

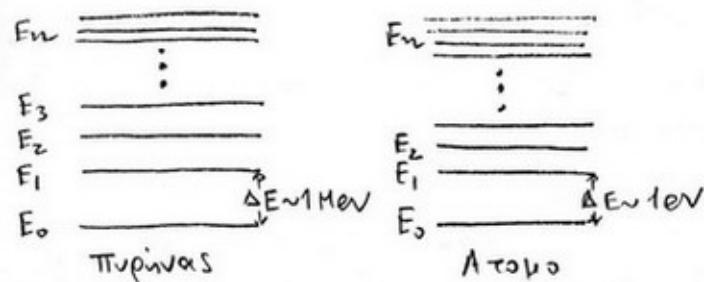
## ΚΕΦ. 7 ΔΙΕΓΕΡΜΗΝΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ του πΥΡΗΝΑ

1. Πειρακαντός προσδιορισμός των διεγέρητων καταστάσεων (A)
2. Μερικά γενικά χαρακτηριστικά των. " " " (B)
3. Μετάπτωση των διεγέρητων καταστάσεων - γενικήγεντος και ειδικότερη μετροπή (C)
4. Επικέρους ρυθμοί διεξιτάξεων και επικέρους πλάνων (Δ)

κ. ΤΑΤΤΙΔΟΤΟΥΛΟΣ

## ΚΕΦ. 7<sup>ο</sup> ΔΙΕΓΕΡΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΙΣ (Δ.κ) ΤΟΥ ΠΥΡΗΝΑ

### 7.1 Πειραματικός προσβολισμός την (Δ.κ) (A)



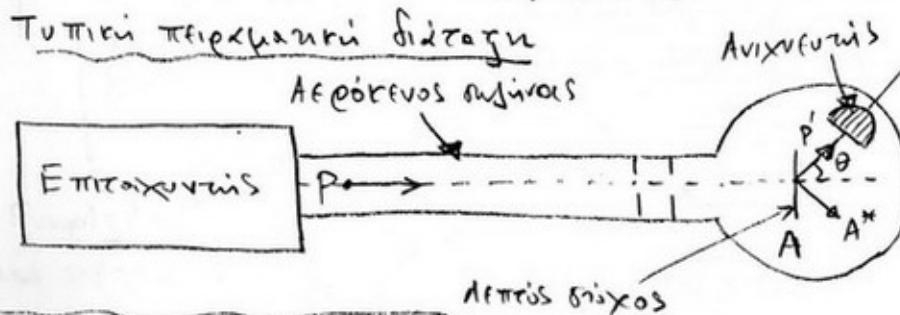
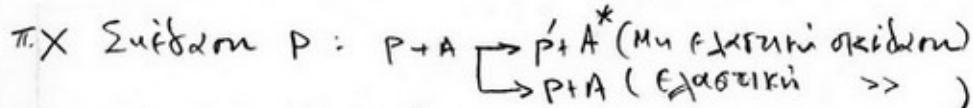
- Οι πυρίνες εχουν (Δ.κ) όπως τα άτομα.

- Οι πυρίνες σε Γη βρίσκονται σε θερμοκρασία κατάστασης  $E_0$  γιατί  $k_B T_0 \sim 1/4 \text{ eV}$  ( $T_0 = 300^\circ \text{K}$  και  $k_B = 8.6 \cdot 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$ )

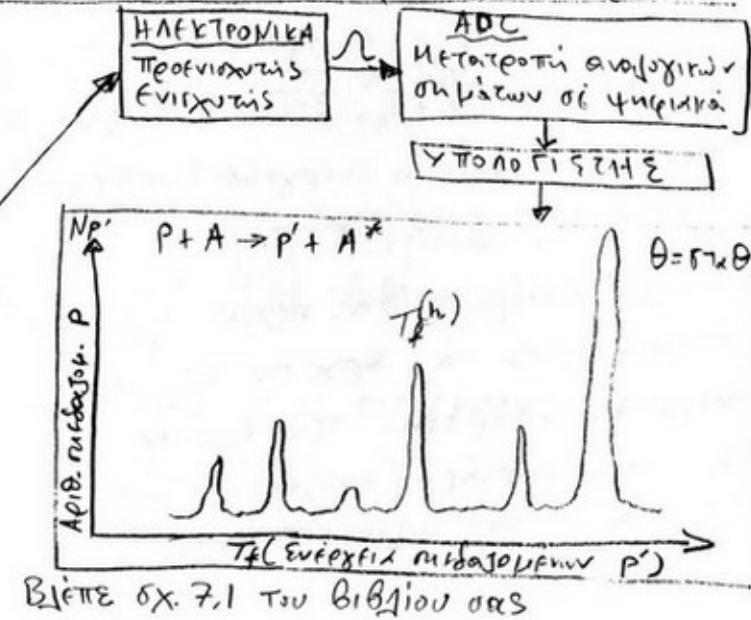
$$\text{Μόνο } \gamma \text{τα } k_B T \approx 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} \Rightarrow T = 4 \cdot 10^6 T_0 \approx 10^9 \text{ K}^+$$

Δει παρόμοια στα γεγονότα της πυρίνης. Αυτό μεγαλώνει την πιθανότητα της αποτύπωσης.

- Η παρατήρηση της Δ.κ δίνεται στις ίδιες μέσω πυρηνικών αντιδράσεων



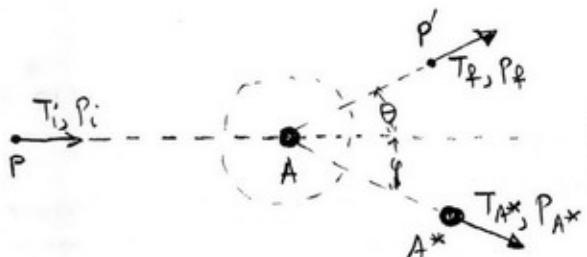
$$\text{④ } \frac{k_B T_0}{k_B T} = \frac{1/4 \text{ eV}}{10^6 \text{ eV}} \Rightarrow T = 4 \cdot 10^6 T_0$$



Τα p της δέσμης μονοεντρηγιανοί }  
 Τα p' (σκεδαζόμενα) οχι }  $\Rightarrow$  Εκφραγμένα με κινητ. ενέργειας  $T_f^{(n)}$  διάκρισης (βλέπε κόμμας)  
 ή ωαi  $T_f^{(n)} \leq T_i$  (αρχική κινητ. ενέργεια της P)

Μπορούμε να ερμηνεύσουμε τα περιθετικά δεδομένα;

a) Πρόβλημα συμβάσης: Η p της δέσμης αρχικέπιδρα με 1 πρώτων του στόχου (η πιθανότητα σκίψης του p πάνω από αυτό καιρί μικρή για 2<sup>η</sup> πόσο στόχο)  
 Το εποδινό αποτέλεσμα, αθροίζει κατιάσματα γεγονότων.



④ Προσοχή:  $T_i, T_f \rightarrow E_i, E_f$  την βιβλιογραφία

E: ανθελιγούμε την ολική ενέργεια ( $E=mc^2+T$ )

T:  $\gg$  την κινητική  $\gg$

b) Αν μετρίων  $T_f^{(n)} + T_{A*}^{(n)} \leq T_i$ . Η διαφορά  $\Delta T = E_n$

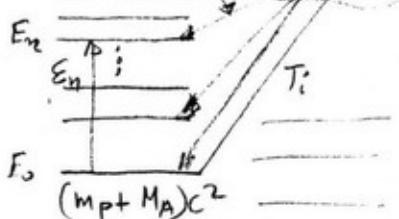
πρέπει να είναι η ενέργεια διέγερσης  
 των διαταραχών στανταρ

c) Η αρχικέπιδραν καὶ αρχικά αγνωστη.

