrt{A} & e & e & \text{πχ } {}^{12}_{6}C_6 \\ \varnothing & \left\{ \begin{array}{c} e \\ o \end{array} \right. & \left. \begin{array}{c} o \\ e \end{array} \right\} & \rightarrow {}^{13}_{6}C_7 \quad {}^{13}_{7}N_6 \\ -a_p/\sqrt{A} & o & o & {}^{14}_{7}N_7 \end{array} \right.$$

άρτιο = e
περιττός = o

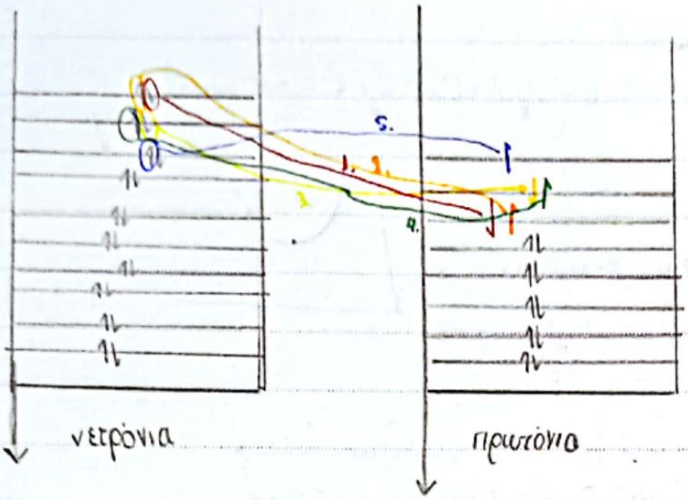
αριθμός σταθερών πυρήνων e-e : 171
— ıı — e-o : 50
— ıı — o-e : 56
— ıı — o-o : 4 ← 4 πρώτοι με περιττό Z (1, 3, 5, 7) $^{2}_{1}H$ $^{6}_{3}Li$ $^{10}_{5}B$ $^{14}_{7}N$

1.ο Υπολογίζω BE με ldm για $^{18}_{9}F_9$, $^{26}_{13}Al_{13}$, $^{40}_{20}Ca_{20}$, $^{60}_{20}Ca_{40}$, $^{56}_{26}Fe_{30}$, $^{78}_{26}Fe_{52}$ $^{238}_{92}U_{146}$, $^{55}_{26}Fe_{29}$, $^{55}_{25}Mn_{30}$

F , Al προσοχή στα πρόσημα!!! BE , $\frac{BE}{A}$, (S_n , S_p) → για ^{56}Fe

1.

$^{30}_{10}Ne_{20}$



$$^{30}_{10}Ne_{20} \xrightarrow{\beta^-} {}^{30}_{11}Na_{19} \xrightarrow{\beta^-} {}^{36}_{12}Mg_{18} \xrightarrow{\beta^-} {}^{30}_{13}Al_{17} \xrightarrow{\beta^-} {}^{30}_{14}Si_{16} \xrightarrow{\beta^-} {}^{30}_{15}P_{15}$$

2. BE =	$\overset{15{,}9MeV}{a_v A}$ (MeV)	$-\overset{18{,}4MeV}{a_s} A^{2/3}$ (MeV)	$-\overset{0{,}71MeV}{a_c} \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}$	$-\overset{23{,}2MeV}{a_a} \frac{(N-Z)^2}{A}$ (MeV)	$\pm \overset{11MeV}{a_p}/\sqrt{A}$	BE	BE/A
$^{18}_{9}F_9$	286,2	-426,4	-19,5	0	- 2,6	137,7	7,65
$^{26}_{13}Al_{13}$	413,4	-161,5	- 37,4	0	- 2,2	212,3	8,17
$^{40}_{20}Ca_{20}$	636	- 215,2	- 78,9	0	+ 1,7	343,6	8,59
$^{60}_{20}Ca_{40}$	954	-282,0	- 68,9	- 154,7	+ 1,4	449,8	7,50
$^{55}_{26}Fe_{29}$	874,5	-266,1	- 121,3	- 3,8	0	483,2	8,79
$^{56}_{26}Fe_{30}$	890,4	- 269,3	-120,6	- 6,6	+ 1,5	495,3	8,85
$^{78}_{26}Fe_{52}$	1240,2	- 335,9	- 108,0	- 201,0	+ 1,2	596,4	7,65
$^{238}_{92}U_{146}$	3784,2	-706,6	- 959,1	- 284,2	+ 0,7	1834,8	7,71
$^{55}_{25}Mn_{30}$	874,5	-266,1	- 112,0	- 10,5	0	485,8	8,83

$^{56}_{26}Fe$

$S_n = BE(A,Z) - BE(A-1,Z) = 495{,}3 - 483{,}2 = 12{,}1$ MeV

$S_p = BE(A,Z) - BE(A-1,Z-1) = 495{,}3 - 485{,}8 = 9{,}5$ MeV.

18/11/2022 **Παραβολές μαζών**

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

$m(A,Z) = a \cdot A + b \cdot Z + \gamma \cdot Z^2 - \delta(A)$ ↘ παραβολη

$$\delta(A) = \begin{cases} +\frac{a_p}{\sqrt{A}} & ee \quad A = e \\ 0 & eo \text{ ή } oe \quad A = 0 \\ -\frac{a_p}{\sqrt{A}} & oo \quad A = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} a = m_n c^2 - a_v + \frac{a_s}{A^{1/3}} + a_a \\ b = (m_p - m_n)c^2 - \frac{a_c}{A^{1/3}} - 4a_a \rightsquigarrow b \simeq -4a_a \\ \gamma = \frac{a_c}{A^{1/3}} + \frac{4a_a}{A} \end{cases}$$

Έστω A=odd, δ(A)=0

$\frac{\partial m(A,Z)}{\partial Z} = \beta + 2\gamma Z \xrightarrow{\text{ακρότατο}} \frac{\partial m}{\partial Z}=0 \Rightarrow \beta + 2\gamma Z = 0 \Rightarrow 2\gamma Z = -\beta \Rightarrow Z = -\frac{\beta}{2\gamma}$

$\frac{\partial^2 m(A,Z)}{\partial Z^2}$ → >0 ελαχιστο, → <0 μεγιστο

$= 2\gamma > 0$ ελάχιστο

$Z_{min} = -\frac{\beta}{2\gamma}$

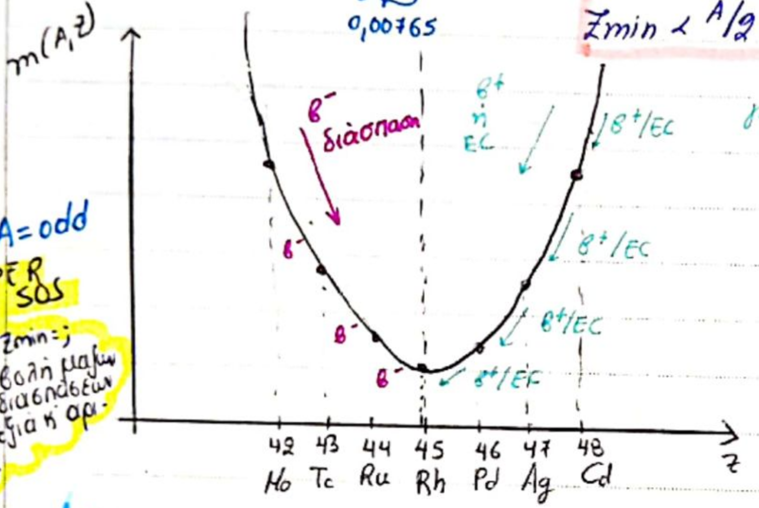
$Z_{min} = -\frac{\beta}{2\gamma} = \frac{A}{2} \cdot \frac{1}{1+\underbrace{\frac{1}{4}\frac{a_c}{a_a}}_{0,00765} A^{2/3}} \rightarrow \boxed{Z_{min} = \frac{A}{2} \text{ για ελαφρούς πυρήνες}}$

$\boxed{Z_{min} < A/2 \text{ για } \uparrow A}$

A=odd

SUPER SOS

f.
=99, Zmin=;
παραβολή μαζών
ειδη διασπάσεων
απο δεξιά κ' αρι-
στερα



για να γίνει σχάση πρέπει να'μαι πολύ πάνω (↑A)

A = 103

↳ Zmin = 44,9

$Z_{min} = \frac{103}{2} \cdot \frac{1}{1+\underbrace{\frac{1}{4}\frac{a_c}{a_a}}_{0,00765} \cdot 103^{2/3}} = 44,9$

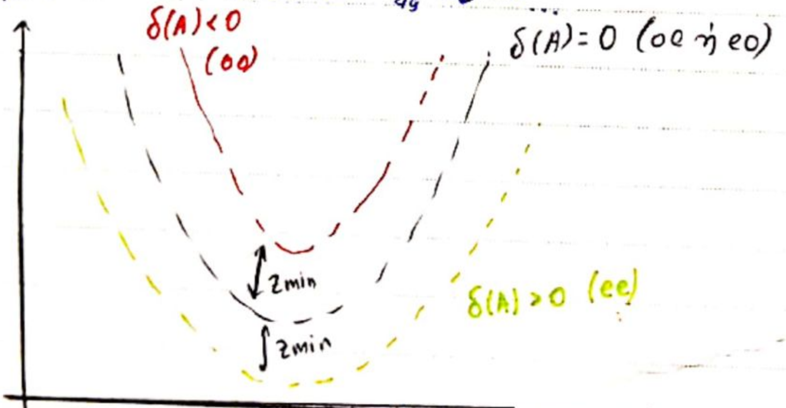
↑m(A,Z) → ↓BE A → ↑ασταθής πυρήνας

I_T =

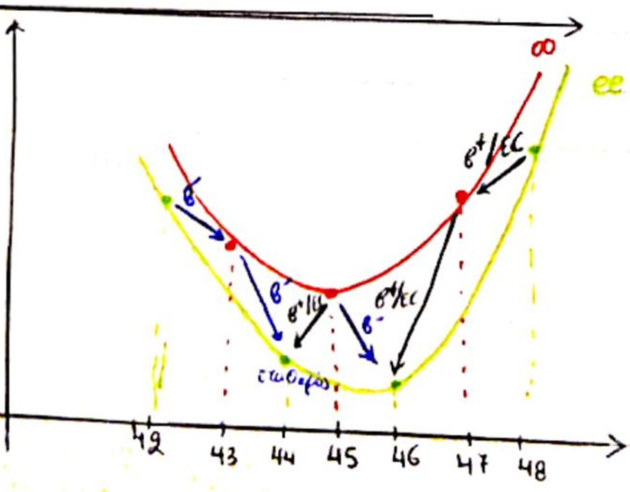
${}^{103}_{42}Mo \xrightarrow{\beta^-} {}^{103}_{43}Tc$

${}^{103}_{50}Sn \xrightarrow{\beta^+} {}^{103}_{49}Cd \xrightarrow{\beta^+} \ldots$

A=even (όχι το μαύρο)



A = 104



oo δίνουν κ β⁻ κ β⁺

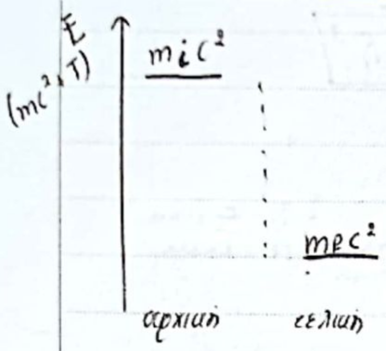
β⁻ → θεραπεία, β⁺ → καλό για PET

τα oo δίνουν ταυτόχρονη απεικόνιση κ' θεραπεία πχ ${}^{64}Cu$ θεραγνωστικοί πυρήνες

ασκ. διάγραμμα ${}^{64}_{29}Cu_{35}$ Zmin ασκ. βρίσκω το Z_{min} για $A = 18, 40, 131, \overset{211}{,} 238$

κοιλάδα σταθερότητας (valley of stability): ελάχιστο καμπύλης παραβολών μαζών

Q-value διεργασίας



μεταβολή μάζας της διεργασίας

$$\downarrow$$

$$\boxed{Q = m_i c^2 - m_f c^2}$$

διατήρηση ενέργειας: $E_i = E_f \Rightarrow m_i c^2 + T_i = m_f c^2 + T_f \Rightarrow$

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

$$\boxed{Q = T_f - T_i}$$

- διασπάσεις $\underset{m_A c^2}{A} \rightarrow \underset{m_B c^2}{B} + \underset{m_C c^2}{C}$ $\quad Q = m_A c^2 - (m_B c^2 + m_C c^2) =$

$$Q = (T_B + T_C) - T_A \xrightarrow{T_A = 0} \boxed{Q = T_B + T_C}$$

- αντίδραση $\underset{m_A c^2}{A} + \underset{m_B c^2}{B} \rightarrow \underset{m_C c^2}{C} + \underset{m_D c^2}{D}$ $\quad Q = (m_A c^2 + m_B c^2) - (m_C c^2 + m_D c^2)$

$$Q = (T_C + T_D) - (T_A + T_B) \xrightarrow{T_B = 0} Q = T_C + T_D - T_A$$

Διερεύνηση

- $Q > 0$ διάσπαση (προϋπόθεση για να γίνει)
- $Q > 0$ αντίδραση

  $Q = 0$ αντίδραση ελαστική σκέδαση, δεν εκλύεται ούτε απορροφάται E

  $Q < 0$ αντίδραση δίνω στο βλήμα αρκετή T για να υπερβεί την αρνητική Q

Χαρακτηριστικές τιμές Q για διασπάσεις

$Q \sim 1\,MeV$ $\quad \beta^-, \beta^+/EC$

$Q_\alpha \sim 5\,MeV$ $\quad \alpha$

$Q \sim 200\,MeV$ $\quad$ σχάση

Q α ενεργειακή απόδοση πυρηνικής διεργα

$\downarrow$

αντίστοιχο του ΔH στις χημικής αντίδρασης

$\Delta H = H_f - H_i$

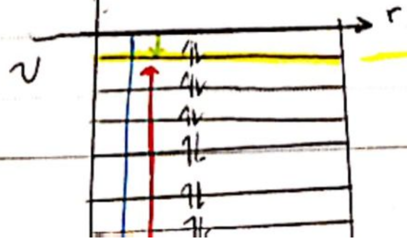
$\Delta H < 0$ εξώθερμη $(Q > 0)$

$\Delta H > 0$ ενδόθερμη $(Q < 0)$

$\Delta H = 0$ $(Q = 0)$

- ασκ $^{238}U \longrightarrow {}^{132}_{50}Sn + {}^{96}_{49}Mo$ $\quad$ Q value (από πίνακα μαζών)
- ασκ Q value ορισμός κ' διερεύνηση για διάσπαση κ' αντίδραση

