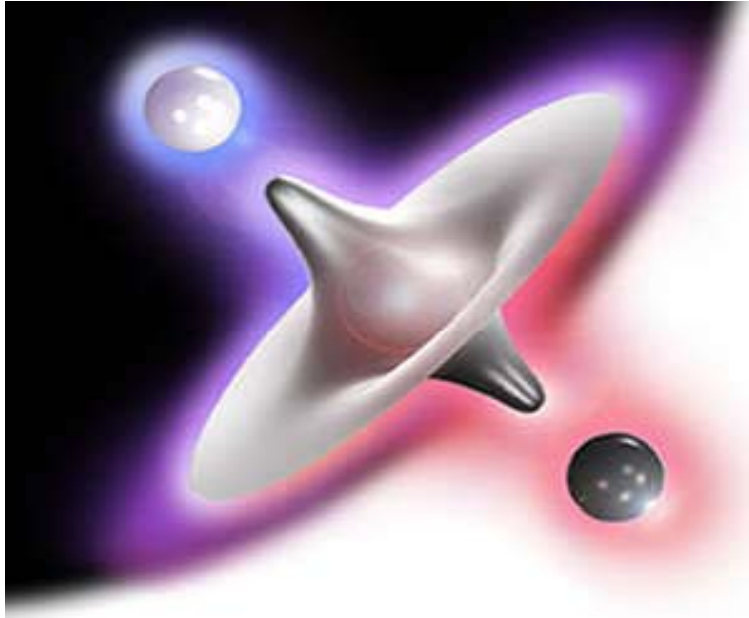


Αντιύλη

Μιχάλης Κορατζίνοσ
CERN

Πρόγραμμα καθηγητών Φυσικής
μέσης εκπαίδευσης του CERN,
Τετάρτη, 25 Ιουνίου 2008.



Επτά ερωτήσεις

Τι είναι αντιύλη
Πώς την φτιάχνουμε
Που την φτιάχνουμε

Το μυστήριο της αντιύλης

Πώς μπορούμε να την μελετήσουμε

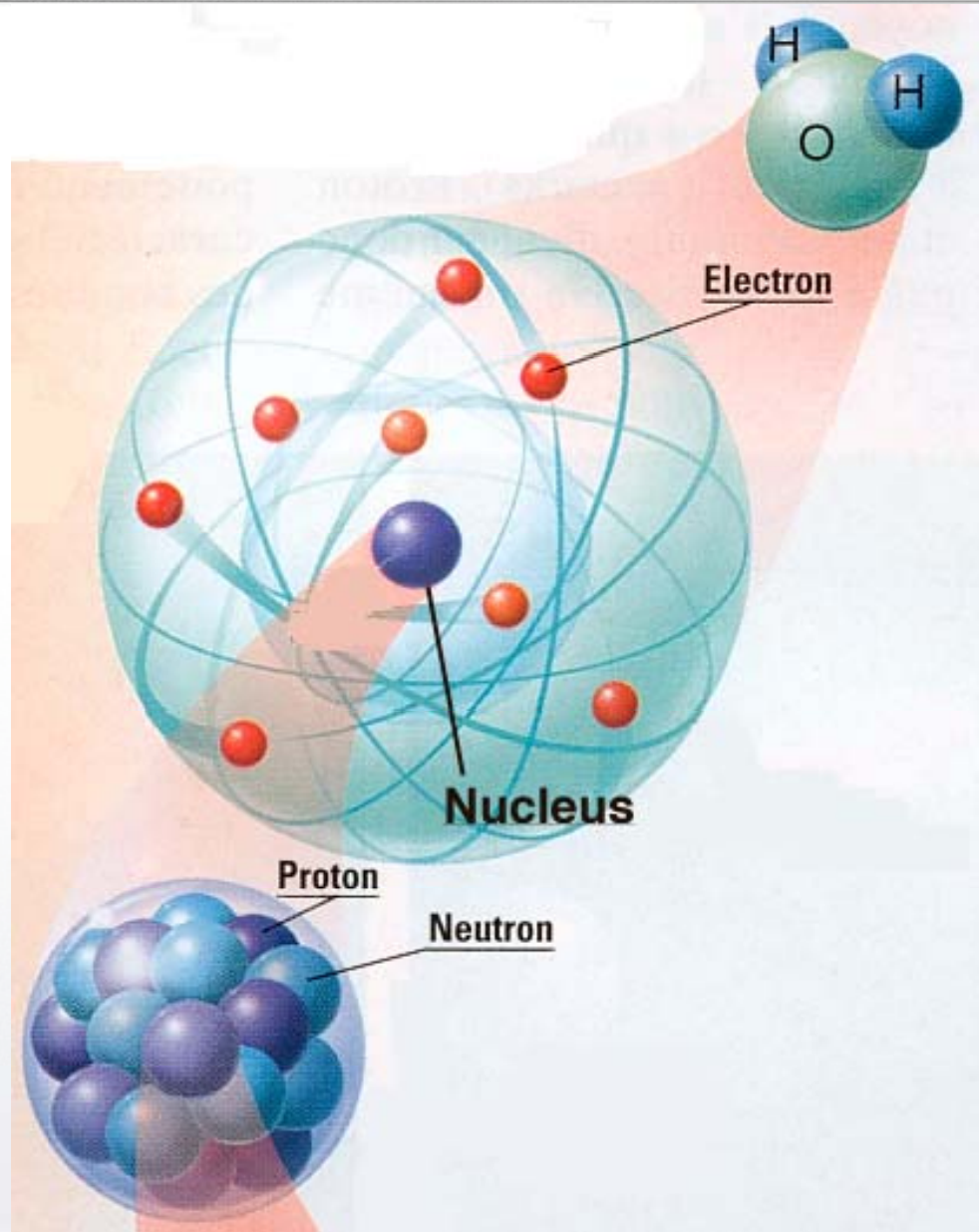
Είναι πηγή ενέργειας, όπλο, προωθητικό;