Μπορεί ακόμα να "αρχική" από ταis  
 νέαρα διατηρητικά πτών έχουν  
 στην καρδινάρια (αντιστρέψαντα από  
 τη μορφή της αρχικέπιδραν)

Οι διακρίσεις της  $T_f^{(n)}$   
 $\Rightarrow$  σε  $\gg$  διεγέρσεις παρατητικής  $E_n$

$(T_f^{(n)} + T_{A*}^{(n)})$   $\gg$  πρώτης κατατητικής



$$\begin{array}{c} E_n \\ E_2 \\ F_1 \\ E_1 \\ E_i \\ F_1 \\ (M_p + M_A)c^2 \\ M_A c^2 \end{array}$$

$(X \rightarrow A + 1 \text{ πρώτων})$

$$1) \text{ Διατίπυν Ενέργειας: } E_i + F_A = E_f + E_{A^*} \quad (1)$$

$$(m_p c^2 + T_i) + (m_{A^*} c^2 + 0) = (m_p c^2 + T_f) + (m_{A^*} c^2 + T_{A^*}) = (m_p c^2 + T_f) + [(m_{A^*} c^2 + \varepsilon) + T_{A^*}]$$

Αρχικά  $\boxed{\varepsilon = T_i - T_f - T_{A^*}} \quad (2)$

$T_{A^*} \ll m c^2 \Rightarrow T = p^2/2m$  υαi i σχέση (2) γραμμέται

$$\varepsilon = \frac{p_i^2}{2m_p} - \frac{p_f^2}{2m_p} - \frac{p_{A^*}^2}{2m_{A^*}} \quad (3)$$

$$2) \text{ Διεργήν Ορθίς: } \vec{P}_i = \vec{P}_f + \vec{P}_{A^*} \quad (4) \Rightarrow p_{A^*}^2 = p_i^2 - p_f^2 - 2p_i p_f \cos\theta \quad (5)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{με αντικατάσταση της (5) στην εq. (3)} \\ \Rightarrow \varepsilon = \frac{p_i^2}{2m_p} \left(1 - \frac{m_p}{m_{A^*}}\right) - \frac{p_f^2}{2m_p} \left(1 + \frac{m_p}{m_{A^*}}\right) + \frac{p_i p_f \cos\theta}{m_{A^*}} \end{array} \right\} \quad (6)$$

υαi στοιχίο  $p^2/2m = T \Rightarrow p = \sqrt{2mT}$  i εq. (6) γραμμέται

$$\boxed{\varepsilon = T_i \left(1 - \frac{m_p}{m_{A^*}}\right) - T_f \left(1 + \frac{m_p}{m_{A^*}}\right) + \frac{2m_p}{m_{A^*}} \sqrt{T_i T_f} \cos\theta} \quad (7)$$

Η εq. (7.2) με  
βιδιούς τας ( $T \rightarrow E$ )

$$\left. \begin{array}{l} \text{Γνωρίζονται τα } T_i, m_p, m_{A^*} \text{ και } \theta \\ \text{και μηρύνονται τα } T_f^{(u)}, \text{ υπολογίζονται } T_{A^*}^{(u)} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ΤΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΤΩΝ ΔΙΕΓΓΡΑΦΗΝΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΩΝ} \\ E_{\eta} = E_0 + \varepsilon^{(u)}$$

(\*) Κοινής περιπτώσης 1  
στις επόμενες σελίδες

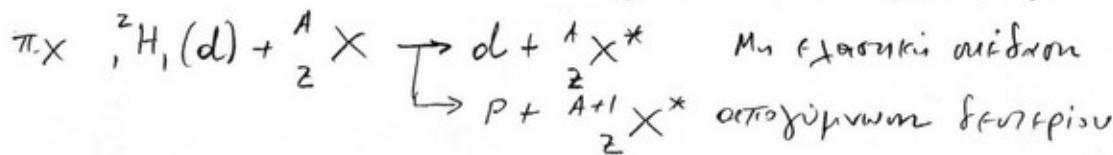
## Tapacuensis

$$1. m_A x = m_A + \varepsilon/c^2 = m_A (1 + \varepsilon/m_A c^2) \approx m_A \quad \text{if } \varepsilon \ll m_A c^2 \quad \left\{ m_A c^2 \approx 940 \text{ MeV} \right.$$

2. Για να υποεργάσης από την καραυρίσματις  
σταθερές την διεγέρησην κατεβάζεων ουσιών  
το Ζ''(σπιν-ομοιοία), Ζ(κρόνος μηχανισμού) ...  
πρέπει να λερώσεις από την ποσοτικής ναι  
να γνωρίζεις τη διαδικασία της αποτελεσματικότητας

3. Μια αντίδραση δεν "δικαιούεται" όταν τις διεγέρθηκε κατάταξης ενώ πρότυπος, γιατί πληροφορίες για τις ίτι γιατρούς των μελετήσεων ή διάφορες αντιδράσεις - -

4) Η ανιδρατία  $P + A \rightarrow P' + A''$  καταλληλεί για σταθερούς πυρίνες  $A$  (διότι μπορεί να επιλέγω στάχτης αυτό το υδρό  $A$ ). Για την σταθερούς πυρίνες πρέπει να χρησιμοποιηθεί αλλαγής ανιδρατίας π.χ. οπεργύρινης δευτερίου (d)



Zo n xijareé ongdepivo

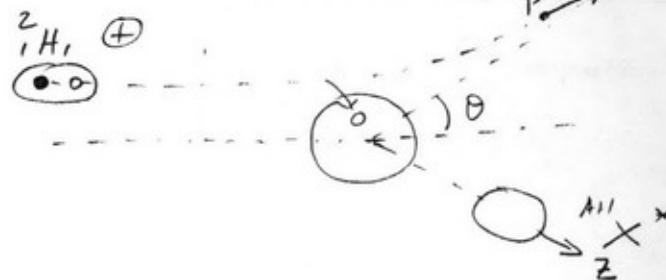
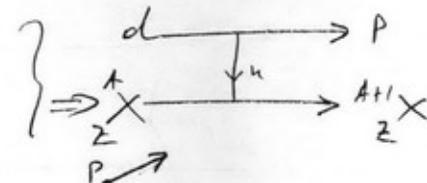
870 d (*Eriogonum confertum* B=2.2 MeV)

ион үткөрсі функция на "График"

Առ և ԿԵՐ ՕՇՎ ՊՈՎԻՆ ՀՅՈՒՄ  
ՊՎ. ԵՂՋՎ ՊԻՋԻՆ.

Ένθαδός  $N_p \sim$  ΤΙθενται σε  
 συμμετρία της αντίστοιχης  
 διεγέρησης κατάταξης  
 Η γωνία της οποίας  $N_p(\theta)$   
 $\Rightarrow$   $T_f^{(n)}$

δίνει πληροφορίες για τις ιππ



Ηε παρόμοιο τρέτο οδης, και για την αντανακτική μείδη της πρωτονίου μπορείτε να αποδείχετε ότι οι ενέργειες των διεγερμένων κατκετάστων διδούνται από τη σχέση

$$E = T_i \left( 1 - \frac{m_d}{m_{A+1}} \right) - T_f \left( 1 + \frac{m_p}{m_{A+1}} \right) + \frac{2\sqrt{m_p m_d T_i T_f}}{m_{A+1}} \cos\theta + Q \quad (\text{Σχέση 7.2 των Bolidovrou})$$

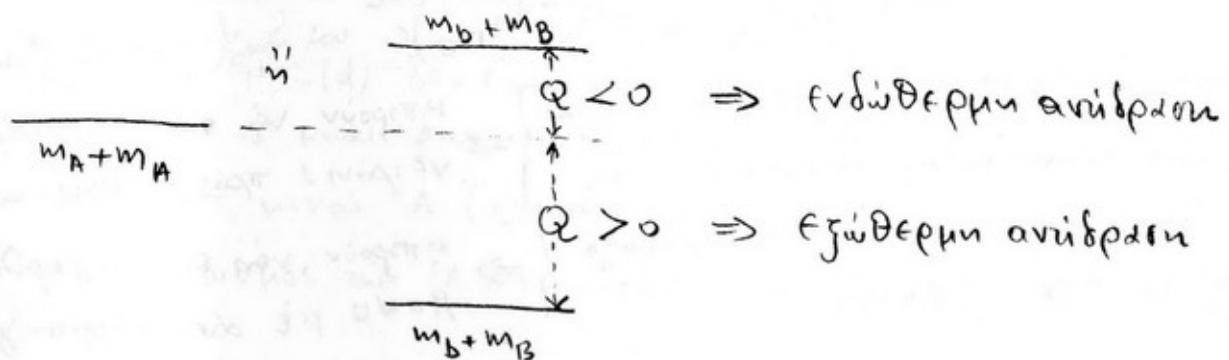
Οπου  $T_i \rightarrow$  kivnarii ενέργεια των προβπιπτωντος δευτερίου