Μοντέλο αερίου Fermi (Fermi gas model)

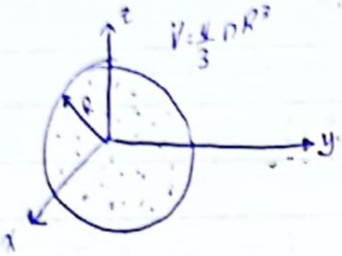
Θεωρούμε δέσμιο σύστημα N φερμιονίων ενός είδους:

για N φερμιόνια θέλω N/2 ενεργειακά επίπεδα

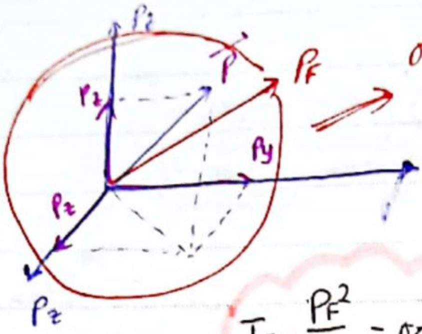
το τελευταίο ονομάζεται επίπεδο Fermi

$$\downarrow$$

$$E = T + V \qquad \boxed{E_F = T_F + U_F}$$

ασκ. να ζωγραφίσουμε για ένα δέσμιο σύστημα N e⁻ ένα διάγραμμα κ δείχνω E, T, V
E_F κ T_F
(που είναι στο διάγραμμα;)





σφαιρα ορμών ή σφαιρα fermi με ακτίνα P_F

$$\boxed{V_F = \frac{4}{3}\pi P_F^3}$$

$$T_F = \frac{P_F^2}{2m} = \sigma\tau\alpha\theta \rightsquigarrow P_F = \sigma\tau\alpha\theta$$

$T_F = T_{max}$
$P_F = F_{max}$

$$E_F = T_F + U = \frac{P_F^2}{2m} + U$$

"Θεώρημα h^3"

χώρος φάσεων (φασικός χώρος)

$\boxed{V_\varphi = V_F \cdot V}$ (όγκος στον χώρο των φάσεων)

Ένα ενεργειακό επίπεδο καταλαμβάνει χώρο h^3 στο χώρο των φάσεων

$\frac{N}{2}$

$$V_\varphi = V \cdot V_F$$

$$\frac{N}{2} = \frac{V \cdot V_F}{h^3} \Rightarrow \frac{N}{2} = \frac{V \cdot 4\pi P_F^3}{3h^3} \Rightarrow \frac{N}{V} = \frac{2 \cdot \frac{4}{3}\pi P_F^3}{h^3} \overset{\rho = \frac{N}{V}}{\Rightarrow} \rho = \frac{\frac{8}{3}\pi P_F^3}{h^3} \Rightarrow$$

$$\boxed{P_F = \hbar (3\pi^2)^{1/3} \rho^{1/3}} \to P_F \cdot c = c\hbar (3\pi^2)^{1/3} \rho^{1/3} \ *$$

για πυρήνα $A = N + Z$ $\quad \rho = \rho_n + \rho_p \xrightarrow{N=Z} \rho_n = \rho_p = \frac{\rho}{2} = 0{,}08\ ^{p}/_{fm^3}$ ή $^{n}/_{fm^3}$

* για πρωτόνια κ νετρόνια (ξεχωριστά) $\quad P_F c \simeq 250\,MeV \quad\quad \rho = 0{,}16\ ^{\text{νουκλ}}/_{fm^3}$

$$P_F = 250\,\frac{MeV}{c}$$

$\hbar c = 197{,}3\,MeV \cdot fm$ ασκ. να το αποδείξω

$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} = 1{,}44\,MeV \cdot fm$

$\hbar = 1{,}0 \cdot 10^{-34}\,J \cdot s$

ασκ. να υπολογίσει όπου η P_F για $\rho = 0{,}08\ ^{p}/_{fm^3}$ ή $^{n}/_{fm^3}$
να βρεθούν η U_F κ η T_F ($\simeq 33\,MeV$)

$$P_F = U_F \cdot m \Rightarrow P_F \cdot c = U_F \cdot m \cdot c \to \frac{U_F}{c} \cdot mc^2 = P_F \cdot c \Rightarrow \frac{U_F}{c} = \frac{P_F \cdot c}{c^2 m} = \frac{250}{931{,}5} \simeq 0{,}27\,c$$

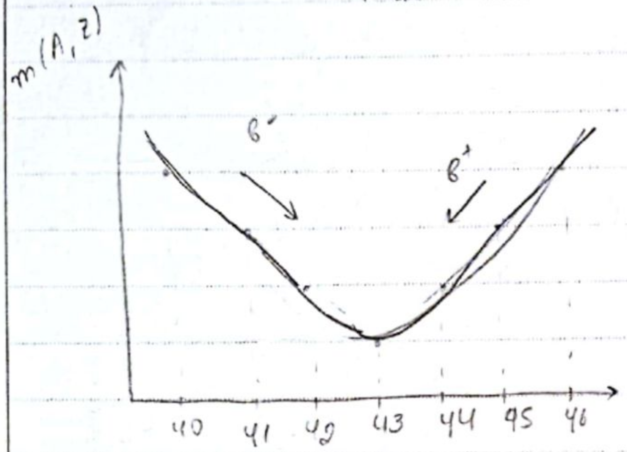
$$\boxed{\langle T \rangle = \frac{3}{5} T_F} \to \langle T \rangle = \frac{3}{5} \cdot 33\,MeV = \frac{1}{2} m U^2 \to U \sim 0{,}2c$$

ασκ 1

A = 99 $Z_{min} = \frac{A}{2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{4}\frac{a_c}{a_a} A^{2/3}} = \frac{99}{2} \frac{1}{1 + 0,00765 \; 99^{2/3}} = \frac{99}{2,327} = 42,5$

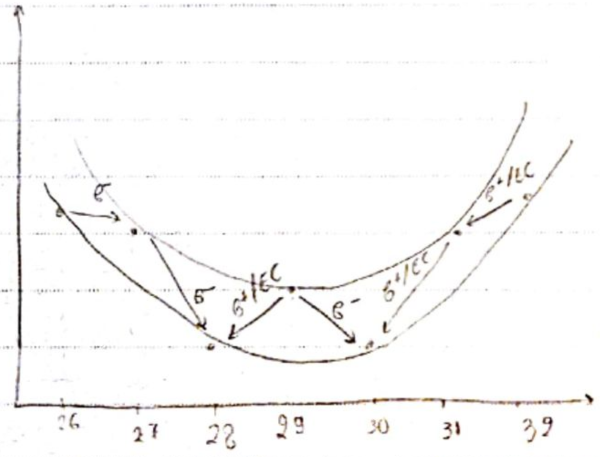
↓

Εδώ απλοποιώ



ασκ 2 $^{64}_{29}Cu_{35}$

$Z_{min} = \frac{64}{2} \frac{1}{1 + 0,00765 \; 64^{2/3}} = \frac{64}{2,245} = 28,50$



ασκ 3

A = 18 $Z_{min} = \frac{18}{2} \frac{1}{1 + 0,00765 \cdot 18^{2/3}} = \frac{9}{1,053} = 8,56$

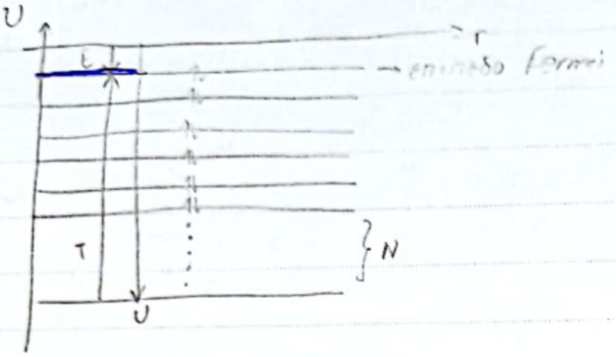
A = 40 $Z_{min} = 20 \frac{1}{1 + 0,00765 \cdot 40^{2/3}} = \frac{20}{1,089} = 18,37$

A = 131 $Z_{min} = \frac{131}{2} \frac{1}{1 + 0,00765 \cdot 131^{2/3}} = \frac{131}{2,395} = 54,70$

A = 211 $Z_{min} = \frac{211}{2} \frac{1}{1 + 0,00765 \cdot 211^{2/3}} = \frac{211}{2,542} = 83,00$

A = 238 $Z_{min} = \frac{238}{2} \frac{1}{1 + 0,00765 \cdot 238^{2/3}} = \frac{238}{2,588} = 91,96$

ασκ 6



Tr κ Ec = T κ E ;

ασκ 4

$^{238}U \longrightarrow {}^{132}Sn + {}^{106}Mo$

238,046 131,918 $\overset{105,92}{\cancel{95,90}}$

$Q_A = 238,046 - 131,918 - \overset{105,92}{\cancel{95,905}} = \overset{0,21}{\cancel{10,229}}\ u\ \underbrace{c^2}_{931,5\ MeV}$

~~9.521,193MeV~~

195,61 MeV

ασκ 5

Q value: μεταβολή μάζας σε μια διεργασία

η ενέργεια που εκλύεται ή απορροφάται σε μια πυρηνική διεργασία

$Q > 0$ διάσπαση

αντίδραση $Q > 0$

$Q = 0$ ελαστική σκέδαση

$Q < 0$ δίνω T στο βλήμα αρκετή για να υπερβεί την δαπανική Q

ασκ 7

$1 MeV = 1,6 \cdot 10^{-13} J$

Ν.δ.ο. $\hbar c = 197,3\ MeV \cdot fm$

$\hbar \cdot c = (1,05 \cdot 10^{-34} J \cdot \cancel{s})(3 \cdot 10^8 \frac{m}{\cancel{s}}) = 3,15 \cdot 10^{-26}\ m \cdot J = 3,15 \cdot 10^{-11} \cdot \overbrace{10^{-15} m}^{fm} J = 3,15\ 10^{-11} fm \cdot J =$

$3,15 \cdot 10^{-11} fm \frac{MeV}{1,6 \cdot 10^{-13}} = 196,87\ MeV\ fm$

22/11/2022

Μοντέλο των φλοιών

Εξίσωση Schrödinger $H\Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \xrightarrow{\text{χρον. ανεξαρτ.}} H\Psi = E\Psi$

$H = T + U$

αν έχω N σωματίδια:

$E = E_1 + E_2 + \ldots + E_N$

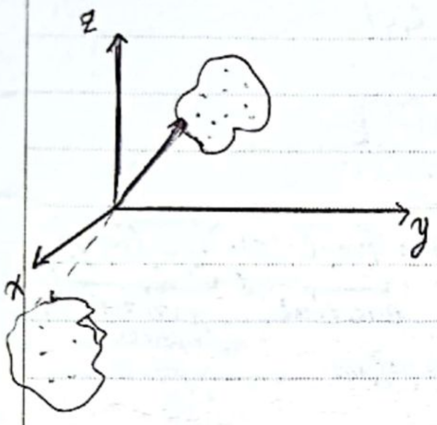
$\Psi = \Psi_1 \cdot \Psi_2 \cdot \ldots \Psi_N$

(πρέπει όμως να λάβω υπόψη την απαγορευτική αρχή του Pauli)

$\Psi(\vec{r}, t)$ χρονικώς εξαρτημένη κυματοσυνάρτηση

- χρονικώς ανεξάρτητη κυματοσυνάρτηση: $\Psi(\vec{r}, t) = \psi(\vec{r}) \cdot e^{i\frac{E}{\hbar}t}$

στάσιμη κατάσταση



$\vec{r} \to -\vec{r}$ αναστροφή χώρου αλλάζω τις συντεταγμένες $\forall$ μόριο

αλλάζουν οι ιδιότητες;

$H = T + U = \frac{p^2}{2m} + U(r)$ αν βάλω όπου $\vec{r} \to -\vec{r}$ η H δεν αλλάζει άρα δεν αλλάζει κ' η συμπεριφορά του σωματιδίου (εκτός κ' αν έχω πειραματικά)

$$|\psi(\vec{r})|^2 = |\psi(-\vec{r})|^2 \Leftrightarrow \begin{cases} \psi(-\vec{r}) = +\psi(\vec{r}) & \text{θετική ομοτιμία (parity)} \\ \psi(-\vec{r}) = -\psi(\vec{r}) & \text{αρνητική ομοτιμία (parity)} \end{cases}$$

πχ. $\Psi(x) = ax^2 \to \Psi(-x) = ax^2$ (+) ..... ορίζω την parity

$\Psi(x) = bx \to \Psi(-x) = -bx$ (−)

$\Psi(x) = ax^2 + bx \to$ δεν έχει parity, δεν έχει λύση στην εξ. Schrödinger

$\Psi(\vec{r}) = \Psi(r, \theta, \varphi)$

ιβαντ. αριθμ. τροχιακής στροφορμής 1, 2...

$\Pi = (-1)^{l}$

$\downarrow$

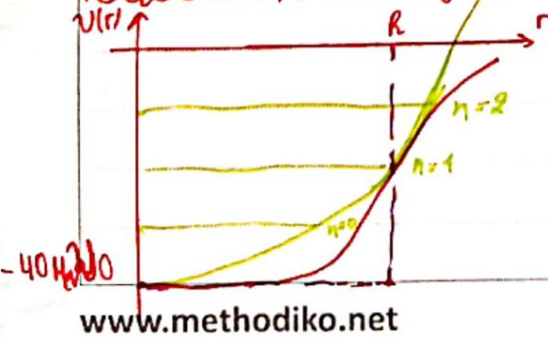
parity

Η parity της κυματοσυνάρτησης έχει πρόσημο από τον πολ/σμό των parities των σωματιδίων

$\Psi = \Psi_1 \cdot \Psi_2 \cdots \Psi_n \to \Pi = \Pi_1 \cdot \Pi_2 \ldots \Pi_n = (-1)^{l_1} \cdot (-1)^{l_2} \ldots (-1)^{l_n}$

Η parity για ένα απομονωμένο σύστημα διατηρείται.