Εφαρμογές στην ιατρική

CREDITS: Rolf Landua, CERN

1 Τι είναι η αντιύλη;

1 Τι είναι η αντιύλη;



Η ύλη που βλέπουμε γύρω μας είναι φτιαγμένη από σωματίδια

Ηλεκτρόνια
Πρωτόνια } Κουάρκ
Νετρόνια }

1 Τι είναι η αντιύλη;

Τα σωματίδια έχουν συγκεκριμένες μάζες και φορτία

Name	Electric Charge [e]	Mass [GeV*]
Electron	- 1	0.0005
Proton	+ 1	0.938
Neutron	0	0.941

*GeV = Giga-Electron Volt = 1,000,000,000 Electron-Volt = $1.8 \cdot 10^{-27}$ kg

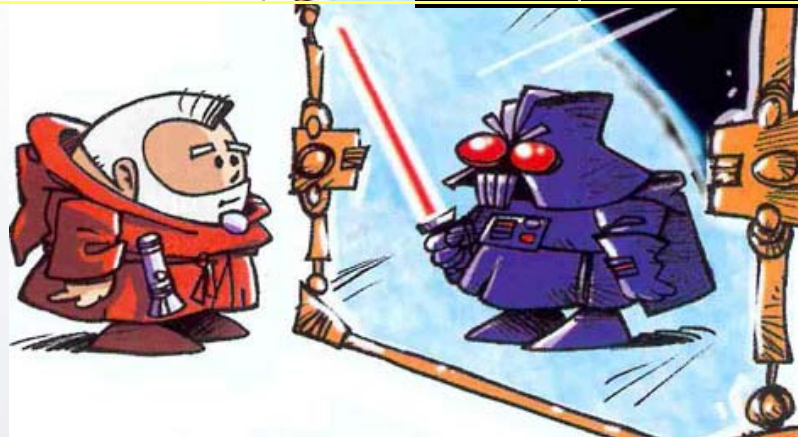
1 Τι είναι η αντιύλη;

Τα αντισωματίδια έχουν την ίδια μάζα, αλλά αντίθετο φορτίο

Name	Electric Charge [e]	Mass	Electric Charge [e]	Name
Electron	- 1	0.0005	+ 1	Positron
Proton	+ 1	0.938	- 1	Antiproton
Neutron	0	0.941	0	Antineutron