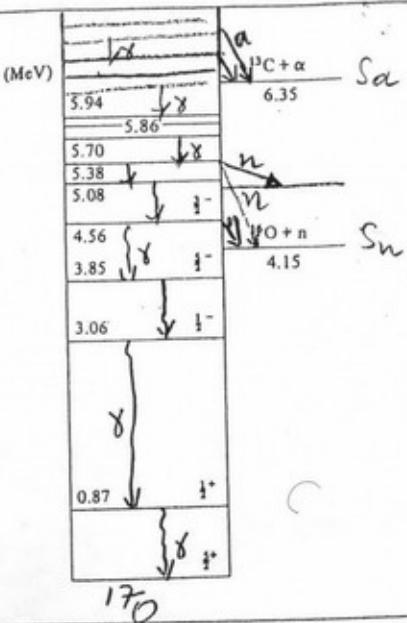
$T_f \rightarrow$  " " " " εξερχούντων πρωτονίου

$$Q = (m_d + m_A - m_p - m_{A+1}) c^2 = \sum (m_{\text{αρχ}} - m_{T_f}) c^2 \quad \begin{pmatrix} \text{Το Bolidio ras τη ω} \\ \text{μηδηλήση με } E_0 \end{pmatrix}$$

To  $Q$  αναφέρεται  $Q$ -zapi iin το  $Q$  των ανιδρών

Γενική για μια ανιδρων  $a + A \rightarrow b + B + Q$





Εγκίρηση 7.3

- Στο έγκιρηση 7.3 των Bribigou σας περιουσια-  
νται οι ενέργειες διεγέρσεων των  $^{17}\text{O}$   
μεταξύ των 6 MeV
- Οι διεγέρσεις καταστάσεις ανθεκνούνται  
με αριθμόνες γεγονότες σε κάποια γεγο-  
νή από τις οποίες συναντώνται  
τα οποία είναι αντίστοιχα των ενέργειών τους.
- Στο έγκιρηση 7.3 διεγέρσεις διδούνται ναι

- a) Η ενέργεια διεγέρσεων  $\text{Sn}$  για νερόνιο ναι
- b)  $\gg \gg \text{Soe}$  για ευρύτερο

$$S_n = (M_{^{110}\text{O}} + M_n - M_{^{110}\text{O}}) c^2 \quad \text{και} \quad S_{\text{Soe}} = (M_{^{13}\text{C}} + M_{\alpha} - M_{^{110}\text{O}}) c^2$$

- Οι διεγέρσεις καταστάσεις ( $\Delta E$ ) των  $^{17}\text{O}$  των έγκιρων  
ενέργεια της ηλιακής ατμόσφαιρας διεγέρσεις  $\text{Sn}$  }  $\Rightarrow$  μπροστάν ναι επιδιεγέρσεις με  
νερόνιο & προς στάθμες των  $^{110}\text{O}$
- Οι ( $\Delta E$ ) όπως των έγκιρων ενέργεια της καρβονίτης αττικού  $\text{Sn}(4.15 \text{ MeV}) \pi, \chi, 0.87, \dots, 3.85 \text{ MeV}$  }  $\Rightarrow$  μπροστάν ναι επιδιεγέρσεις  
μονού με αντινεργοταγή

## 7.2 ΜΕΡΙΚΑ ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΙΕΓΓΕΡΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ (Δ.κ) (B)

Οι (Δ.κ) ή τα ενεργειακοί διαχρόνιτα (Ε.Δ) των πυρίνων είναι ως αρχάς πολύπλοκοι και διέν ανοδουθούν (εναν απόρο νόμο (π.χ το απόστρωμα  $H$ ,  $E_n \sim 1/n^2$ )

Συστηματική οπως μετέτιν των (Δ.κ) και σ. διέν σημαντικές πληροφορίες

α) κατ' αρχάς τα (Ε.Δ) αποτελούν τις "Ταυτότητα" των πυρίνων

π.χ.  $H = 1^{\text{st}}$  διεγέρην καταβατμ το πυρίνα  $\Rightarrow$  Είναι 871 rev  $1/2^{\text{th}}$  ————— 871 rev  
και αποδιχθίστηκε με την αντίστοιχη αντίνα-γ προς την

Θεμελιώδη καταβατμ (βλέπε ότι σχήμ. 7.3 της Βιβλίου σας)  $5/2^{\text{th}}$  ————— }  $F_g = 871$  0

Επομένως αν σε ενα περιστατικό γρηγοροποτίας-γ "γω"

μια αντίνα-γ με τιμέα  $F_g = 871$  rev αποτελεί "υποστεύματα"  
(σχεδίαση σήγουρος) σε Ε  $\Rightarrow$  Ο στό υγιές μου ...

β) Στα (Ε.Δ) των πυρίνων εκφράζονται η δυνατιτή της αρχιμεταβολής των νομικών,  
συστηματικής ποσούς μετά της δοκίν των (Ε.Δ) και διέν πρώτες πληροφορίες για τη δυνατιτή του ωμίνων.

1. Το Διατίπερο  ${}^2H$ ,  $n(d)$  διέν εξει ωκεία διεγερ. καταβατμ  $\Rightarrow$  ου το "πηγαδί" διαρροής του d πρέπει να είναι φυσικό (από την γενική γνωστικότητα της κλασικής κανονικότητας)

- Οι πυρίνες με υψηλό A (ελαφριές πυρίνες) εχουν λίγες διεγερ. καταβατμές

- Γενικά ο αριθμός των (Δ.κ) αυξανεί πρόσθια με την αυξημένη A (καρτιστικότητα)

2.

(MeV)	8.92	$\frac{1}{-}$	${}^7\text{Li} + \alpha$
	8.56	$\frac{1}{-}$	8.67
	7.98	$\frac{1}{+}$	
	7.29	$\frac{1}{+}$	
	6.79	$\frac{1}{+}$	
	6.74	$\frac{1}{-}$	
	5.02	$\frac{1}{-}$	
	4.45	$\frac{1}{-}$	
	2.13	$\frac{1}{-}$	
		$\frac{1}{-}$	

 ${}^{40}\text{B}_6$ 

	8.42	$\frac{1}{-}$	${}^{10}\text{B} + p$
	8.11	$\frac{1}{-}$	8.69
	7.50	$\frac{1}{+}$	
	6.91	$\frac{1}{+}$	
	6.48	$\frac{1}{-}$	
	6.34	$\frac{1}{+}$	
	4.80	$\frac{1}{-}$	
	4.32	$\frac{1}{-}$	
	2.00	$\frac{1}{-}$	
		$\frac{1}{-}$	

 ${}^{40}\text{C}_5$ 

(Σύμφωνα με την Βιβλιογραφία)

d) Κατοπτρικοί πυρήνες

$$\left. \begin{aligned} Z(1^{\text{st}}) &= N(2^{\text{nd}}) \\ N(1^{\text{st}}) &= Z(2^{\text{nd}}) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} \text{Οι πυρήνες } {}^5\text{B}_6 \text{ και } {}^6\text{C}_5 \\ \text{είναι κατοπτρικοί} \end{aligned}$$

b) Οι σχεδόν ιδιαίς Δ.Ι.Κ (E, J<sup>π</sup>) του γάχιστου για τις  
χρήσιμες ενέργειας κατατάξεις ακριβάγμενοι (διάγνωση) είναι  
ΑΝΕΞΑΡΧΗΣΙΑ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΠΟΤΟΛΜΗΣΗΣ

c) Η υπαρχη 2 γενικών ποντικούντων (p, n)  
οδηγεί σε 3 διακριτικές αλλαγές προσβασίας

$$p \leftrightarrow p, \quad n \leftrightarrow n \quad \text{και} \quad p \leftrightarrow n$$

N → αριθμός των ανιστορικών παρατηρήσεων

πυρήνας	N(pp)	N(nn)	N(pn)
${}^5\text{B}_6$	$\binom{5}{2} = 10$	$\binom{6}{2} = 15$	$5 \times 6 = 30$
${}^6\text{C}_5$	$\binom{6}{2} = 15$	$\binom{5}{2} = 10$	$6 \times 5 = 30$

Επειδή  $N(pn)$  των  ${}^5\text{B}_6$  =  $N(pn)$  των  ${}^6\text{C}_5$  = 30  
στις ουριαίες αρχαριώνες των παρατηρήσεων  
δύνανται  $p \leftrightarrow p$  και  $n \leftrightarrow n$

H ανοιχτής των Δ.Ι.Κ στις  
 $\Rightarrow \boxed{p \leftrightarrow p \approx n \leftrightarrow n}$  και ουδεμία  
 ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ φΟΡΤΙΟΥ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ  
 (Charge Symmetry of nuclear forces.)