Πυρηνικό μοντέλο φλοιών (Shell model)



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

αρμονικός ταλαντωτής

$U(r) = U_0 + \frac{1}{2}kr^2$

(−)

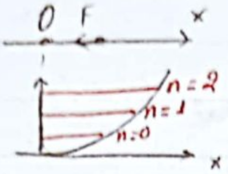
$$U(r) = \begin{cases} U_0 & \text{για } r \le R \\ 0 & \text{για } r > R \end{cases}$$ τετραγωνικό δυναμικό

αρμονικός ταλαντωτής (1D)

$F(x) = -kx$ $\qquad k = m\omega^2$

$U(x) = \frac{1}{2} k x^2$ $\qquad \omega = 2\pi\nu$

$F(x) = -\frac{dU}{dx}$



$E_n = \hbar\omega(n + 1/2)$

$n: 0, 1, 2 \ldots$

$n:0 \quad E = \frac{1}{2}\hbar\omega$ το n=0 → E≠0 λόγω της αρχής αβεβαιότητας

⇕

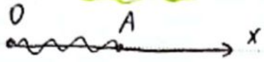
$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$

Τρισδιάστατος αρμονικός ταλαντωτής (3D) τρισδιάστατος, ισότροπος

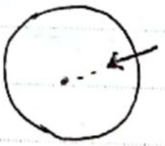
$F(r) = -k \cdot r$

$$\boxed{F(r) = -\frac{dU}{dr}}$$

$U = \frac{1}{2} k r^2$



$(x, y, z) \rightarrow (r, \theta, \varphi)$



$$\boxed{E_n = U_0 + \hbar\omega(n + 3/2)}$$

Εξίσωση E επιπέδων ισότροπου αρμονικού ταλαντωτή

3 διαστάσεις

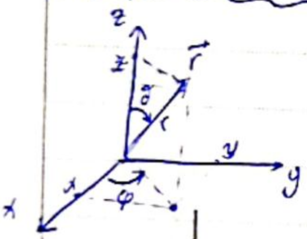
$E_n = \hbar\omega\,(n + \overset{\swarrow}{3}/2)$ $\quad$ (για $n=0$ $E = \frac{3}{2}\hbar\omega$)

$$\psi(\vec{r}) \equiv \psi(r, \theta, \varphi) = \underbrace{R_{n,\ell} \cdot (r)}_{\text{ακτινικό}} \cdot \underbrace{Y_{\ell, m_\ell}(\theta, \varphi)}_{\text{γωνιακό}}$$

$n = 0, 1, 2 \ldots$ $\qquad$ σφαιρικές αρμονικές

ℓ: κβαντ. αρ. τροχ. στροφορμής

Σφαιρικές συντεταγμένες



$z = r\cos\theta$

$x = (r\sin\theta) \cdot \cos\varphi$

$y = (r\sin\theta) \cdot \sin\varphi$

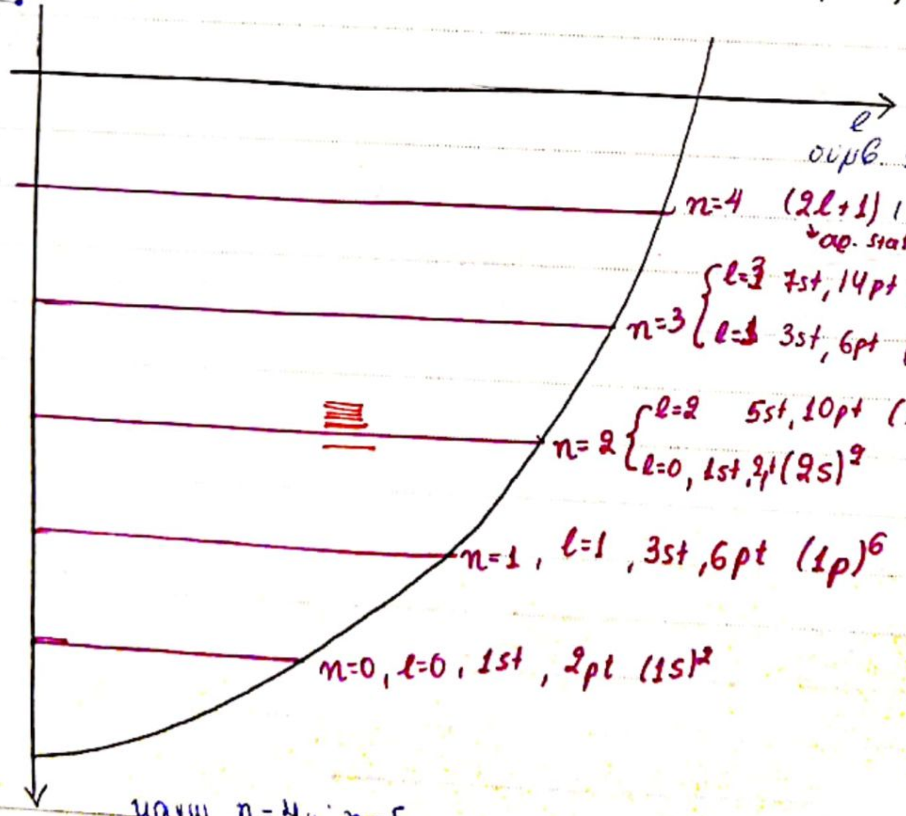
κανόνας επιλογής

$\boxed{n - \ell \geq 0 \text{ άρτιος}} \Rightarrow n: 0, 1, 2, 3$

$\forall n \rightarrow \ell$ έως n

$\forall \ell \rightarrow m_\ell = -\ell, -\ell+1, .. 0$

$n:0 \rightarrow \ell = 0$
$n = 1 \rightarrow \ell = 1$
$n = 2 \rightarrow \ell: 0 / \ell = 2$



ℓ	0	1	2	3	4	5
συμβ.	s	p	d	f	g	h
(2ℓ+1)	1	3	5	7	9	11

n=4 (2ℓ+1) → αρ. states

n=3 $\begin{cases} \ell=3 & 7st, 14pt \ (1f)^{14} \\ \ell=1 & 3st, 6pt \ (2p)^6 \end{cases}$

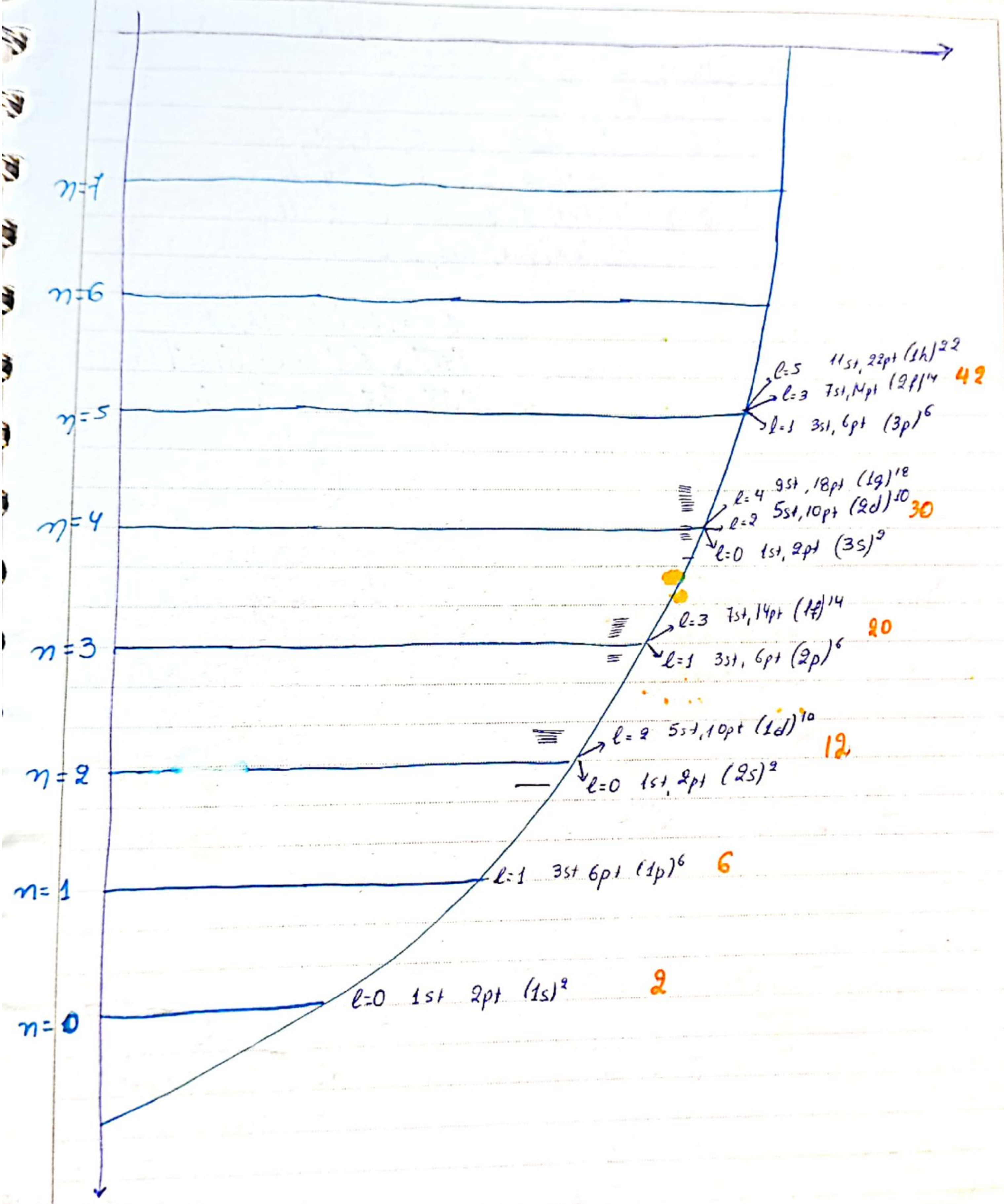
n=2 $\begin{cases} \ell=2 & 5st, 10pt \ (1d)^{10} \\ \ell=0, & 1st, 2pt \ (2s)^2 \end{cases}$

n=1, ℓ=1, 3st, 6pt $(1p)^6$

n=0, ℓ=0, 1st, 2pt $(1s)^2$

:=state
t=particle

κάτω n=4 ή n=5


n=7
n=6
ℓ=5 11st, 22pt $(1h)^{22}$
ℓ=3 7st, 14pt $(2f)^{14}$
42
n=5
ℓ=1 3st, 6pt $(3p)^6$
ℓ=4 9st, 18pt $(1g)^{18}$
ℓ=2 5st, 10pt $(2d)^{10}$
30
n=4
ℓ=0 1st, 2pt $(3s)^2$
ℓ=3 7st, 14pt $(1f)^{14}$
20
n=3
ℓ=1 3st, 6pt $(2p)^6$
ℓ=2 5st, 10pt $(1d)^{10}$
12
n=2
ℓ=0 1st, 2pt $(2s)^2$
n=1
ℓ=1 3st 6pt $(1p)^6$
6
ℓ=0 1st 2pt $(1s)^2$
2
n=0

25/11/2022

$\vec{L} \equiv \vec{\ell}$

Πυρηνικό Μοντέλο Φλοιών

σύζευξη στροφορμή νουκλεονίου
s=spin νουκλεονίου

$V(r) = V_0 + \frac{1}{2} k r^2 - \overbrace{a \cdot \vec{\ell} \cdot \vec{s}}$

$E_n = V_0 + \hbar\omega(n + 3/2) - a\langle\vec{\ell}\cdot\vec{s}\rangle$

αναμενόμενη τιμή εσωτερικού

$n = 0, \; 1, \; 2, \; 3, \; 4$

$\ell = 0 \quad 1 \quad \overbrace{0 \; 2} \quad \overbrace{1 \; 3} \quad \overbrace{0, 2, 4}$

s p s d p f s d g

$\boxed{n - \ell = 2(N-1)}$ $N = 1, 2, 3$ $\boxed{N = \frac{n-\ell}{2} + 1}$

άρτιο

$\ell = 0, \; 1, \; 2, \; 3, \; 4, \; 5$

τροχ. s p d f g h

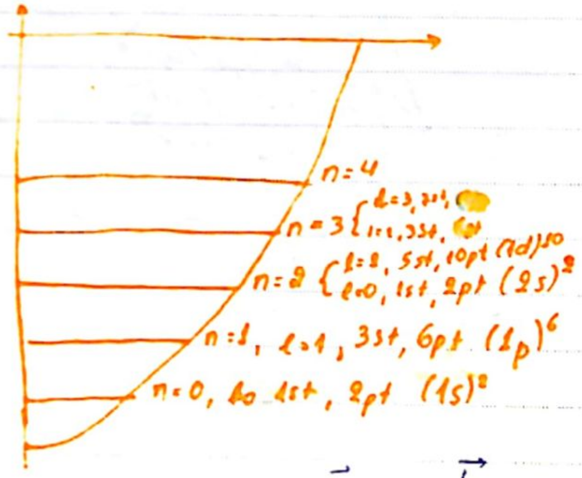
$(2\ell+1)$ 1 3 5 7 9 11

$\hookrightarrow m_\ell = -\ell, -\ell+1, \dots \ell$

$\vec{\ell}\cdot\vec{s} = |\vec{\ell}| \cdot |\vec{s}| \cos(\vec{\ell}, \vec{s})$

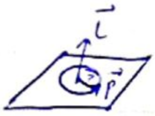
$\vec{\ell} \uparrow\uparrow \vec{s} \Rightarrow \vec{\ell}\cdot\vec{s} = (max) = |\vec{\ell}| \cdot |\vec{s}|$

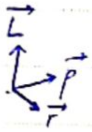
$\vec{\ell} \downarrow\uparrow \vec{s} \Rightarrow \vec{\ell}\cdot\vec{s} = -|\vec{\ell}| \cdot |\vec{s}|$ (min)



spin ↑ ή ↓ με την στροφορμή

$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$





ΚΛΑΣΙΚΑ

$\vec{\ell}\cdot\vec{s} = j$

$\vec{J} = \vec{\ell} + \vec{s}$

$|\vec{J}|^2 = |\vec{\ell} + \vec{s}|^2 = (\vec{\ell}+\vec{s})(\vec{\ell}+\vec{s}) = |\vec{\ell}|^2 + |\vec{s}|^2 + 2(\vec{\ell}\cdot\vec{s}) = \vec{\ell}\cdot\vec{s} = \frac{1}{2}\left[|\vec{J}| - |\vec{\ell}|^2 - |\vec{s}|^2\right]$