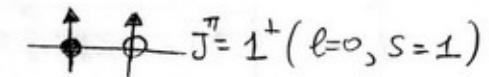
8) Αριθμητικά δεδομένα δικυρώνουν την ισχύ

$P \leftrightarrow P \approx n \leftrightarrow n \approx p \leftrightarrow n$   $\Rightarrow$  ΑΝΕΞΑΡΤΗΣΙΑ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ φΟΡΤΙΟ  
(charge independent of nuclear forces)

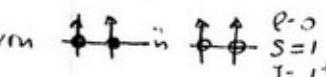
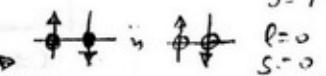
ΠΡΟΣΟΧΗ: Τα πρόσημα των ισχύων στον τόπο  
δύναμης είναι αριθμοί που διαβίνουν στην }  $\Rightarrow$  ΙΔΙΑ ΕΒΑΝΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.

ε) Αναφέτες καταστάσεις δύο νονταρίων (λίτις και περίστηκα Γ.4 των Βιβλίου σας)

$$\vec{S} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2 \rightarrow |1/2 - 1/2| \leq S \leq |1/2 + 1/2| \Rightarrow S = \begin{cases} 1 & \rightarrow \text{ευκατάστηκη κατάσταση} \\ 0 & \rightarrow \text{αναταραχήτηκη} \end{cases}$$

Δευτέρως: Δέρμα σύστημα }  $\Rightarrow$  Άποις περιορισμοί  $J^P = 1^+$  και  $l=0$  }  $\Rightarrow$    
ενώς π και ενώς n } (στη θερμοκρασία ταξιδών) }  $J^P = 1^+ (l=0, S=1)$

$$\Psi = \Psi(x_{wp}) \Psi(\sigma_{\pi}) \Psi(\sigma_n) \stackrel{l=0, S=1}{=} \text{συμμετρική κατάσταση}$$

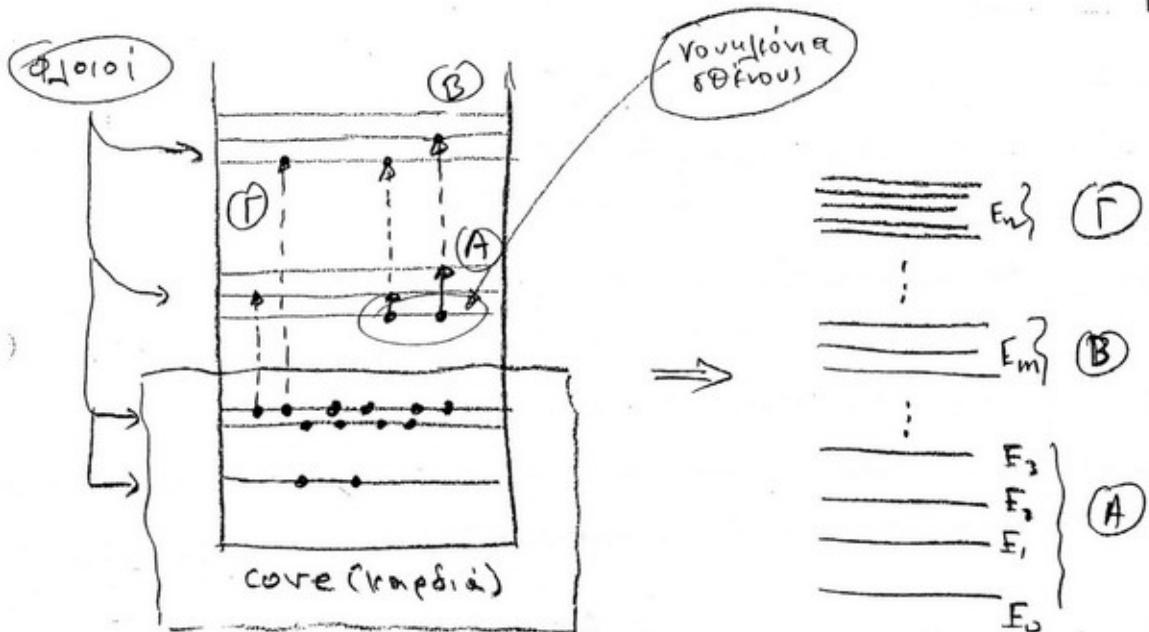
$2p \approx 2n$  }  $\Rightarrow$  λόγω αρχών }  $\Rightarrow$  Δύο μπορεί να βρεθούν σε αντίκτυπη κατάσταση   
ομοιοί γερμηνία } Pauli }  $\Rightarrow$  αλλαγή μόνο σε ΑΝΤΙΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 

Τελικά: Η μήνυση γράφημας κατάστασης  
 $pp \approx nn$  δεν σημαίνει ότι οι πυρηνικές  
διωγκίσεις δεν είναι ίδιες αλλά ότι  
ΕΞΑΡΤΩΝΤΑΙ ΙΣΧΥΡΑ ΑΠΟ ΤΟ ΣΤΙΓΜΗΝΙΟΝ.

Διαφέρει αλγότερο είναι  
ως το μήνυση συμμετρικής  
δέρμας κατάστασης

3. Οπις και στην ασυμμετρική φύση μία πολιούχη εξηγητική των διαγρ.

Καταστάσεων ( $\Delta$ .k) μπορεί να γίνει στα περιβόλια των απέριου  
προϊόντων των ηδοίων και την αναπατάσαγη ή προώθησην να γρ.  
Σε υψηλότερες ενεργειακές καταστάσεις απέριον συμφωνίων



### Κατηγορία (Α)

Αναπατάσαγη  
νουστικόνες  
επονεύσιο σημείο

Χαρμός  
ενεργειακής  
καταστάσεως  
(E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>...)

### Κατηγορία (Β)

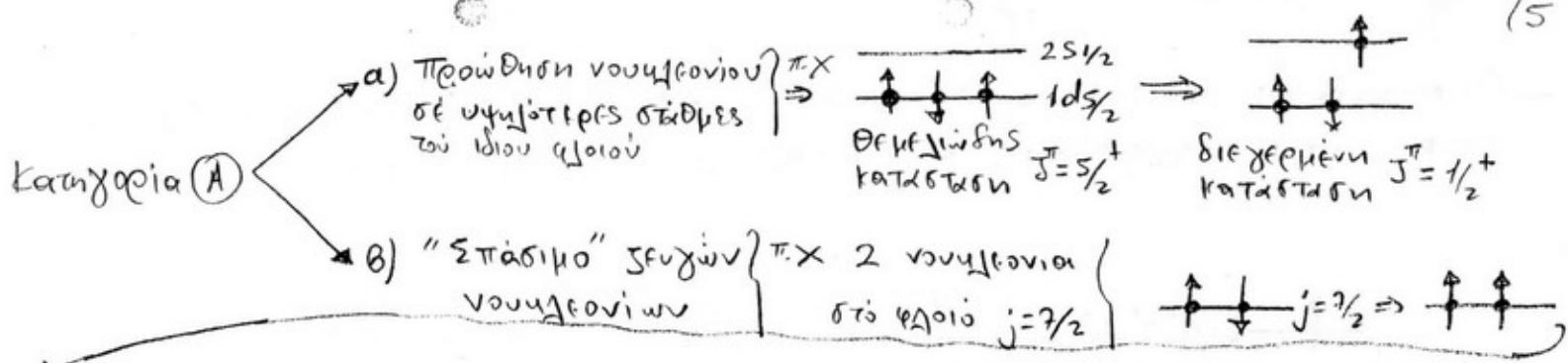
Προώθηση  
νουστικόνες  
σε υψηλότερα  
ηδοία

ενεργειακές  
καταστάσεις  
(E<sub>n</sub>...)

### Κατηγορία (Γ)

Προώθηση  
νουστικόνες  
της καρδιάς  
(core) σε  
υψηλότερους  
ηδοίους

σε πιο υψηλές  
ενεργειακές  
καταστάσεις  
(E<sub>n</sub>...)



- Διαθέσιμες καταστάσεις  $-j < m_s < j \Rightarrow 2j+1 = 8$  ( $-3/2, -1/2, \dots, 3/2$ )
- 2 νοημονία παρούν και κατανθίζουν μετά  $\binom{8}{2} = \frac{8!}{2! \cdot 6!} = \frac{7 \cdot 8}{2} = 28$  διακοπήσιμος τρόπος
- Δυνατές μήκις του σπιν  $J = j_1 + j_2$   $| -3/2 - 3/2 | < J < | 3/2 + 3/2 | \Rightarrow J = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$
- Αποδεκτές λόγω αρχών του Pauli (Ψαυτισμού) μόνο  $J = 0, 2, 4, 6$   
(μεγαλύτερες υποκαταστάσεις  $2J+1 \Rightarrow \frac{1}{1} + \frac{1}{5} + \frac{1}{9} + \frac{1}{13} = 28$ )
- Η εύρεση των  $J$  παρούν περιορίζεται ΜΟΝΟ από την αρχή του Pauli είναι αρμόδια προς πάγια στην χειρική της λύση (υπάρχουν πινακίδες)

$$\pi \times 8^{\text{η}} \quad j = 3/2 \quad \begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \\ \uparrow \\ \bullet \\ \uparrow \end{array} \Rightarrow \binom{8}{3} = \frac{8!}{3! \cdot 5!} = \frac{6 \cdot 7 \cdot 8}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 56 \quad \text{με } J = \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}, \frac{9}{2}, \frac{11}{2}, \frac{13}{2}$$

(μεγαλύτερες υποκαταστάσεις  $2J+1 \Rightarrow 4 + 6 + 8 + 10 + 12 + 13 = 56$ )

- Οι καταστάσεις εκφυδισμένες στα πλαίσια του από τη προέτικη των γροτών. Ήγειρε όμως τις εναποκέννυσες αλλαγές πίστροφης  $H_R$  ( $H = H_0 + H_R$ ) ο εκφυδισμός αιρεται

$$\begin{array}{c} \uparrow \quad \uparrow \\ \text{---} \end{array} \quad J=0^+, 2^+, 4^+, 6^+ \quad \left( \begin{array}{l} \text{Ο εκφυδισμός} \\ \text{αιρεται γάρων} \\ \text{της } H_R \\ H = H_0 + H_R \end{array} \right) \Rightarrow \begin{array}{ll} E_3 & 6^+ \\ F_2 & 4^+ \\ F_1 & 2^+ \\ E_0 & 0^+ \end{array}$$

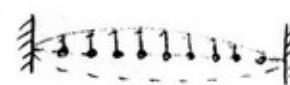
Ο θεωρητικός υπολογισμός των  $E_1, E_2, \dots$  αριθτών προτύπων (γενικήγενες από τα ορια του περόνες μαθηματος)

- Οι χακιά διεγερτήσεις καταστάσεις (κατηγορία (A)) συχνά μπορούν να περιγράφονται πλαίσια των προετικών των γροτών σαν ΔΙΕΓΕΡΣΕΙΣ λιγον πολυκνεοντων σθενούς
- Οι υψηλότερες διεγερτήσεις καταστάσεις (κατηγορία (B), (D))  $\Rightarrow$  ΔΙΕΓΕΡ. ΠΟΛΛΩΝ ΝΟΥΚΛΕΟΝΤΩΝ  
Οι θεωρητικοί υπολογισμοί αδύνατοι στα πλαίσια των προετικών των γροτών  
γιατί υπέρχει πολύ μεγάλος αριθμός διατάξεων προτύπων συμπεριβάντων

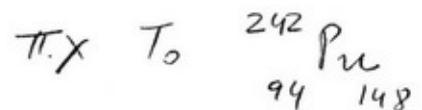
- Συχνές τέτοιες καταστάσεις, πολλών συμφωνίων  
του είδος πρότυπο των οποίων περιγράφονται  
"αυοφά" (λίγων των προπλουστικών) μηδονών  
και περιγράφονται με απλή πρότυπων ων ονομασία.

ΣΥΝΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ναι  
ενθυμητών τη συνέπεια των  
κίνησης πολλών συμφωνίων σε  
νέες μητρικής του ονομάζονται  
ΣΥΝΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

π.χ. Σταθερής κονταξτάσεις μήλα φλαβούντις χορδής.  
Η κίνηση & "συμφωνία" των χορδής λόγω  
των συνάντησης εκφράζεται στο γεγονό $w$ , και  $A(k)$ ,  $w=w(t)$  σχέση σινεωδούς,  
οπλικής συνθήσεως, κυριαρχίας εξισώσεων, ...

$\Rightarrow$   N-θυμητής  
Ε.γ. κίνησης  
 $\Rightarrow$   In(1) + n  
$$Y = \sum_{m=1}^N A_m(k) \sin k_m x \sin w_m t$$
  
 $A_m \rightarrow$  ουλαρχή μητρική

- Όσο αποκατηνούμετε από τας γειτονιάς γειτονιάς οποτε οι πρώτες έχουν  
πολλά νουραγονιά γείνουν αύριναι ναι οι πρώτες διαγέρρητες κοπτότραστες  
επιστροφούντος στη γέραση πολλών να γενιγήνεται πολλή η περιγραφή  
από συλλογική πρότυπα.



Ex. Ei 12 πρωτόνια έχουν από το γενό  $\Rightarrow Z = 80$   
 και 22 νετρόνια  $\Rightarrow N = 126$

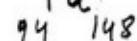
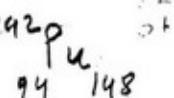
$$E_4 \longrightarrow 8^+$$

$$E_3 \longrightarrow 6^+$$

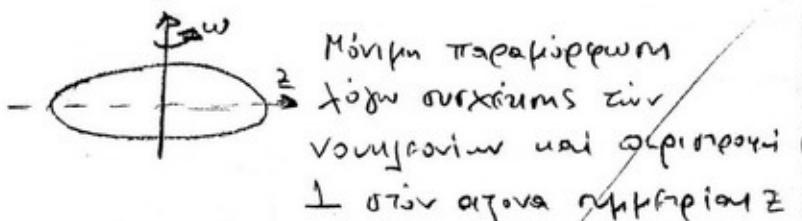
$$E_2 \longrightarrow 4^+$$

$$E_1 \longrightarrow 2^+$$

$$E_0 \longrightarrow 0^+$$



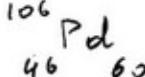
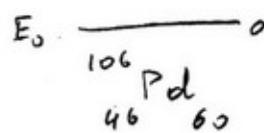
$$E = \frac{\hbar^2}{2} (J+1) \quad \boxed{\text{φάση περιστροφής}}$$



$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{4(4+1)}{2(2+1)} = \frac{4 \cdot 5}{2 \cdot 3} = \frac{10}{3} = 3.33$$

$$E_2 \longrightarrow 2\omega$$

$$E_1 \longrightarrow \omega$$



$$E = N \hbar \omega$$

**φάση ταλαντώματος**

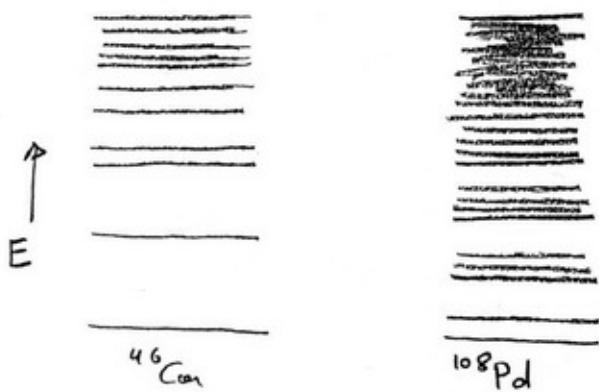
$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{2 \hbar \omega}{1 \hbar \omega} = 2$$

$\Rightarrow$  Av "δεις" το Δωρο ~ 3.3  
 στο ευργεντό διαρκ.  
 Ενώ πυρίνα ακέρως  
 $\Rightarrow$  "Πονηρεύεται" οι  
 μπορεί να είναι  
 φάση περιστροφής

$\Rightarrow$  Av "δεις" το Δωρο ~ 2  
 (οροίων)

$\Rightarrow$  φάση ταλαντώσεων

Άρικα μετατροπή γενικής καταστάσεως των διαγ. καταστάσεων του πηλίνου



a) Για ενέργεια διφορών E

σταθερή, ο βαρύτερος

ωρίμων έχει μεγαλύτερη

ωρίμων καταστάσεων  $\frac{dN}{dE}$

b) Για σύστημα νομήρα

$\frac{dN}{dE}$  πληρώνεται όταν E  
αυξάνεται

Mία πολονή

ενέργεια στη

πλούσια των

προτιόνων των

Αριόν - Fermi

είναι η αντίθετη.