ΚΒΑΝΤΙΚΑ

$\vec{\ell} \rightarrow \underline{|\vec{\ell}|^2 = \hbar^2 \ell(\ell+1)}$ ②, $\ell_z = \hbar m_\ell \begin{cases} \ell = 0, 1, 2 \dots \\ m_\ell = -\ell, \dots 0, \dots \ell \end{cases}$

$\vec{s} \rightarrow |\vec{s}|^2 = \hbar^2 (s+1) s$, $s_z = \hbar m_s$

για $s = 1/2$ $\underline{|\vec{s}|^2 = \hbar 3/4}$ ③ $s_z = \pm\hbar\frac{1}{2}$

$\forall j$ $\underline{|\vec{j}|^2 = \hbar j(j+1)}$ ④ $J_z = \hbar m_j$

$-j \dots +j$

<u>αν έχω</u> $\vec{J_1}, \vec{J_2}$ $\vec{J} = \vec{J_1} + \vec{J_2}$

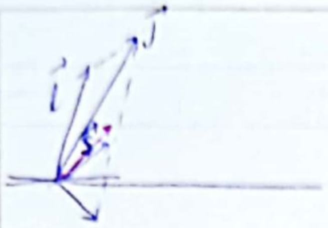
$j = |j_1 - j_2|, \dots, (j_1 + j_2)$

αν j=ακέραιος, m_j περνάει από το 0
αν j=ημιακέραιος, m_j ΔΕΝ περνάει από το 0

$\underline{\vec{\ell}\cdot\vec{s} = \frac{1}{2}\left[|\vec{J}|^2 - |\vec{\ell}|^2 - |\vec{s}|^2\right]}$ ①

$\vec{\ell}, \vec{s} \rightarrow \vec{J} = \vec{\ell} + \vec{s} \Rightarrow \boxed{j = \underbrace{\ell - \frac{1}{2}}_{\vec{\ell}\uparrow\downarrow\vec{s}}, \; \underbrace{\ell + \frac{1}{2}}_{\vec{\ell}\uparrow\uparrow\vec{s}}}$

(4α) (4β)

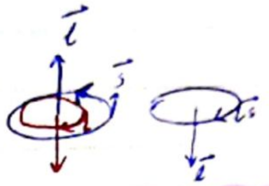


$$\vec{l}\cdot\vec{s} = \begin{cases} -(l+1)\frac{\hbar^2}{2} & \text{για } j = l-\frac{1}{2} \quad (\vec{l}\uparrow\downarrow\vec{s}) \\ +l\frac{\hbar}{2} & \text{για } j = l+1/2 \quad (\vec{l}\uparrow\uparrow\vec{s}) \end{cases}$$

$\vec{l}\cdot\vec{s}$ spin orbit interaction

$$-a\vec{l}\vec{s} = \begin{cases} +(l+1)\frac{\hbar^2}{2}a & \text{για } j = l-1/2 \quad (\vec{l}\uparrow\downarrow\vec{s}) \\ -al\frac{\hbar}{2} & \text{για } j = l+\frac{1}{2} \quad (\vec{l}\uparrow\uparrow\vec{s}) \end{cases}$$

$$E_{n,l} \begin{cases} +a(l+1)\frac{\hbar^2}{2} & \text{για } j = l-\frac{1}{2} \; (\vec{l}\uparrow\downarrow\vec{s}) \\ \cdots & \Delta E = +a(l+1)\frac{\hbar^2}{2} + al\frac{\hbar}{2} = \frac{\hbar^2}{2}a(2l+1) \quad \uparrow\Delta\varepsilon \rightarrow \uparrow l \\ -al\frac{\hbar^2}{2} & \text{για } j = l+1/2 \; (\vec{l}\uparrow\uparrow\vec{s}) \end{cases}$$

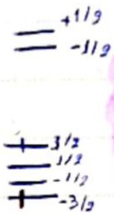


για n, l = 1
- → $j = 1-\frac{1}{2} = 1/2 \; (\vec{l}\uparrow\downarrow\vec{s})$ $m_j = -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$ $(P_{1/2})^2$
- → $j = 1+\frac{1}{2} = 3/2 \; (\vec{l}\uparrow\downarrow\vec{s})$ $(P_{3/2})^4$

ιασχιση για n, l = 1

$m_j = -\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{3}{2}$

$(2j+1)$ αρ. ενεργειακών επιπέδων



βαζω 2 νουκλεόνια σε αντίθετη φορές του m_j
↓
ΣΥΖΕΥΞΗ ΤΡΟΧΙΑΣ
pairing

Το κάθε ενεργειακό επίπεδο φιλοξενεί 1 νουκλεόνιο γι έχω λαβει υπ'οψιν το spin !

οποιοδήποτε
↓
n, l = 2 (↓ D)
- → $j = \frac{3}{2}$ $m_j = (2j+1) = 4$ $d^4_{3/2}$
- → $j = 2+\frac{1}{2} = \frac{5}{2}$ $m_j = 6$ $d^6_{5/2}$

$\Delta\varepsilon = \frac{\hbar^2}{2}a(2l+1)$

$$(1s_{1/2})^2 \underset{2}{|} (1p_{3/2})^4 (1p_{1/2})^2 \underset{8}{|} (1d_{5/2})^6 (2s_{1/2})^2 (1d_{3/2})^4 \underset{20}{|} (1f_{7/2})^8 \underset{28}{|} (2p_{3/2})^4 (1f_{5/2})^6 (2p_{1/2})^2 (1g_{9/2})^{10} \underset{50}{|}$$

κλειστοί φλοιοί   • μαγικοί αριθμοί   ΑΡΤΙΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ → SPIN = 0

$^{12}_{6}C_6$
πρωτόνια $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4$ $J_p = 0$ $\Pi_p = +1$ $J_{πυρ} = 0$
νετρόνιο $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4$ $J_n = 0$ $\Pi_n = +1$ $\Pi_{πυρ} = \Pi_p \cdot \Pi_n = +1$

$J^{\Pi} = 0^+$ (J → spin, Π → parity)

$^{13}_{6}C_7$
p $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4$ $J_p = 0$ $\Pi_p = +1$ $J_{πυρ} = \frac{1}{2}$ $\Pi_{πυρ} = -1$
n $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4(1p_{1/2})^1$ $J_n = \frac{1}{2}$ $\Pi_n = -1$ $J^{\Pi} = \frac{1}{2}^-$

$p \rightarrow l = 1 \rightarrow \Pi = (-1)^1 = -1$

$\Pi=(-1)(I_1+I_2)$

${}^{14}_{6}C_8$ p: $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4$ $J_p=0$ $\Pi_p=1$ $J^\pi=0^+$

n: $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4(1p_{1/2})^2$ $J_n=0$ $\Pi_n=1$

${}^{11}_{6}C_5$ p: $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4$ $J_p=0$ $\Pi_p=1$ $J_{πυρ}=3/2$ $\Pi_{πυρ}=-1$

n: $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^3$ $J_n=\frac{3}{2}$ $\Pi_n=-1$ $J^\pi=\frac{3}{2}^-$

διαμόρφωση οπής: αν έχω οπή θεωρώ ότι είναι σαν μονήρες
(n-1 από την πληρότητα)

${}^{14}_{7}N_7$ p: $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4(1p_{1/2})^1$ $J_p=\frac{1}{2}$ $\Pi_p=-1$ $J^\pi=1^+$

n: $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4(1p_{1/2})^1$ $J_n=\frac{1}{2}$ $\Pi_n=-1$ $J_{πυρ}=\underset{0}{|J_n-J_p|}\ldots\underset{1}{|J_n+J_p|}$

$\Pi_{πυρ}=(-1)(-1)$

διαλέγω γενικά το υψηλότερο spin που μπορώ
προτιμάται τα p is n να έχουν παράλληλο spin

ενώ p-p ↑↓
n-n ↑↓
p-n ↑↑ ή ↓↓

Ασκ. ${}^{15}O$, ${}^{16}O$, ${}^{17}O$, ${}^{18}O$, ${}^{18}F$, ${}^{19}F$, ${}^{20}F$, ${}^{31}P$, ${}^{36}S$, ${}^{40}S$, ${}^{40}K$, ${}^{41}K$

${}^{40}_{19}K_{21}$ p: $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4(1p_{1/2})^2(1d_{5/2})^6(2s_{1/2})^2\underset{οπή}{(1d_{3/2})^3}$ $J_p=\frac{3}{2}$ $\Pi_p=+1$

n: . . . . $(1d_{3/2})^4(1f_{7/2})^1$ $J_n=\frac{7}{2}$ $\Pi_n=-1$

$J_{πυρ}=|J_n-J_p|\ldots|J_n+J_p|$ $J^\pi=5^-$

2, 3, 4, 5

${}^{15}_{8}O_7$ p: $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4(1p_{1/2})^2$ $J_p=0$ $\Pi_p=+1$ $J^\pi=1/2^-$

n: $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4(1p_{1/2})^1$ $J_n=1/2$ $\Pi_n=-1$

$J_{nuc}=|J_n-J_n|=|J_n+J_n|=1/2$

${}^{16}_{8}O_8$ $J_p=0$ $\Pi_p=+1$

n: $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4(1p_{1/2})^2$ $J_n=0$ $\Pi_n=+1$ 0^+

${}^{17}_{8}O_9$ $J_p=0$ $\Pi_p=+1$

n: $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4(1p_{1/2})^2(1d_{5/2})^1$ $J_n=5/2$ $\Pi_n=+1$

$J_{πυρ}=5/2$ $5/2^+$

${}^{18}_{8}O_{10}$ $J_p = 0$ $\Pi_p = +1$

$n: (1s_{1/2})^2 (1P_{3/2})^4 (1P_{1/2})^2 (1d_{5/2})^2$ $J_n = 0$ $\Pi_n = 1$ $J^\Pi = 0^+$

${}^{18}_{9}F_{9}$ $p\ (1s_{1/2})^2 (1P_{3/2})^4 (1P_{1/2})^2 (1\underline{d}_{5/2})^1$ $J_p = 5/2$ $\Pi = +1$

$n:$ — | | — $J_n = 5/2$ $\Pi +1$ 5^+

$J_{\text{πυρ}} = 0 \ldots 5$

${}^{19}_{9}F_{10}$ $J_p = 5/2$ $\Pi = +1$

$n: (1s_{1/2})^2 (1P_{3/2})^4 (1P_{1/2})^2 (1\underline{d}_{5/2})^2$ $J_n = 0$ $\Pi_n = +1$ $5/2^+$ $?\left(\frac{1}{2}^+\right)$

${}^{20}_{9}F_{11}$ $J_p = 5/2$ $\Pi = +1$

$n: (1S_{1/2})^2 (1P_{3/2})^4 (1P_{1/2})^2 (1d_{5/2})^3$ $J_n = 3/2$ $\Pi +1$ $J^\Pi = 4^+$ $\left(\begin{smallmatrix}\text{πε}\\ 2^+\end{smallmatrix}\right)$

$J_{\text{πυρ}} = \underset{1}{\frac{5}{2} - \frac{3}{2}} \cdots \underset{4}{\frac{5}{2} + \frac{3}{2}}$

${}^{31}_{15}P_{16}$ $p: (1s_{1/2})^2 (1P_{3/2})^4 (1P_{1/2})^2 (1d_{5/2})^6 (2S_{1/2})^1$ $J = 1/2$ $\Pi = +1$

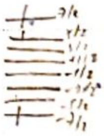
$n:$ — | | + $(2S_{1/2})^2$ $J_n = 0$ $\Pi_n = +1$ $1/2^+$

${}^{36}_{16}S_{20}$ $p: ((1S_{1/2})^2 (1P_{3/2})^4 (1P_{1/2})^2 (1d_{5/2})^6 (2S_{1/2})^2$ $J_p = 0$ $\Pi_p = +1$

$n:$ — | | — $(1d_{3/2})^4$ $J_n = 0$ $\Pi_p = +1$ 0^+

${}^{40}_{16}S_{24}$ $J_p = 0$ $\Pi_p = +1$

$n: (1S_{1/2})^2 (1P_{3/2})^4 (1P_{1/2})^2 (1d_{5/2})^6 (2S_{1/2})^2 (1d_{3/8})^4 (1f_{7/2})^4$



0^+

$J_n = 0$ $\Pi_p = +1$

${}^{41}_{19}K_{22}$ $J_p = 3/2$ $\Pi_p = +1$

$n: (1S_{1/2})^2 (1P_{3/2})^4 (1P_{1/2})^2 (1d_{5/2})^6 (2S_{1/2})^2 (1d_{3/2})^4 (1f_{7/2})^2$ $J_n = 0$ $\Pi_n = +1$ $3/2^+$

29/11/2022

ΟΙ ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡ. **ΔΕΝ** ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ Τ

πχ για $T = 300K$
$kT = 0{,}025\,eV$ → ενώ οι πυρήνες σε MeV

Ραδιενέργεια

Νόμος ραδιενεργού διάσπασης

Τι είναι; Ό,τι εκπέμπεται από έναν ασταθή πυρήνα.