- Αριθμός καταστάσεων εντός νομού Fermi  
Ενέργειας μικρότερης από ε

$$\Rightarrow n(\varepsilon) = C \varepsilon^{3/2} \quad (\text{βλέπε Έξ. 87 περιήγησης βιβλίου})$$

- Τικνόντα καταστάσεων στο  
διαστήμα ε, ε+Δε

$$\Rightarrow p(\varepsilon) = \frac{dn(\varepsilon)}{d\varepsilon} = \frac{3}{2} C \varepsilon^{1/2} = \frac{3}{2} (C \varepsilon^{3/2}) / \varepsilon = \frac{3}{2} \frac{n(\varepsilon)}{\varepsilon}$$

- Μέση απόσταση των ενέργειαν  
καταστάσεων στην ενέργεια ε

$$\Rightarrow d = \Delta \varepsilon = 1/p(\varepsilon) (\Delta n = 1) = \frac{2}{3} \frac{\varepsilon}{n(\varepsilon)}$$

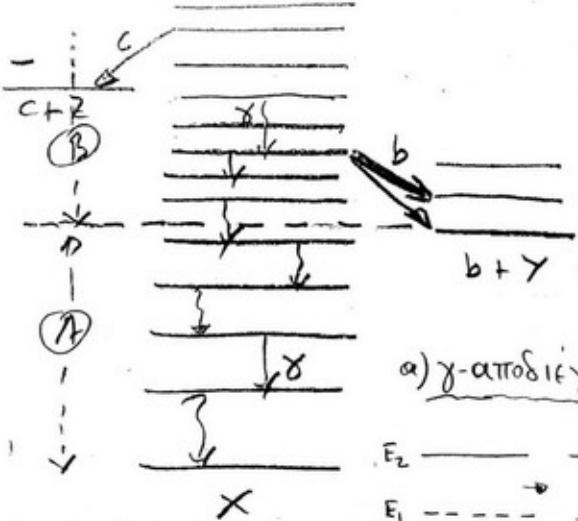
- Για  $\varepsilon = \varepsilon_F \approx 38 \text{ MeV}$  (ενέργεια Fermi)  $\Rightarrow \Delta \varepsilon = 2/3 \frac{\varepsilon_F}{N} = \frac{2}{3} \times \frac{38}{N} \approx \frac{25}{N} \Rightarrow \boxed{\Delta \varepsilon \approx \frac{50}{A}} \quad (N \approx A/2)$

- Η απόσταση Δε (μικρότερη καθώς το A μεγαλώνει) ουδικάτατά καθορίζει  
την ενέργειαν καταστάσεων Δε για τις διφορές καταστάσεων E  $\Rightarrow$  καθώς το A μεγαλώνει  
το Δ. καταστάσεων μερικώς

7.3 ΜΕΤΑΤΤΟΣΗ ΤΩΝ ΔΙΦΕΡΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ (Δ.Κ)

γ) ΑΠΟΔΙΕΓΕΡΣΗ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΤΟΣΗ

Γ



a) γ-ΑΠΟΔΙΕΓΕΡΣΗ

$$E_1 \xrightarrow{\text{αρχ. κατασ.}} E_2$$

- Οι (Δ.Κ) μένενέργεια πάνω από το χαρακτηρικό  
κατινηδιά για διεπίπειρη σε ελαφρούς πυρίνες (Y, Z,..)  
αποδιεγερούνται κυρίως μένενέργεια (P, N, O,..)  
(περιπτώμα (B) στη διπλανή σχήμα)

- Οι (Δ.Κ) μένενέργειες πάνω από το χαρακτηρικό  
κατινηδιά ..... αποδιεγερούνται μεταρεθηκτικά  
(περιπτώμα (A) στη διπλανή σχήμα)

b) ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΤΟΣΗ (+)

$$\gamma \Rightarrow E_2 - E_1 = E_{\gamma}$$

Τελ. κατασ.

$$E_2 \xrightarrow{\text{αρχ. κατασ.}} E_1 - e$$

Τελ. κατασ.

(από την ατομική προχίθη)

$$E_2 - E_1 - e = E_{\text{be}} \quad (\text{be: μένενέργεια διύναμης})$$

(ατομικού e-)

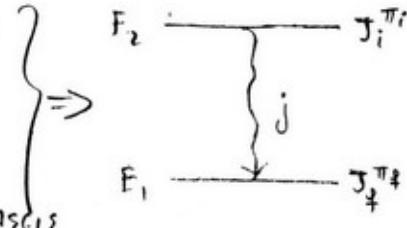
Τελ. κατασ.

- Τα δύο φαινόμενα μπορούν { Η αποδιεγερη-γ νηστερίζει την ενεργείας μετατροπής του λάχιστου  
να αντιβαίνουν "ταυτόχρονα" } για μετατροπής:  $E_2 - E_1 \geq 200 \text{ eV}$  οπότε είναι ο κύριος μηχ. αποδιεγέρσης.

(+) αντιτοχή στο φαινόμενο { Στην Ατομική φυσική το διεγερμένο ατόμο αποδιεγερείται είτε με  
Auger ή η-Μ αντινοβδήσιας (αντίνες-x) ή με επικρατή e- (e Auger)  
από την ατομική προχίθη

- Οι H-M μεταπτυχίες είναι "γρήγορες" και των προσώπων χρόνου γίνεται ~10-15s (είναι προηγμένες)
  - Υπάρχουν αφεντικές και H-M μεταπτυχίες πιο ταχέες, τις οποίες τιναχτεί σε λίγες μεριδές

Οι μεταπτώσις αυτής προέρχονται  
από διγραφημένες καταστάσεις με  
διεροφορή Ι κατά πολὺ διάφορη  
από τη διεροφορή της χαρακτηρι-  
στικής των νοτιοανατολικών



$$\Delta J = J_p - J_s > 3$$

- Το φυσικό (οπως και τα αργά συμβαίνοντα) }  $\Rightarrow$  Το φυσικό εχει δοια S=1 , απλη η  
εχει επιπλεον ορθοχορη ή δοια S }  $\Rightarrow$  H-M παραγανε διανυσματικο παραγανε  $\vec{A}$   
Εποβη S=1 ή ολικη ορθοχορη j }  $\Rightarrow$  Η ορθοχορη ται φυσοντα ωριμετη παρ.  
του φυσοντα ειναι αυξεντος κριδης }  $\Rightarrow$  j = -1, 2, 3, ... (\*)

- Από διατύπων της στρατηγίας  
υποδειγμάτων τα αντιρεπερτήρια  
j των γεωργίων στην μετάτην

$$\Rightarrow |J_i - J_p| \leq j \leq |J_{i+1} - J_p|$$

} Παρατίθεται: Av  $J_i = J_p = 0$   
 απηγορευτένη μετάπτωση, οποια  
 λειτουργία  $i \neq j = 0$  δεν πωλείται  
 Η μετάπτωση  $0 \rightarrow 0$  μας να  
 γίνει μόνο επωνύμη μεταπτώσεων  
 ( $\tau_0$  είναι μόνο νόμος στην παραπάνω)

\* H τική  $j=0$  διατίθεται από την έργων του εξωαστίου χαρακτηρίζεται με Η-Μ πεδίον.

$$\pi_i = \pi(\delta_j) \pi_f$$

Αφού οι πρώτες δύο στρογγυλές μεταστάσεις είναι διαδοχικές από την πρώτη παρατήρηση, η πρώτη στρογγυλή μεταστάση είναι διαδοχική από την πρώτη παρατήρηση. Η πρώτη στρογγυλή μεταστάση είναι διαδοχική από την πρώτη παρατήρηση.

TTAPADIFIMA

$$\begin{array}{c}
 \text{---} \\
 0.87 \xrightarrow{\quad} \frac{1}{2}^+ \\
 \left\{ \begin{array}{c} \text{EZ/M3} \\ \downarrow \\ \text{o} \end{array} \right. \\
 \xrightarrow{\quad} \frac{5}{2}^+
 \end{array}$$

$$1) \text{ Ενέργεια κυρίων } F_X = E_1 - E_0 = (0.87 - 0.00) \text{ MeV} = 0.87 \text{ MeV}$$

2) Επίτρεψη τα  $j$  των λευκών:  $|1/2 - 5/2| \leq j \leq |1/2 + 5/2| \Rightarrow j = 2, 3$

3) Δωδεκάετια ιερώνια ή προϊόντα  $E_2, M_2, E_3, M_3$

$$4) \text{ } \liminf_{n \rightarrow \infty} \pi_n \geq \pi^* = \pi(\pi_0) \pi_0 = (\pi_0 - \pi(\pi_0))$$

$$E2: (+) = (-1)^2 (+) = (+)(+) = (+) \quad \text{ε πινγεπτώσης γωνίας}$$

$$M2: (+) = (-1)^{2+1}(+) = (-)(+) = (-) \text{ Minus } ??$$

$$\text{Ex: } (-1)^1 = -1, \quad (-1)^2 = 1, \quad (-1)^3 = -1, \quad (-1)^4 = 1, \quad \dots$$

$$M3: (+) = (-1)^{3+1} (+) = (+)(+) = (+) \quad \text{False}$$

Apo. Emycterae  
Mg. 500 m  
E2, M3

⊗ Ο πρώτου rugiyvurəi λαϊκού μή το "Hypuriko" πέσσιν του φυλού (H-Mik'elos)

Εννοία: Av  $\pi_i \pi_f = (+) \Rightarrow$  Επιπρεπτά ωρίμων είναι τα  $M_1, E_2, M_3, E_4, \dots$   
 Av  $\pi_i \pi_f = (-) \Rightarrow \dots \Rightarrow \dots \Rightarrow E_1, M_2, E_3, M_4, \dots$

- ΑΠΛΟΣ  $\oplus$  θεωρητικής εργασίας δεξιών (βλέπε και σχ. 7.6)

a) Η πιθανότητα διάστασης  $\mathcal{A}(\sigma_j)$  ( $\sigma \sim 1/c$ ) αυξάνει  
 οριζόντων και ενέργειας των φωτονίων. (Τα  
 φωτόνια με μεγαλύτερη ενέργεια έχουν μεγαλύτερη  
 πιθανότητα διάστασης)

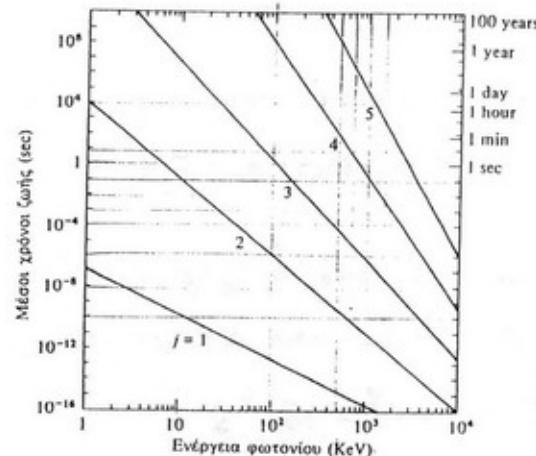
b)  $\mathcal{A}(\sigma_j)$  μειώνεται οριζόντων  
 ( $\sim$  κατά  $10^3$  για  $\Delta j = \pm 1$ )

c) Επίσης  $\mathcal{A}(M_j) \sim 10^3 \mathcal{A}(E_j) \Rightarrow \tau(E_j) \sim 10^3 \tau(M_j)$

(Τα μεγαλύτερα ωρίματα πιο "γενήρα" από  
 τα ανιστούχα μεγνητικά)

Από b)  $\Rightarrow$  ΜΟΝΟ τα μικρότερα επιπρεπτά ωρίματα  
 συνασφέρουν ουσιαστικά, συνήθως  $j=1 \text{ ή } 2$

$\oplus$  Αυριθμοί υπολογισμοί απαιτούν τη γνώση της  
 δεξιάς και τελίκης κυρτοσωμάτων των ομάδων  
 $\gamma_{if} \sim |\langle \psi_i | V_{km} | \psi_f \rangle|^2$



ΣΧΗΜΑ 7.6 Εκπλήσεις του μέσου χρόνου ζωής ηλεκτρικών πολυπολικών ακτινοβολιών  $2^j$  τάξης σαν συνάρτηση της ενέργειας του εκπεμπομένου φωτονίου, για έναν πυρήνα με  $A=100$ . Αντίστοιχες εκπλήσεις για άλλους πυρήνες μπορούμε να πάρουμε πολλαπλασιάζοντας με  $(100/A)^{2^j}$ . Οι μέσοι χρόνοι ζωής για μαγνητική πολυπολική ακτινοβολία είναι γενικά μεγαλύτεροι από αυτούς για την ηλεκτρική πολυπολική ακτινοβολία της ίδιας τάξης κατά ένα πάραγοντα  $T_m/T_e \sim 20 A^{2^j}$ . [Οι καμπύλες δίνονται από σχέση που αναφέρεται στον Jackson, J.D. (1975), *Classical Electrodynamics*, 2nd ed., New York: Wiley, p. 760.]

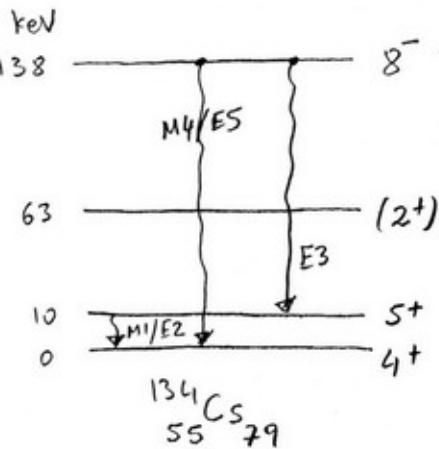
### ΠΑΡΑΔΙΓΜΑ

- a) Av επιρρεπτική πολύπλοκη σίνα τι  $M_1, E_2, M_3, E_4, \dots$  { γιατί  $M_3 \sim 10^3 E_3 \sim 10^3 (10^3 E_2) \sim 10^6 E_2$   
κυριάρχη το  $M_1/E_2$  }  
} ναι γενική κυριάρχη τι  $M(j)/E(j+1)$
- b) Av επιρρεπτική πολύπλοκη σίνα τι  $E_1, M_2, E_3, M_4, \dots$  { γιατί  $M_2 \sim 10^3 E_2 \sim 10^3 (10^3 E_1) \sim 10^6 E_1$ .  
κυριάρχη το  $E_1$  }  
} ναι γενική κυρ. τι  $E(j)$

- Συνθήσ μια διαγράμμη κατίστασης δρίμης χρημάτων σταδίους μέσω παραπομπής στρογγόφυλλος ναι αποδιαγράφεται μέσω πολυπλόκων τις μικρούς ( $j \leq 2$ ) ναι  
 $\tau \sim 10^8 - 10^{16}$  s
- Av για πολυπλόκων λέγω διέν να σώσουμε χρημάτων σταδίους μέσω παραπομπής στρογγόφυλλος τοτε ν αποδιαγράφεται πρόγραμμα δραστηριοτήτων μέση πολυπλόκων μέση  
κυριάρχη το  $(E_3, M_3, E_4, M_4, \dots)$  ναι  $\tau \gtrsim 10^4$  sec  
Οι κετοστάσεις αυτής αναμφίβολα ΙΣΟΜΕΡΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

(6)

ΠΑΡΑΔΙΓΜΑ ΙΣΟΜΕΡΙΣΜΟΥ: Η γειτνιαία βιργαρία κατάστασης της πυρίνα  $^{134}\text{Cs}^m$  με γοινούς  $J^\pi = 8^-$  ( $T_{1/2} = 2.9\text{ h}$ ) αποδιεγμίζεται πρός τις δύο χειριζόμετρες καταστάσεις με  $J^\pi = 5^+$  και  $4^+$  διακρίσου τις πολυπόλινες E3 και M4/ES αντίθεση.



$$8^- \quad T_{1/2} = 2.9\text{ h}$$

$$\alpha) \text{ Μεταπτώση } F_\gamma = (138 - 8) \text{ keV} = 130 \text{ keV}$$

$$\text{Επιτρεπτά } j \quad |8-4| \leq j \leq |8+4| \Rightarrow j = 4, 5, 6, 7, \dots, 12$$