Επειδή τα σωματίδια έχουν ΤΣ προσαλούν: - πυρηνικές αντιδράσεις - σπάσιμο δεσμού

Γενικά δεν μπορώ να επηρεάσω τη ραδιενεργό διάσπαση, εκτός από ακραίες συνθήκες κ' εξαιρέσεις πχ → ηλεκτρονιακή σύλληψη EC

^{7}Be $t_{1/2} = 53{,}3d = 1279h$ $\;{}^{7}_{4}Be + e^- \rightarrow {}^{7}_{3}Li_4 + \nu_e$

BeF_2 $:\ddot{F}:Be:\ddot{F}:$ απογύμνωση Be από e^-, πιο σπάνια γνε

$EC \rightarrow t'_{1/2} = 1{,}001 \cdot t_{1/2}$ $(+1{,}3h)$

$^{7}Be^{4+}$ $t_{1/2} = \infty$

$^{7}Be^{+}$ επιταχύνω σε $v = 0{,}2c$ → | → $^{7}Be^{4+}$ απογυμνωμένος από e τους φυλάω σε δακτύλιος αποθήκευσης (storage ring)

επιταχυντής σωματιδίων

γραφίτης (1μm)

(για να μην έχω e^-) ← κενό, μαγνήτες
10^{-8} torr

→ διάσπαση α

$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He_2$

βάζω το δείγμα σε He(ℓ) κ' σε ΤΡ ↑ για λίγο ο $t_{1/2}$ ↑

Νόμος ραδιενεργού διασπάσεως

$A \rightarrow B + \ldots$

$-\frac{dN}{dt}$ = ρυθμός διασπάσεων

$$\boxed{-\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N} \Rightarrow \lambda = -\frac{\left(\frac{dN}{N}\right)}{dt}$$

→ πιθανότητα διάσπασης

$dN = N' - N < 0$

λ = σταθερά ραδιενεργού διασπάσεως (s^{-1})
πιθανότητα διάσπασης / μονάδα χρόνου

$(\ln x)' = 1/x$
$d(\ln x) = (\ln x')dx$ →
$d(\ln x) = dx/x$

(t)

πιθανότητα
↓
$$\Delta P = \frac{\Delta N}{N}$$

$$\frac{dN}{N} = -\lambda\,dt \Rightarrow \int_{N_0}^{N} d(\ln N) = -\int_{t_0}^{t} \lambda\,dt \Rightarrow [\ln N]_{N_0}^{N} = -\lambda(t-0) \rightarrow \ln N - \ln N_0 = -\lambda t \rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln\frac{N}{N_0} = -\lambda t \rightarrow \boxed{\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}} \rightarrow \boxed{N = N_0\,e^{-\lambda \cdot t}}$$

$-P_\lambda = 0$

⇓
Πιθανότητα να μην διασπαστεί ο πυρήνας. Άρα η πιθανότητα διάσπασης είναι $1 - \frac{N}{N_0}$

"παρόντες"
αριθ. πυρ. που
διασπάστηκαν μέχρι την t

$$N_0 - N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0(1-e^{-\lambda t}) \Rightarrow$$

$$\boxed{\frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t}}$$

πιθανότητα διασπάσεως

Χρόνος υποδιπλασιασμού

ασκ. νδο

$$\left.\begin{array}{l} t=0 \quad N=N_0 \\ t=t_{1/2} \Rightarrow N=N_0/2 \end{array}\right\} \quad \frac{\cancel{N_0}}{2} = \cancel{N_0} e^{-\lambda t_{1/2}} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}} \Rightarrow \ln\frac{1}{2} = -\lambda t_{1/2} \Rightarrow$$

$$\ln 2 = \lambda t_{1/2} \Rightarrow \boxed{t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}} \rightarrow t_{1/2} = \frac{0{,}693}{\lambda}$$

Μέσος χρόνος ζωής τ

$$\left.\begin{array}{l} \text{Έχουμε πιθανότητα } 1 \text{ σε χρόνο } \tau \\ \quad -||- \quad \lambda \quad -||- \quad 1 \end{array}\right\} \quad \boxed{\tau = \frac{1}{\lambda}} \quad \boxed{\tau = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} = 1{,}44\, t_{1/2}}$$

ασκ. νδο
από
$N=N_0e^{-\lambda t}$

$$\boxed{N = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}} \quad N = N_0 e^{-\lambda t} \rightarrow N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} t} = N_0 e^{(\ln 2)\frac{t}{t_{1/2}}} = N_0 e^{(\ln\frac{1}{2})\cdot\frac{t}{t_{1/2}}} \xrightarrow{(x^a)^b = x^{ab}}$$

$$N = N_0 (e^{\ln 1/2})^{t/t_{1/2}} = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}$$

Ενεργότητα ραδιενεργού πηγής: αριθμός διασπάσεων / μονάδα χρόνου
(activity)

ρυθμός διάσπασης $\boxed{A = \lambda \cdot N}$ μονάδες: α) 1 Bq = 1 διάσπαση/1s

β) 1 Ci = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq $\left\{\begin{array}{l} 1\mu Ci = 3{,}7 \cdot 10^{4}\ Bq \\ 1mCi = 3{,}7\cdot 10^{7}\ Bq \end{array}\right.$

ενεργότητα 1g ^{226}Ra $t_{1/2}=1600y$

ασκ. Να βρεθεί ο αρ. των πυρήνων N κ' η μάζα σε g ενός δείγματος ^{14}C $t_{1/2}=5730y$
με A = 1MBq

ΜΟΝΑΔΕΣ!!!

ασκ. ^3H $t_{1/2}=12{,}3y$ $A_0 = 1MBq$ ή $27\mu Ci$

ασκ 1. $t_{1/2} = \frac{0{,}692}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{0{,}692}{18\cdot 10^{10}} = 0{,}038\ 10^{-10}\ s^{-1}$

$A = \lambda N \Rightarrow N = \frac{10^6}{0{,}038\ 10^{-10}} \Rightarrow N = 263 \cdot 10^{15}$

$n = \frac{N}{N_A} = \frac{2{,}63\ 10^{17}}{6{,}02\ 10^{23}} = 0{,}43\cdot 10^{-6}$ mol

$n = \frac{m}{M_r} \Rightarrow m = 6{,}02\ 10^{-6}$ g

ασκ 2

$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{0,693}{3,87 \cdot 10^8} = 0,18 \cdot 10^{-8}$

$A = \lambda N \Rightarrow N = \frac{10^6}{0,18 \cdot 10^{-8}} = 55,6 \cdot 10^3$

$n = \frac{N}{N_A} = \frac{5,56 \cdot 10^4}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,92 \cdot 10^{-19}$

$n = \frac{m}{Mr} \Rightarrow m = 2,77 \cdot 10^{-19}$ g

<u>02/12/2022</u>

Νόμος ραδιενεργού διάσπασης

$\boxed{-\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N}$ $\boxed{N = N_0 e^{-\lambda T}}$ $\boxed{\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}}$

$\boxed{A = \lambda N}$ $\boxed{A = A_0 e^{-\lambda T}}$

$N = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow$

$(\lambda N) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow$

$A = A_0 e^{-\lambda t}$

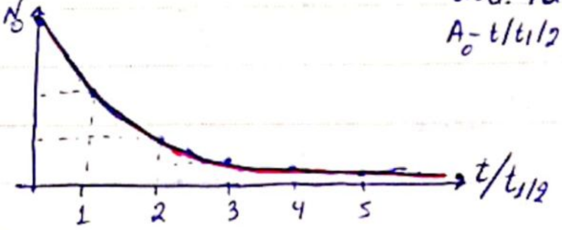
$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \Rightarrow$

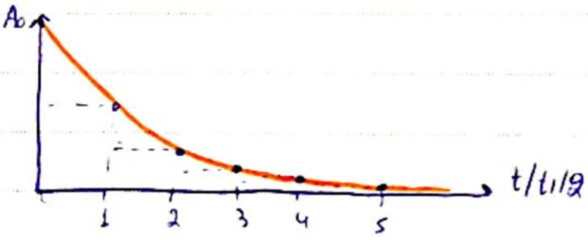
$\lambda N = \lambda N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}} \Rightarrow$

$A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}$

ασκ. να γίνουν τα διαγράμματα $A_0 - t/t_{1/2}$ και $N_0 - t/t_{1/2}$

Στο 10 $t_{1/2}$ μένει περ το 1/1000





Μπορεί ένας πυρήνας να κάνει παραπάνω από ένα είδος ραδιενεργού διάσπασης

<u>Πιθανότητες</u>

$P_x = \frac{N_x}{N}$

δειγμα εσπεριδοειδών 100 φρούτα

πορτοκάλια $N_\pi = 20$

μανταρίνια $N_\mu = 30$

γκρειπ φρουτ $N_\gamma = 50$

$P_\pi = 0,2$ $P_\mu = 0,3$ $P_\gamma = 0,5$

πορτοκάλι ή μανταρίνι $P_{\mu\pi} = P_\pi + P_\mu = 0,5$

$P_{\mu\pi\gamma} = 1$

Προσθετικός νόμος

πάνω = 0,5

κάτω = 0,5

$P_{\pi\uparrow} = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1$

Πολ/κός νόμος

ασκ. Να βρω την πιθανότητα να έχω n ή μ όλα ↑ $(0,2+0,3)\cdot 0,5 = 0,25$

—||— n ↑ κ μ $(0,2\cdot 0,5)+0,3 = 0,4$

—||— n ↓, μ ↑ $(0,2\cdot 0,5)+(0,5\cdot 0,5) = 0,35$

Διακλαδιζόμενες ραδιενεργές διασπάσεις

γίνονται με παραπάνω από ένα τρόπο

έχουμε n τρόπους διάσπασης: 1, 2, ...n

αν για την διάσπαση i έχω πιθανότητα fi

$f_1+f_2+..f_n=1 \rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_{tot}} + \dots \frac{\lambda_n}{\lambda_{tot}} = \frac{\lambda_{tot}}{\lambda_{tot}} = 1$

Έχουμε πυρήνα με $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \Rightarrow \lambda_{tot} = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$

f = πιθανότητα κλάσμα διακλάδωσης

$f_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_{tot}} \Rightarrow \lambda_i = f_i \cdot \lambda_{tot}$

↓ μερική σταθερά διάσπασης i

ασκ $^{64}_{29}Cu_{35}$ $t_{1/2}=12,7h$ a) $0,6=f_{\beta^+}$ 60% λ_{β^+} κ' λ_{β^-};

β) β^- 40% $f_{\beta^-}=0,4$ $\lambda_{tot} = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{12,7\,h} = \frac{0,693}{45720} = 1,5\ 10^{-5}$

$\lambda_{\beta^+} = f_{\beta^+}\cdot \lambda_{tot} = 0,6\cdot 1,5\cdot 10^{-5} = 0,9\cdot 10^{-5}$

$\lambda_{\beta^-} = f_{\beta^-}\cdot \lambda_{tot} = 0,4\cdot 1,5\cdot 10^{-5} = 0,6\cdot 10^{5}$

$t_{1/2}(\beta^-) = \frac{\ln 2}{\lambda_{\beta^-}} \Rightarrow \lambda_{\beta^-} = \frac{\ln 2}{t_{1/2}\beta^-} \Rightarrow t_{1/2}\cdot\beta^- = 1,16\cdot 10^5$

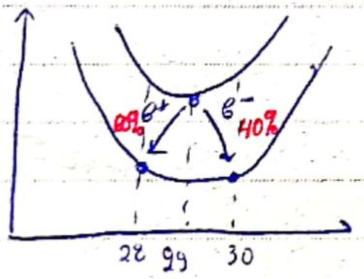
β^+ $^{64}_{29}Cu_{35} \longrightarrow {}^{64}_{28}Ni_{36} + e^+ + v_e$

$t_{1/2}(\beta^+) = \frac{\ln 2}{\lambda_{\beta^+}} \Rightarrow \lambda_{\beta^+} = \frac{\ln 2}{t_{1/2}\beta^+}$ $t_{1/2}\beta^+ = 0,77\cdot 10^5$

β^- $^{64}_{29}Cu_{35} \longrightarrow {}^{64}_{30}Zn_{34}$ $e^- + \bar{v}_e$

$\lambda_{\beta^-} + \lambda_{\beta^+} = \ln 2\left(\frac{1}{t_{1/2}(\beta^-)} + \frac{1}{t_{1/2}\beta^+}\right)$

$\frac{1}{t_{1/2}} = \frac{1}{t_{1/2}\beta^+} + \frac{1}{t_{1/2}\beta^-}$



$1,16\ 10^5\cdot 0,4 + 0,77\cdot 10^5\cdot 0,6 =$

$0,464\cdot 10^5 + 0,462\cdot 10^5 = 0,926\cdot 10^5$

$t = 25,72\ yr$

$^{39}_{19}K_{20}$ $^{40}_{19}K_{21}$ $^{41}_{19}K_{22}$

93,3% 0,012% 6,7%

$t_{1/2} = 1,28\cdot 10^9 y$

Πόση είναι η ραδιενέργεια της μπανάνας;

↓ Ενεργότητα

1μπαν → 0,4g ^{nat}K → φυσικό κάλιο

0,4 ^{nat}K x

100 0,012 ^{40}K

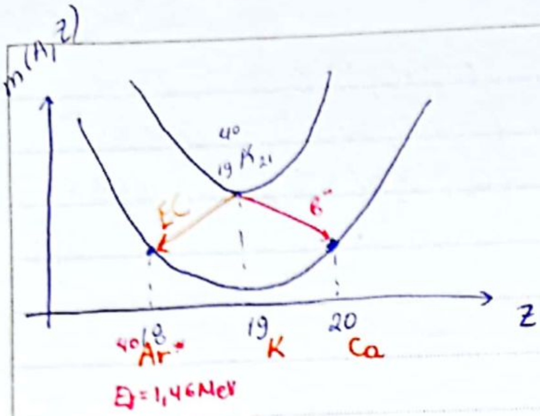
$100x = 0,4\ 0,012 \Rightarrow x = 4,8\cdot 10^{-5} g$

$n = \frac{m}{M_r} \Rightarrow n = \frac{4,8\cdot 10^{-5}}{40} = 1,2\ \mu mol$

$\lambda = \frac{0,693}{1,28\ 10^9 y} = 0,54\cdot 10^{-9} y^{-1}$

$n = \frac{N}{N_A} \Rightarrow 1,2\cdot 10^{-6} = \frac{N}{6,02\cdot 10^{23}} \Rightarrow N = 7,2\cdot 10^{17}$

$A = \lambda\cdot N = 18\ \frac{διασ}{s} = 18\ Bq$



^{40}K 90% β^-

10% EC

να βρω τα Λβ⁻ κ Λεc κ να γραφούν οι διασπάσεις

Ραδιοχρονολόγηση με ^{14}C

ισότοπα C: ^{12}C 98,9%

^{13}C 1,1%

$t_{1/2}$=5730y ^{14}C 10^{-12} (στην ατμόσφαιρα κ' στους ζώντες οργανισμούς)

$^{14}_{6}C_8 \xrightarrow{\beta^-} {}^{14}_{7}N_7 + e^- + \bar{\nu}_e$ Q = 0,157 MeV

$Q_{max}\, e^- = 0,157$ MeV $T_{e^-} = (0, 0,157)$

Πως παράγεται ο ^{14}C

Ο ^{14}C παράγεται συνεχώς με βομβαρδισμό p^+ της κοσμικής ακτινοβολίας (κυρίως από τον ήλιο) με τα στοιχεία της ατμόσφαιρας, από εκεί προέρχονται slow n με ταχύτητα τα οποία με ^{14}N κάνουν πυρηνική αντίδραση ανταλλαγής $n + {}^{14}_{7}N_7 \rightarrow {}^{14}_{6}C_8 + p$

$E_n \sim 1 \sim 2^{MeV}$ slow neutron

Ο ^{14}C στην ατμόσφαιρα είναι το 10^{-12} του συνολικού άνθρακα = σταθ

Το CO_2 μπαίνει στην τροφική αλυσίδα κ' άρα κ' τα έμβια όντα έχουν περιεκτικότητα ^{14}C 10^{-12}

Όταν πεθαίνει το έμβιο ον δεν λαμβάνει άλλον ^{14}C άρα τη στιγμή που πεθαίνει $t_0=0$ έχει περιεκτικότητα 10^{-12} κ' μετά μόνο μπορεί να μειωθεί σύμφωνα με διασπάσεις με $t_{1/2}$ = 5730yr. Από την ποσότητα ^{14}C που έχει απομείνει προσδιορίζω την ηλικία, βασικά τη στιγμή του θανάτου ($t \in 1/10\, t_{1/2} - 10\, t_{1/2}$)

$$\boxed{N = N_0 e^{-\lambda t}}$$

t↑ t=0↑

έστω N_r ο συνολικός C

$$\frac{N}{N_r} = \frac{N_0}{N_r} e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{\frac{N}{N_r}}{\frac{N_0}{N_r}} = e^{-\lambda t} \Rightarrow K = e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln K = -\lambda t \Rightarrow \boxed{t = -\frac{\ln K}{\lambda}}$$

$\frac{N}{N_r}$: μετριέται στο εργαστήριο

$\frac{N_0}{N_r}$: 10^{-12}

$\frac{N}{N_r}$ } μετρ.