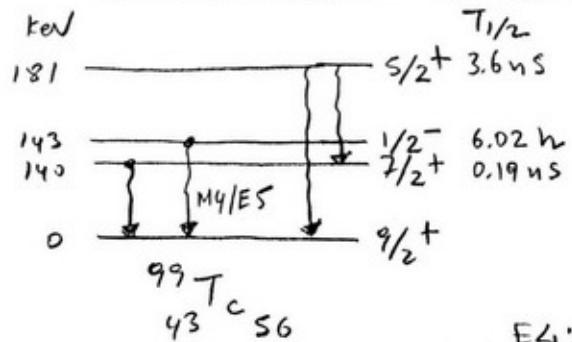
$$\begin{aligned} \text{Οροικία } & \left. \begin{aligned} \pi_i = \pi(\sigma_j) \pi_f \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} E4: (-) = (-1)^4 (+) = (+) & \text{ Μη επιτρεπται} \\ M4: (-) = (-1)^{4+1} (+) = (-) & \text{ επιτρεπται} \\ E5: (-) = (-1)^5 (+) = (-) & \gg \end{aligned} \Rightarrow M4/ES \end{aligned}$$

$$\beta) \text{ Μεταπτώση } E_\gamma = (138 - 10) \text{ keV} = 128 \text{ keV}$$

$$\text{Επιτρεπτά } j \quad |8-5| \leq j \leq |8+5| \Rightarrow j = 3, 4, 5, \dots, 13$$

$$\begin{aligned} \text{Οροικία } & \left. \begin{aligned} E3: (-) = (-1)^3 (+) = (-) & \text{ Επιτρεπται} \\ M3: (-) = (-1)^{3+1} (+) = (+) & \text{ Μη επιτρεπται} \\ E4: (-) = (-1)^4 (+) = (+) & \text{ Μη } \gg \\ M4: (-) = (-1)^{4+1} (+) = (-) & \text{ Επιτρεπται} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} E3/M4 & \text{ ΔΔΔ } M4 \sim 15^6 E3 \Rightarrow \\ & \text{ Κρίση } \sim F3 \end{aligned} \end{aligned}$$

Άλλο παράδειγμα ισομερίσμου:



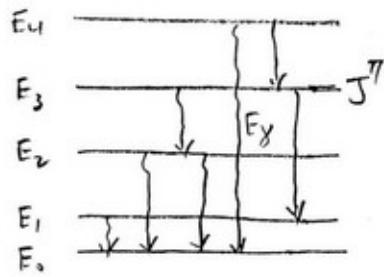
<sup>99</sup>T<sub>c</sub> ήως τό πιο διαδεδομένο ισοτόπο στην  
Ιατρική διαγνωστική. Συγχεινόνται επιδεινώσεις  
στη κατονθότητα ογκούς του εγκυότερου και επιπρόπει  
"Εγκυότερη" των ογκού σχετικά με την αναρρίχηση  
επειδή βασική.

$$E\gamma = 143 \text{ keV} \quad |1/2 - 9/2| \leq j \leq |1/2 + 9/2| \Rightarrow j = 4,5$$

$$\begin{aligned} E4: (-) &= (-1)^{4+1}(+) = (+) \quad \text{Μη επιγρεπτική} \\ M4: (-) &= (-1)^{4+1}(+) = (-) \quad \text{Επιγρεπτική} \\ ES: (-) &= (-1)^{4+1}(+) = (-) \quad \Rightarrow \quad M4/ES \end{aligned}$$

Tέτοιος μερίσμας των λειτουργών των αυτονομών (πεντρούν) διανυνθεκτικής πληροφορίας χία των αυτονόμων

a) Eγκον Ενεργειακού διαγράμματος: Μερίσμας των ενεργειών  $E_y$  και πώλων των ανθεκτικής δεξιάς των βίτζων,  $E_y = E_m - E_n$  υπολογίζονται τις ενεργειές των διαγράμμων καταστάσεων των αυτονόμων  $F_n$  και καταρρεύσανται στο ενεργειακό των διαγράμμων



b) Μέτρηση των χρήστων για την ενεργειακή καταστάση

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \frac{dN}{dt} (= N_0 \lambda e^{-\lambda t}) \Rightarrow \lambda = 1/\tau$$

c) Eγκον των  $J''$  των ενεργειακών καταστάσεων

Από την μέτρηση των γυμνών καταστάσεων  $N(\theta)$  των αυτονομών βρίσκεται ότι  $\lambda$  των πεντρούν πωλήσεων επιλογές της  $J''$  των πεντρούν καταστάσεων.

### 7.4 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΡΥΘΜΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΛΑΤΗ (Δ)

- Γενινοί μηδιγερήν κατάστασην ενώ πριντεί στη δυνατότητα διάστασης (η αποδίγερης και ποδούς τρόπους).

- π.χ Η διγερήν κατάσταση του  $^{17}\text{O}$  με ενέργεια  $E = 4.56 \text{ MeV}$  (βέτα σχύμα) μπορεί να αποδιγερθεί:

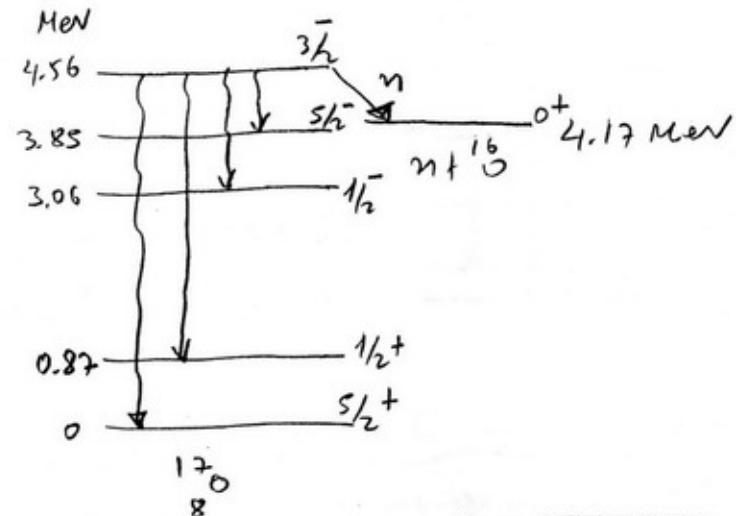
a) Με εκπολτή νερόνιου ωρὸς τη θερμοκρασίαν κατάστασην του  $^{16}\text{O}$  ή

b) Με εκπολτή αυγολογιας-γ σε αναστολή πάπα της τέσσερις στάθμες χρημάτων ενέργεια του πυρίνα  $^{17}\text{O}$

- Για το πότε η τελική διάστασης είναι:

Είναι επικέρδους (η υφετός) ποθός

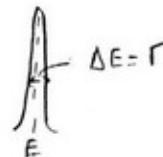
διάστασης  $\tau_i = 1/\tau_i$  ή ο ολικός ποθός διάστασης είναι τη αθροίση των επικέρδους ποθών διάστασης



$$\bar{\tau} = \sum \tau_i = \sum \frac{1}{\tau_i} \Rightarrow \bar{\tau} = \frac{1}{\bar{\tau}} = \sum \frac{1}{\tau_i}$$

$\Rightarrow$  ούτως ο μέσος χρόνος για τη διγερήν στάθμη

- To επικίνδυνος πήδητος ή ευρος  $\Gamma$  της διεγέρησης κατιστάται ως πρός το  
κενόγιο ή σεισμού ως  $\Gamma_i = \frac{\tau}{\tau_i}$  }  $T = \frac{\pi}{\Gamma}$   $\Gamma = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \dots + \Gamma_i$   $E + \Delta E (\Delta E = \Gamma)$
- To ολικό πήδητος είναι  $\Gamma = \sum_i \Gamma_i$ .
- Τα  $\Gamma_i$  και  $\Gamma$  έχουν διατάξεις ενέργειας
- Γενικά μία αεταθής κατιστάται δύναται να είναι καθοριστική ενέργειας  
αλλά μία κατενοχής ενέργειας πήδητος  $\Gamma$  γίνεται από την ίδιαν την περιοχή
- Η σχέση  $\Gamma \sim \tau$  μπορεί να φθηνεται σεν μία σχέση αβεβαιότητας  
της ενέργειας  $\Delta E = \Gamma$  της κατιστάταις και του μέρους χρόνου γνωστού  $\tau$
- Παρότι την τυπωτή σημασία μεταξύ της σχέσης αβεβαιότητας  
αβεβαιότητας θέσης-σημείου του Helsenberg  $\Delta P \Delta x \sim \tau$   
εξαίρετης διαχορέψιμης γραφικής ρύθμης  $\Delta E \Delta \tau \sim \tau$  (διαχρ. γυντιά ρύθμη)  $\otimes$



$\otimes$  κοιταζει Τεράκης, Κβαντυκανίκη I, σελ. 186