$\frac{N_0}{N_r}$ } 10^{-12}

K < 1 ln K < 0

ηλικία δείγματος

ασκ. 10mg ^{nat}C A: 20 διασπ/μέρα A=; Bq A= διασπ/yr

αρ. πυρήνων ^{14}C

ξεκινώ από $N = N_0 e^{-\lambda t}$

SOS

$\frac{N(^{14}C)}{N(C)}$ =; $1,2 \cdot 10^{-13}$ K=; 0,12 t=; 17700y

Ραδιοχρονολόγηση κρασιού

$^1_1H_0$, $^2_1H_1$, $^3_1H_2$

99,99% 0,012%

^3H ∃ στο νερό κ όλου ∃ H σε αναλογία

$A=0,4\ Bq/\ell\ H_2O$

$t_{1/2}=12,3y$

$n + ^{14}_{7}N_7 \rightarrow ^{12}_{6}C_6 + ^{3}_{1}H_2$

ταχύ $E_n \sim 10MeV$ σχεδόν σταθερή αναλογία

ασκ Να βρεθεί η % περ. του ^3H όταν το $A=0,4Bq/\ell\ H_2O$

ασκ 1.

^{40}K $t_{1/2}=1,28\cdot10^9y$

$$\lambda_{tot}=\frac{0,693}{1,28\cdot10^9y}=0,54\cdot10^{-9}\ y^{-1}$$

$\lambda_{EC}=0,1\cdot0,54\cdot10^{-9}y^{-1}=0,54\cdot10^{-10}y^{-1}$

$\lambda_{\beta^-}=0,9\cdot0,54\cdot10^{-9}y^{-1}=0,486\cdot10^{-9}y^{-1}$

$^{40}_{19}K_{21}+e^-\rightarrow ^{40}_{18}Ar_{22}+\nu_e$

$^{40}_{19}K_{21}\rightarrow ^{40}_{20}Ca_{20}+e^-+\bar{\nu}_e$

ασκ 2.

10mg ^{nat}C

$A=20\frac{\delta\iota\alpha\sigma\pi}{\mu\acute{\varepsilon}\rho\alpha}=\boxed{7300\frac{\delta\iota\alpha\sigma\pi}{year}}=\boxed{2,3\cdot10^{4}Bq}$

$n_C=\frac{m}{Mr}=\frac{10^{-2}}{12}=0,83\cdot10^{-3}$ $N=nN_A=5\cdot10^{20}$

10mg   100 10^{-12}

$10\cdot10^{-3}$ x

$10^2x=10\cdot10^{-15}\Rightarrow x=10^{-16}g$

$n=\frac{m}{Mr}\Rightarrow n=\frac{10^{-16}}{14}=0,71\cdot10^{-17}mol$

$n=\frac{N}{N_A}\Rightarrow0,71\cdot10^{-17}=\frac{N}{6,02\cdot10^{23}}\rightarrow\boxed{N=43\cdot10^6}$

$\boxed{\frac{N_{C_{14}}}{N_C}=\frac{43\cdot10^7}{5\ 10^{20}}=0,86\ 10^{-13}}$

$A=\lambda N\rightarrow\frac{2,3\cdot10^{-4}}{43\cdot10^6}=\lambda\Rightarrow\boxed{\lambda=5,34\ s^{-1}}$

$N=N_0e^{-\lambda t}\Rightarrow\frac{N}{Nr}=\frac{N_0}{Nr}e^{-\lambda t}\Rightarrow\frac{\frac{N}{Nr}}{\frac{N_0}{Nr}}=K\Rightarrow\frac{0,86\ 10^{-13}}{10^{-12}}\Rightarrow K=0,86\ 10^{-1}$

$0,86\ 10^{-1}=e^{-\lambda t}\Rightarrow t=\frac{-\ln K}{\lambda}=-\frac{2,45}{5,34}\Rightarrow t=0,46s$

0,06

ασκ 3

^{3}H $A = 0,4\,Bq / \ell\ H_2O$

$1\ \ell\ H_2O$ $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = 1000g$ $n = \frac{1000}{18} = 55,56\,mol$

$n = \frac{N}{N_A} \Rightarrow N_{H_2O} = 334 \cdot 10^{23}$

$N_H = 669 \cdot 10^{23}$

$t_{1/2} = 3,8\ 10^{8}\ s$

$\lambda = \frac{0,693}{3,8 \cdot 10^{8}} = 0,18 \cdot 10^{-8}\ s^{-1}$ $A = N_3 \cdot \lambda \Rightarrow N_3 = \frac{0,4}{0,18\ 10^{-8}} = 2,22\ 10^{8}$

$\frac{N_3}{N_H} = \frac{2,2\ 10^{8}}{669 \cdot 10^{23}} = 3,3 \cdot 10^{-18}$

06/12/2022

ασκ. ^{nat}U 99,3% ^{238}U $t_{1/2} = 4,5 \cdot 10^{9}\,y$ διάσπαση α $E_\alpha = 4.3\,MeV$

0,7% ^{235}U $t_{1/2} = 0,7 \cdot 10^{9}\,y$

$$^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

Οι ραδιενεργές διασπασεις U, Th, K ειναι υπευθυνες για την θερμανση του εσωτερικού της Γης η' την κατανομη της θερμοκρασιας εκει

μεταλλα υγρα ⇝ κινηση ⇒ μαγνητικό πεδιο Γης

Ποιο είναι το πόσο θερμότητας που παράγεται από 1kg U (θεωρώ ^{238}U 100%)

$A = \lambda \cdot N = 1,23 \cdot 10^{7}$ διασπασεις/S

$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{4,5 \cdot 10^{9} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 s} = 0,49 \cdot 10^{-17}\,s^{-1}$

[ασκ. ποια είναι η φυσική σημασία του λ; Πιθανοτητα διασπασης ανα μονάδα χρόνου]

$\frac{1000g}{238} = n$ $N = n \cdot N_A = 2,53 \cdot 10^{24}$ ατομα

$n = 4,2\,mol$

$\frac{\text{Ενέργεια}}{s}$ απο 1 πυρηνα που διασπαται = 4,3MeV/S για A πυρήνες

$$E_{o\lambda} = \underbrace{1,2 \cdot 10^{7}}_{\substack{A \\ \text{ποσοι πυρηνες} \\ \text{διασπόνται}}}\ \frac{\text{διασ}}{s}\ 4,3\,MeV = 5,46 \cdot 10^{7}\,MeV/s$$

$1J = 6,25\cdot10^{12}$ MeV

$1eV = 1,6\cdot10^{-19}J$

$1MeV = 1,6\cdot10^{-13}J$

$E_{ολ} = 8,7\cdot10^{6}$ J/s $= 8,7\cdot10^{6}$ W

ισχύς σε Watt [illegible]
~1watt

ασκ ^{238}Pu $E_α = 5,5MeV$

θερμική ισχύς 1kg ^{238}Pu $t_{1/2} = 87,7$ y

$N = 2,53\cdot10^{24}$

$$λ = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{87,7\cdot365\cdot24\cdot3600\,s} = 2,5\cdot10^{-10}$$

$A = λN = 2,5\cdot10^{-10}\cdot2,53\cdot10^{24} = 6,33\cdot10^{14}\,s^{-1}$

$E_{ολ} = 6,33\cdot10^{14}\cdot5,5 = 34,82\cdot10^{14}$ MeV/s $= 550$ J/s $= 550W$

$E_{ολ} = A\cdot E_α$

Voyager Γη-Ήλιος 1AU = 8min φωτός

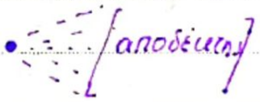
Ποσειδώνας-Ήλιου 10AU

Voyager¹-Ήλιος 120AU

(ή ιοντίζουσα ακτινοβολία γ. σπάει χημ. δεσμούς, διώχνει e^-)

Δόση Ραδιενέργειας

Απορροφούμενη δόση $= \frac{E}{m}$
↓
D



ασκ. τείνουμε με τον όρο Ενεργότητα → πηγή
κ με τον όρο δόση → δέκτης

μονάδα δόσης: 1J/kg (SI) = 1 Gy (Gray)

~1MeV/σωμ. ιοντίζουσας ακτινοβολίας ⇒ πόσους δεσμούς σπάει

1 δεσμός 2V

x 10^{6} eV $0,5\cdot10^{6} = 500\,000$ δεσμούς

1J σπάει 10^{18} χημικούς δεσμούς

άρα το 1 Gy είναι πολύ μεγάλο νούμερο

ασκ. να βρεθεί ο αρ. των χημ δεσμών που λύονται όταν σε 1g καρκινικών κυττάρων πέφτει δόση 1Gy

Ισοδύναμη δόση D_e. $\boxed{D_e = D\cdot\underset{\text{παράγοντας επικινδυνότητας}}{ω_R}}$

$ω_R = 1$ $(e^-, e^+, γ)$

$ω_R = 10\text{-}20$ $(n, α)$ → αποθέτει όλη την E σε ένα μόνο σημείο

μονάδα 1Sv(Sievert) = 1 Gy · $ω_R$
↓
μεγάλος αριθμός

5mSv = ισοδύναμη δόση ανθρώπου στη Γη

Αποτελέσματα Ραδιενέργειας

1) λύση χημικών δεσμών - διάσπαση μορίων

2) ιοντισμός ατόμων

3) μετατόπιση ατόμων στο κρυσταλλικό πλέγμα στερεών

4) πυρηνικές αντιδράσεις - μεταστοιχείωση $_{14}Si \overset{\nearrow {}_{13}Al}{\searrow {}_{15}P}$ (α υπολογιστές χαλούνε με τη ραδιενέργεια)

ασκ 1g καρκινικό κύτταρο

1Gy

$D=\frac{E}{m} \Rightarrow E = 1\,Gy = J/kg = \dots \frac{J}{10^3 kg} = 10^3 J/kg$

1J 10^{18} χημ. δεσμού

10^3 10^{21} χημ δεσμού

$1eV = 1,6\cdot10^{-19} J$

$x eV$ $1J$

$1J = 0,625\cdot10^{19} eV$

09/12/2022

Αλληλεπίδραση ακτινοβολίας με ύλη

Ιοντίζουσα ακτινοβολία: οτιδήποτε έχει E που προκαλεί εκτεταμένο ιοντισμό

1) **Φορτισμένα σωματίδια**: e^-, e^+, p^+, ${}^4_2He^{4+}$, βαρύτερα ιόντα π.χ. ${}^{12}_6C^{6+}$

εξ'αιτίας της δύναμης Coulomb αλ/δρά με το ηλεκτρονιακό νέφος κ επιβραδύνεται

$$\frac{\Delta E}{\Delta x} \propto \frac{Z^2}{v^2}$$

2) **νετρόνια** <u>δεν</u> αλ/δρά με τα e^-, αν τύχει όμως κ βρει πυρήνα θα σκεδαστεί κ θα χάσει μέρος της E του. Άρα γενικά θα κινείται για πολύ στην ύλη

(θερμικό νετρόνιο: μετά από πολλές σκεδάσεις το n έχει τη μικρότερη δυνατή E που μπορεί να έχει ένα μόριο στην ύλη, άρα συμπεριφέρεται σαν μόριο αερίου $\bar{E} = \frac{3}{2}kT$

ασκ: τι είναι το θερμικό νετρόνιο κ να υπολογιστεί η μέση ταχύτητα του, για $T = 300K$

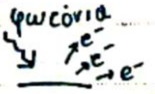
$k = 1,38\cdot10^{-23} J/K$ $(\bar{E} = 0,038\, eV)$ $\bar{E} = 1/2\, m v^2 \to \bar{E} = 1/2\, mc^2 (v/c)^2 \xrightarrow{mc^2 \simeq 939\, MeV}$

$\bar{v} = 6\cdot10^{-6}c \to v \simeq 2 km/s$

ασκ να μετατρέψω το $k = 1,38\cdot10^{-23} J/K$ σε $8,6\cdot10^{-5} eV/K$

$k = 1,38\cdot10^{-23} \frac{J}{K} = 1,38\cdot10^{-23}\cdot0,625\cdot10^{19} \frac{eV}{K} = 8,6\cdot10^{-5} eV/K$

3) **φωτόνια** α) φωτοηλεκτρικό φαινόμενο:

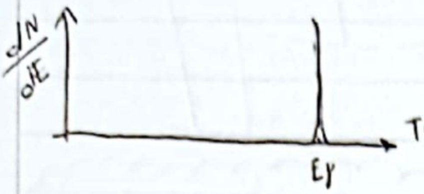


το φωτόνιο απορροφάται από την ύλη

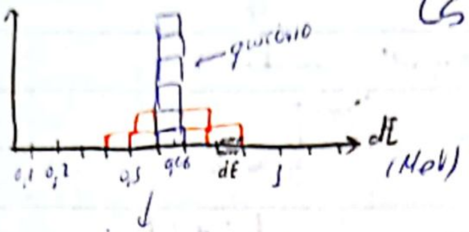
$\gamma + A \to A^+ + \underset{\text{φωτοηλεκτρόνιο}}{e^-}$

- $E_\gamma = T_e + \underset{0 \text{ για υψηλές } E}{BE_e}$

$E_\gamma \simeq T_e$ (σε ↑E)



διόρθωση $T_e = E_\gamma - BE$



^{137}Cs $E_\gamma = 0,66$ MeV

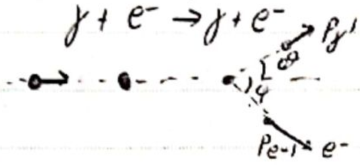
πλάτος καθορισμένο από το <u>dE (κανάλι) ή bins ή channels</u>

MCA → multichannel analyser

Όταν ο ανιχνευτής κ' οι μονάδες δεν είναι καλές εμφανίζονται bins → Τέχνος ●
(Τα φορτισμένα σωματίδια δίνουν απλές, οξείες κορυφές)

β) Φαινόμενο Compton σκέδαση φωτονίου με e^-

$\gamma + e^- \to \gamma + e^-$



για <u>άμαζα</u> σωματίδια
αν γ: $E_\gamma = P_\gamma c$

δεν μπορεί να γίνει 0

ΑΔΕ. $E_\gamma = E_\gamma' + T_e$

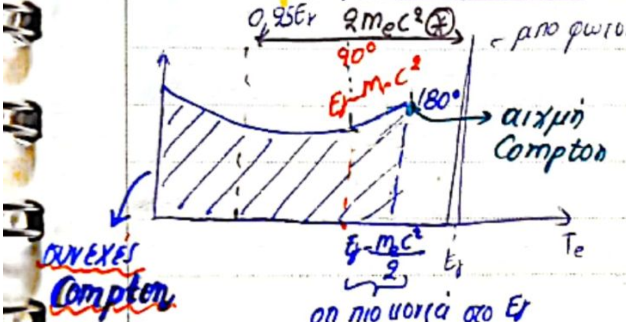
$$\boxed{E_\gamma' = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2}(1-\cos\theta)}}$$

γωνία σκεδάσεως φωτονίου

∂	E_γ'	$T_e = E_\gamma - E_\gamma'$
0°	E_γ	$\varnothing$
90°	$m_e c^2$	$E_\gamma - m_e c^2$
180°	$m_e c^2/2$	$E_\gamma - \frac{m_e c^2}{2}$

ισχύει όταν ισχύει $E_\gamma \gg m_e c^2$

⇒ ΟΠΙΣΘΟΣΚΕΔΑΣΗ max E e^-



ότι πιο κοντά στο E_γ μπορώ να πάρω

γ) δίδυμη γένεση $\gamma + \underset{\substack{\text{πυρήνας}\\ \text{(ΗΜ πεδίο)}}}{A} \longrightarrow e^+ + e^- + A$

(αν <u>δεν</u> περάσει κοντά από έναν πυρήνα το γ <u>δεν</u> δίνει δίδυμη γένεση)

$e^+ \Downarrow$

$\underset{0,511}{e^+} + \underset{0,511}{e^-} \to \underset{0,511}{\gamma} + \underset{0,511}{\gamma}$ $E_{\gamma e} = m_e c^2 = 0{,}511$ MeV

$E_\gamma = 2m_e c^2 + T_{e^-} + T_{e^+} \to \underbrace{E_\gamma - 2m_e c^2 = T_{e^-} + T_{e^+}}_{⊛}$

πρέπει $E_\gamma > 2m_e c^2 = 1{,}022$ MeV

αν πιάσω τα φωτόνια θα πάω στην E_γ (η κορυφή), αν αποχωρήσει 1 θα είμαι στον ανιχνευτή στο $E_\gamma - m_e c^2$ ή αν φύγει κ τα 2 στο $E_\gamma - 2m_e c^2$.

^{137}Cs $E_\gamma = 0{,}66$ MeV → {60% φωτοηλεκτρικό, 40% Compton}

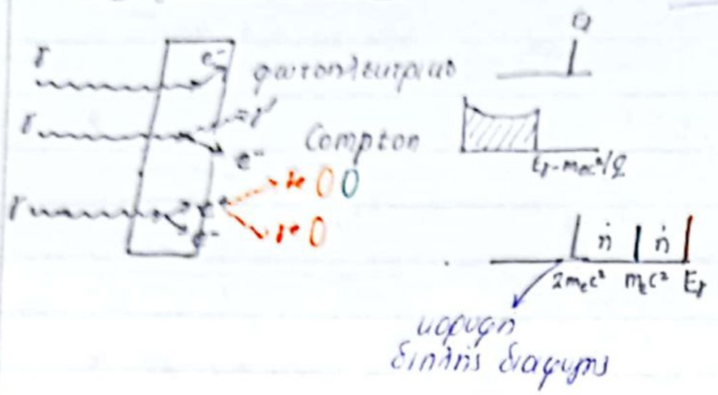
<u>ΔΕΝ</u> μπορεί να γίνει δίδυμη γένεση με $E_\gamma \not> 1{,}022$ MeV

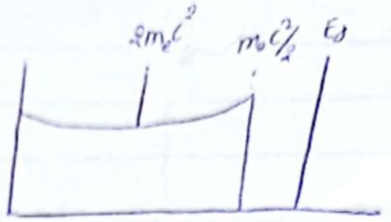
^{40}K $E_\gamma = 1{,}46$ MeV → {20% φωτοηλεκτρικό, 60% Compton, 20% δίδυμη γένεση (pair production)}

↑E ↓φωτοηλ. ↑Compton ↑pair

Μικρός ανιχνευτής

SOS

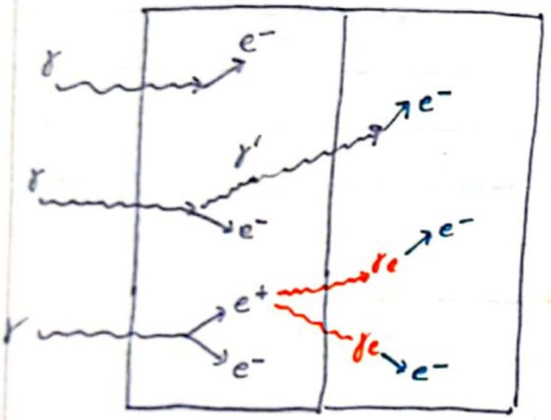




Ενας <u>μικρός</u> ανιχνευτής χάνει κ τα 2 φωτόνια, άρα δείχνει την 1η κορυφή
<u>ΔΕΝ</u> μπορεί να κρατήσει τα 2ογενώς παραγόμενα φωτόνια

Μεγάλος ανιχνευτής

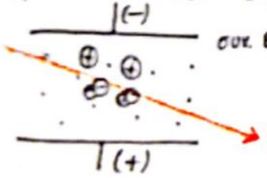
μπορεί να πιάσει τα φωτόνια που διέφυγαν κ τα βάζει να κάνουν φωτοηλεκτρικό



ΜΟΝΟ ΜΙΑ ΚΟΡΥΦΗ στο E_γ

Αρχές λειτουργίας ανιχνευτών - είδη

1) Ανιχνευτές αερίου

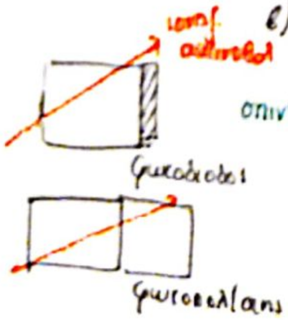


συν. ευγενές αέριο

σωμ. ιοντίζουσας ακτινοβολίας ~> εκτεταμένο ιονισμό στο αέριο

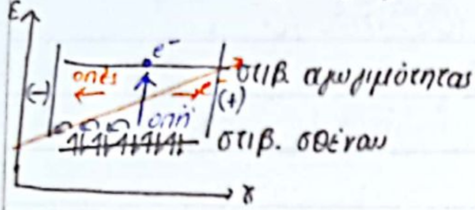
2) Σπινθηριστές a) ανόργανοι (NaI, CsI, BaF_2, $LaBr_2$)

β) πλαστικοί



σπινθηρισμός ≡ φως ~> το συλλέγω με φωτοπολλαπλασιαστή
ή με φωτοδίοδο

3) Ανιχνευτές ημιαγωγού



ΔΕ>> μονωτές

ΔΕ~ αγωγοί

$\Delta E_\mu > \Delta E_\eta > \Delta E_\alpha$

ΔΕ(Si) ≈ 1,1 eV

ΔΕ(Ge)

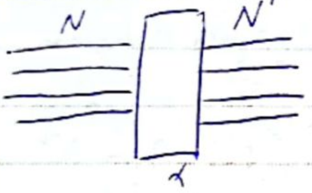
· αγωγοί
- ημιαγωγοί (Si, Ge)
- μονωτές

οπή συμπεριφέρεται σαν θετικά φορτισμένο σωματίδιο
η οπή ταξιδεύει σαν θετικά φορτισμένο σωματίδιο
(ίδιος τρόπος λειτουργία με φωτοδιόδους)

13/12/2022

Πιθανότητα αλληλεπίδρασης (αντίδρασης) - Ενεργός διατομή

Λεπτός στόχος



αριθμός αντιδράσεων

N' = N τελικό

$$-\Delta N = N - N'$$

Πιθανότητα αντίδρασης

$$P = -\frac{\Delta N}{N} \Rightarrow \boxed{P = \sigma \cdot n \cdot x}$$

n = αριθμητική πυκνότητα στόχου = $\frac{\text{αρ. πυρήνων}}{\text{μονάδα όγκου}}$

σ = ενεργός διατομή
είδος κ αριθμοί σωματιδίων πληροφορίες για είδος αντίδρασης

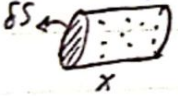
$$n \leftrightarrow \rho \qquad \rho = \frac{m}{V} = \frac{\overset{\text{αρ mol}}{n}\cdot M_r}{V} = \frac{N \cdot M_r}{N_A \cdot V} = \overset{\text{αρ. πυκν}}{n}\,\frac{M_r}{N_A} \Rightarrow \boxed{\rho = n\frac{M_r}{N_A}}$$

ασκ. Να βρεθεί η n (αρ. πυκνότητα) για το ^{27}Al κ $\rho = 2{,}7\ g/cm^3$

$$n = \frac{2{,}7\ g}{cm^3}\ \frac{6{,}02\cdot 10^{23}\ \frac{1}{mol}}{10\ 27\ \frac{g}{mol}} \qquad n = 0{,}6 \cdot 10^{23}\ \frac{\text{πυρήνες}}{cm^3}$$

βαρέα μέταλλα: τα φωτοηλεκτρικά φαινόμ. απορροφούν την γ-ακτινοβολία

Τι εκφράζει το nx;



$$n = \frac{\delta N}{\delta V} \qquad \left.\delta V = x\,\delta S\right\}\ n = \frac{\delta N}{x\cdot\delta S} \Rightarrow \boxed{nx = \frac{\delta N}{\delta S}}$$

Κατανομή στο χώρο → προβολή στο επίπεδο

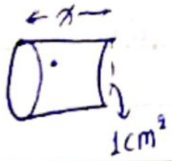
nx → $\underbrace{\text{πόσους πυρήνες βλέπω}}_{\text{αριθμός πυρήνων που προβάλλονται}}$ ανά μονάδα επιφάνειας

$$\boxed{n = \rho\frac{N_A}{M_r}}$$

$$\sigma = \frac{P}{nx} \xRightarrow{nx=1} \sigma = P$$

⇓ 1 πυρήνας/μον. επιφάνειας

σ = πιθανότητα αντίδρασης όταν το υλικό μου έχει έναν πυρήνα ανά μονάδα επιφ



μονάδες σ → επιφάνεια (cm^2, m^2 κλπ) συνήθως 1 barn (b)

$\boxed{1b = 100\ fm^2}$ $100 \cdot (10^{-15} m)^2 = 100 \cdot 10^{-30} m^2 = 10^{-28} m^2 = 10^{-24} cm^2$

$\boxed{1b = 10^{-24}\ cm^2}$

διατομή / επιφάνεια μεσοβαρούς πυρήνα με A = 100

$A = 100$

$S = \pi R^2 = \pi (r_0 A^{1/3})^2$

$$\boxed{1b = 100\ fm^2 = 10^{-28} m^2 = 10^{-24} cm^2}$$

$n = \frac{N}{V}$

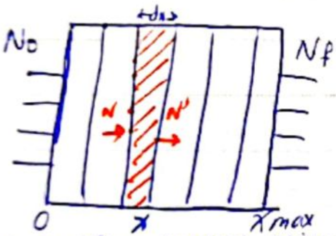
$\sigma = P$ (για $nx = 1$) αν δηλ. έχω 1 πυρήνα / cm^2

$\sigma = 1b = 10^{-24} cm^2$

άσκ. Να βρεθεί η πιθανότητα της αντίδρασης στόχου ^{27}Al με $x = 1 \mu m$ κ $\rho = 2{,}7 g/cm^3$ κ $\sigma = \underset{0{,}1b}{100 mb}$

$P = \sigma n x = 0{,}1b \cdot \cancel{2{,}7} \frac{g}{cm^3} \frac{6{,}02 \cdot 10^{23} mol}{\frac{27}{10} g\ mol} \cdot 10^{-6} m = \frac{\overset{0{,}1}{\cancel{10^{-24}}} \cancel{cm^2}\ 6{,}02 \cdot \cancel{10^{23}}\ mol\ 10^{-6} \cdot \cancel{10^{2}}\ \cancel{cm}}{\cancel{10}\ \cancel{cm^3}\ mol} = 0{,}602 \cdot 10^{-6}$

Παχύς στόχος



Έστω πολλοί λεπτοί στόχοι

$\boxed{dP = \sigma \cdot n \cdot dx}$ ισχύει ∀ dx

$dP = -\frac{dN}{N} \Rightarrow -\frac{dN}{N} = \sigma n dx \Rightarrow -\frac{dN}{dx} = \sigma n \cdot N \Rightarrow$

$\sigma n = \frac{\frac{-dN}{dx}}{N} \Rightarrow \sigma n = \frac{\frac{-dN}{N}}{dx} \Rightarrow \boxed{\sigma n = \frac{dP}{dx}}$

η πιθανότητα να γίνει αντίδραση ανά μονάδα μήκους στόχου

$\sigma n = \mu \equiv$ γραμμικός συντελεστής εξασθένισης $\boxed{\mu = \sigma \cdot n}$

$-\int_{N_0}^{N_f} \frac{dN}{N} = \int_{x=0}^{x_{max}} \sigma \cdot n\, dx = \sigma n \int_{x=0}^{x_{max}} dx \Rightarrow -\int_{N_0}^{N_f} d\ln N = \sigma n \cdot x_{max} \rightarrow [\ln N]_{N_0}^{N_f} = -\sigma n x_{max} \Rightarrow$

$\ln \frac{N_f}{N_0} = -\sigma n x_m \rightarrow \frac{N_f}{N_0} = e^{-\sigma n x_{max}} \Rightarrow \boxed{N_f = N_0 e^{-\sigma \cdot n \cdot x_{max}}}$

πιθανότητα να μην αντιδράσει να βγει το σωματίδιο από τον στόχο $\frac{N}{N_0} = e^{-\sigma n x_{max}}$

σn : πιθ. αντίδρασης ανά μονάδα μήκους

$\bar{x}$ (μέση ελεύθερη διαδρομή)

$$\boxed{\bar{x} = \frac{1}{\sigma n} = \frac{1}{\mu}}$$

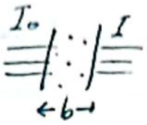
απόσταση που διανύει ο πυρήνας χωρίς να αντιδράσει

Θα βρούμε το $\frac{N}{N_0}$ για $x = \bar{x}$ αντέδρασε το 0,66 της δέσμης

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\cancel{\sigma n}\frac{1}{\cancel{\sigma n}}} = e^{-1} = \frac{1}{e} = 0,33$$

Νόμος Lambert-Beer

$A = \varepsilon \cdot b \cdot C$



$$A = -\log T = -\log\frac{I}{I_0} = \varepsilon \cdot \underline{b} \cdot \underline{C}$$

$$-\ln\frac{N}{N_0} = \sigma \cdot \underline{n} \cdot \underline{x}$$

να εκφραστεί ως $-\ln\frac{I}{I_0}$

$$-\log\frac{I}{I_0} = \varepsilon \cdot b \cdot C \Rightarrow -\frac{I}{I_0} = 10^{\varepsilon \cdot b \cdot c} \Rightarrow -\ln\frac{I}{I_0} = \varepsilon \cdot b \cdot C \ \ln 10 \Rightarrow$$

$$-\ln\frac{I}{I_0} = \varepsilon \cdot b \cdot C \cdot 2,3$$

16/12/2022

Παραγωγή ραδιονουκλιδίου $^{64}_{29}C_{35}$ ($t_{1/2} = 12,7\,h$)

$\xrightarrow[\text{ακτινοβόληση}]{p^+ \; p^+}$ ^{64}Ni

Στόχος

$p + {}^{64}_{28}Ni_{36} \longrightarrow {}^{64}_{29}Cu_{35} + n$

$\rho_{Ni} = 8,9\,g/cm3$

$E_p = 10\,MeV$ $\sigma = 800\,mb$

πάχος στόχου (επιφαν. πυκνότητα) $\rho x = 1\,mg/cm^2$

ρεύμα δέσμης p^+ $i = 10\,mA$

$x = ;$ $x = \frac{\rho x}{\rho} = \frac{1\,mg/cm^2}{8,9\,g/cm^3} = \frac{1\,mg}{8,9 \cdot 10^{+3}\,mg/cm} = 110\,\mu m$

α) να βρεθεί η ποσότητα nx κ να εκφραστεί η σημασία της

β) — | |- πιθανότητα της αντίδρασης

γ) -||- αριθμός πυρήνων ^{64}Cu που παράγονται /s κ /h

$P = \sigma \cdot n \cdot x$ $n = \rho \frac{N_A}{A\omega}$ $nx = \rho x \frac{N_A}{A\omega} = \frac{1mg}{cm^2} \frac{6,02 \cdot 10^{23}\,\cancel{mol}}{\cancel{mol} \cdot 64 \cdot g} = 9,4 \cdot 10^{18}$ άτομα/cm²

$A\omega = 64\,g/mol$

$\sigma = 0,8\,b = 0,8 \cdot 10^{-24}\,cm^2$

~~$P = 0,8 \cdot 10^{-24}\,cm^2 \; 1mg/cm^2 =$~~

$P = \sigma n x = 0,8 \cdot 10^{-24}\,\cancel{cm^2}\, 9,4 \cdot 10^{18}\,\frac{at.}{\cancel{cm^2}} = 7,5 \cdot 10^{-6}$

$P = \frac{\Delta N}{N} \rightarrow \Delta N = P \cdot N = 7,5 \cdot 10^{-6}\, 0,6 \cdot 10^{13} = 4,6 \cdot 10^{7}$ αριθμ ^{64}Cu ανά s

$1C = 0,624\cdot10^{19}e$

$i = 1\mu A = 10^{-6} C/s$

$i = 10^{-6}\cdot 0,0624\cdot10^{20}\ \frac{\pi\rho\omega\tau}{s} = 0,624\cdot10^{13}\ p^+/s$

Σε 1h θα έχω ένα ραδιενεργό δείγμα $N(^{60}Co) = 3600s\ \Delta_N = 1,7\cdot10^{11}$ πυρήνες

δ) ενεργότητα σε μια ώρα A=;

$A = \lambda N =$

$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{12,7h}$ } $A = 2,5\cdot10^{6}$ διασπ/s

1mCi : 37 MBq

1μCi : 37 KBq (πηγές στο εργαστήριο)

↑A → ↑Dos ↑πάχος

↑A → ένταση δέσμης

↑A → χρόνος ακτινοβόλησης

Γεωμετρία

Γωνία

$\theta = \frac{S}{R} = \frac{\text{μήκος τόξου}}{\text{ακτίνα}}$

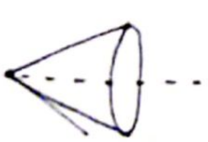
1rad : S = R

dS = Rdθ

$$\frac{dl}{dt} = r\cdot\frac{d\theta}{dt}$$

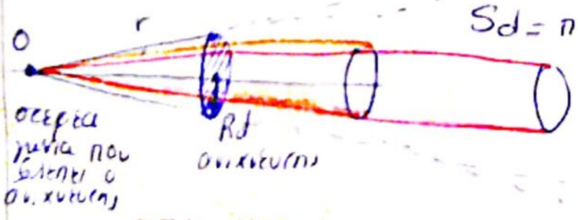
$$\upsilon = r\cdot\omega$$

Στερεά Γωνία (γωνία σε 3 διαστάσεις)



$\Omega = \frac{S}{r^2}$

μονάδα όταν $S = r^2$ 1 sterad = 1sr



$S_d = \pi R_d^2$

$\Omega_d = \frac{S_d}{r^2} \rightarrow S_d = \Omega_d\cdot r^2$

$r\times2 \rightarrow \Omega_d : 4$

παρ τετραπλασιάζω τη απόσταση, πόσο μεταβάλλεται η δόση που δέχεται ο ανιχνευτής κανονας αντιστροφου τετραγώνου

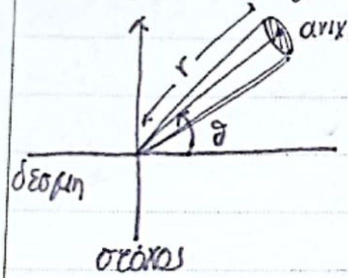
Σημειακές πηγές

1) Ραδιενεργές πηγές
2) Λαμπτήρας
3) Πηγές ήλιου
4) Αστέρες
5) Σημειακή πηγή διάχυσης

Εκτεταμένες πηγές

οσο μακρια κ να εχω τον ανιχνευτη βλεπω το ΙΔΙΟ

Διαφορική ενεργός διατομή



$\Omega_d = \frac{S_d}{r^2}$ $d\Omega = \frac{dS}{r^2}$

$P = \sigma n x$

$$dP = d\sigma (nx) \Rightarrow -\frac{dN}{N} = d\sigma (nx) \rightarrow \frac{\overset{f(\theta)}{\boxed{\frac{dN}{d\Omega}}}}{N} = \frac{d\sigma}{d\Omega}(nx)$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)$$

Πυρηνική Σχάση - Αντιδραστήρες

^{252}Cf αυθόρμητη σχάση

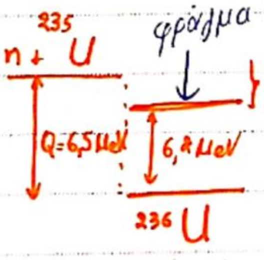
^{238}U

^{235}U

$n + {}^{235}U \rightarrow [{}^{235}_{92}U]^* \rightarrow$ προϊόντα σχάσεως ${}^{150}_{57}La + {}^{87}_{35}Br + 2n$ ή άλλα

∃ πολλοί συνδυασμο

Στις σχάσεις γνκ εκτοξεύονται 2-3n

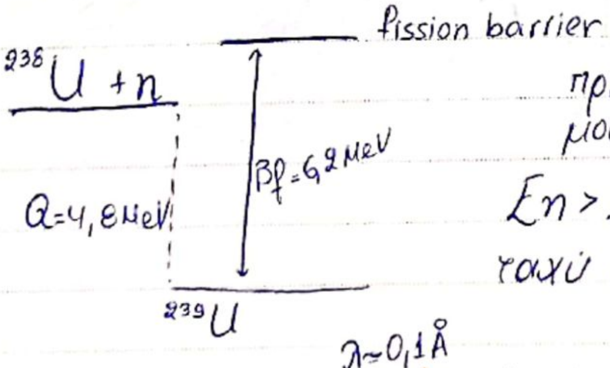


διεγερμένος πυρήνας ταλαντεύεται μέχρι να περάσει το φράγμα σχάσεως ♡

$Q = m_i c^2 - m_f c^2$

$Q = 200MeV$

$1Å = 10^5 fm$



πρεπει να δωσω E στο n ενώ στην 1η περίπτωση μου φτάνει απλό να υπάρχει

$E_n > 1,4MeV$

ταχύ νετρόνιο

θερμικό n $\sigma_f = 500b$ ($\lambda \simeq 0,1Å$) για αυτό προτιμώ αντιδραστήρες με θερμικά n ← αργό, υ↓, λ↑

ταχύ n $\sigma_f \simeq 1b$ ($\lambda \simeq 1fm$)

$\lambda = \frac{h}{mu}$ για υποατομικό σωματίδιο

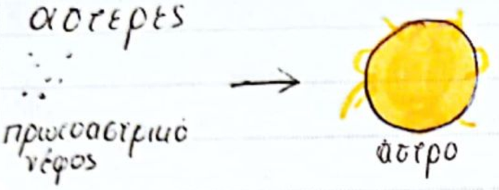
Πυρηνοσύνθεση

BIG BANG 3min p^+ κ n

30min p^+ 75% 25% He (ίχνη Li, Be)

$\frac{\text{BBN}}{\text{μετα το Big Bang πριν τους αστερες}}$

αστερες



d = δευτεριο

$$T = 15\cdot 10^6 K \quad \left.\begin{array}{l} \underbrace{\underset{938,3}{\underset{\text{απωση Coulomb}}{p^+}} + \underset{938,3}{p^+}}_{1876,6} \rightarrow \underbrace{\underset{1875,7}{\overset{d}{(p-n)}} + \underset{0,511}{e^+}}_{1876,2} + V_e \\ p^+ + d \rightarrow {}^3He \\ {}^3H \end{array}\right\} \times 2 \quad t \sim 6\cdot 10^9 y$$

(+)

$${}^3He + {}^3He \rightarrow {}^4He + 2p^+$$

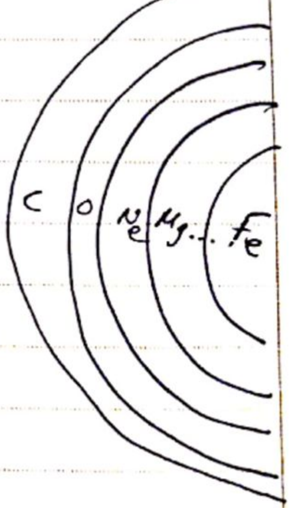
$$4p^+ \rightarrow {}^4He + 2V_e + 2e^+ \quad Q = 26 MeV$$

$${}^4He + {}^4He \rightarrow {}^8Be$$

3M☉

$$\left.\begin{array}{l} \alpha + \alpha \rightarrow ({}^8Be) \\ ({}^8Be) + \alpha \rightarrow {}^{12}C \end{array}\right\} \text{3a reaction}$$

$${}^{12}C + \alpha \rightarrow {}^{16}O$$



8-10M☉

$$\alpha + {}^{16}O \rightarrow {}^{20}Ne$$

$$\alpha + {}^{20}Ne \rightarrow {}^{24}Mg$$

$${}^{12}C + {}^{12}C \rightarrow {}^{24}Mg \quad \dots\dots \quad {}^{56}_{26}Fe \quad {}^{56}Ni$$

s-process

$${}^{56}Fe + n \rightarrow {}^{57}Fe$$

ταχύ η → n capture

β^-

Μεχρι Bi

~~r-process~~

SUPERNOVA !!

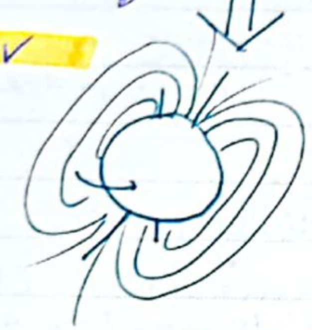
$$^{56}_{26}Fe + e^- \rightarrow \text{[illegible]} \; ^{56}_{25}Mn \xrightarrow{+e^-} {}^{56}_{24}Cr \xrightarrow{+e^-} \ldots\ldots \rightarrow {}^{56}_{2}He \xrightarrow{e^-} {}^{56}_{1}H \xrightarrow{e^-} \underline{\underline{56n}} \; !!!$$

νετρονοποίηση

Αστέρας Νετρονίων

κατακρήμνιση

Εκτίναξη νετρονίων



R-PROCESS

πολλαπλή σύλληψη πριν τη β^-

μέχρι U

binary NS → merge → Kilonova