Σωματίδια



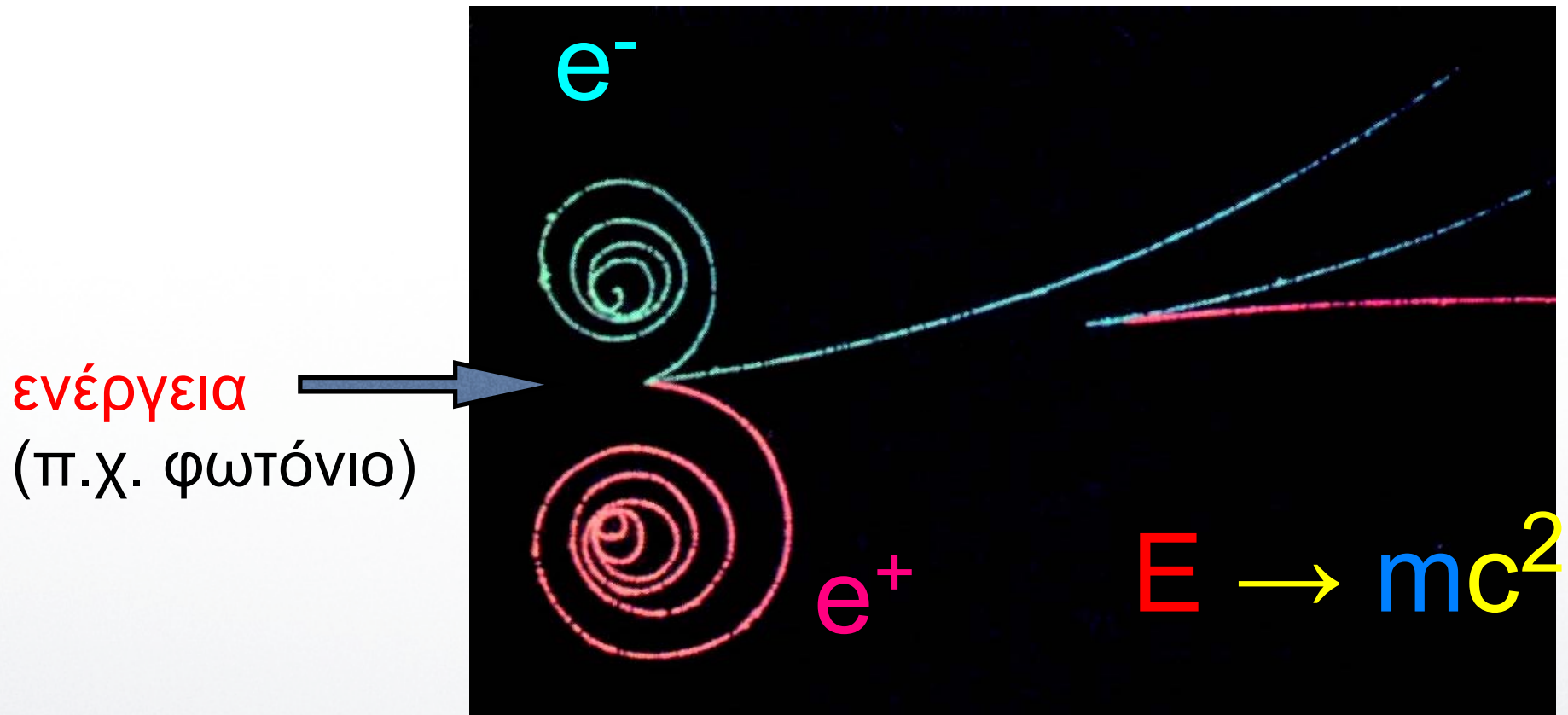
Αντισωματίδια

Αντιύλη

2 Πώς παράγεται η αντιύλη;

2 Πώς παράγεται η αντιύλη;

Η ενέργεια μετατρέπεται σε μάζα



Μάζα ενός ηλεκτρονίου και ενός ποζιτρονίου

2 Πώς παράγεται η αντιύλη;

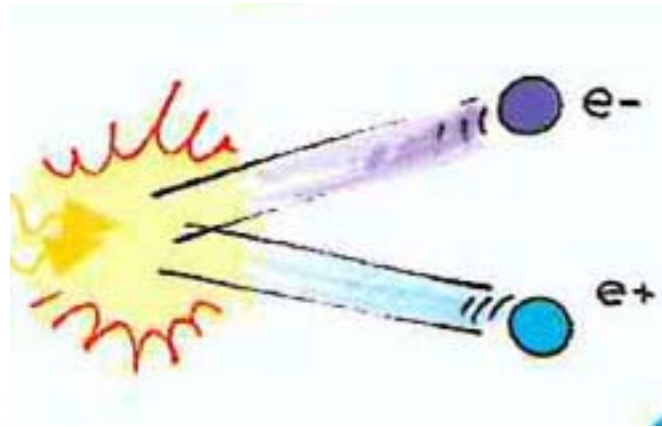
Στον Ήλιο, μάζα μετατρέπεται σε **ενέργεια**



2 Πώς παράγεται η αντιύλη;

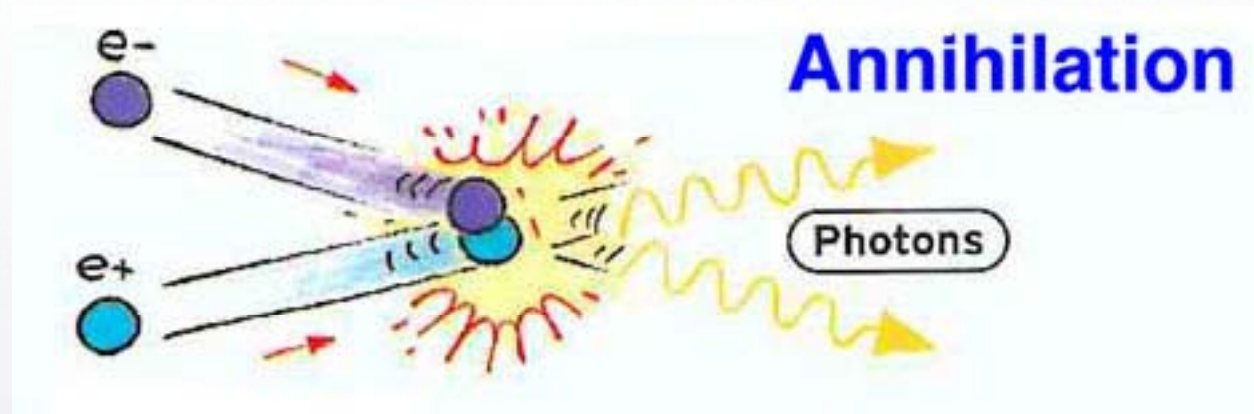
Τα σωματίδια και τα αντισωματίδια δημιουργούνται πάντα **ανά ζευγάρια...**

Ενέργεια σε μάζα:

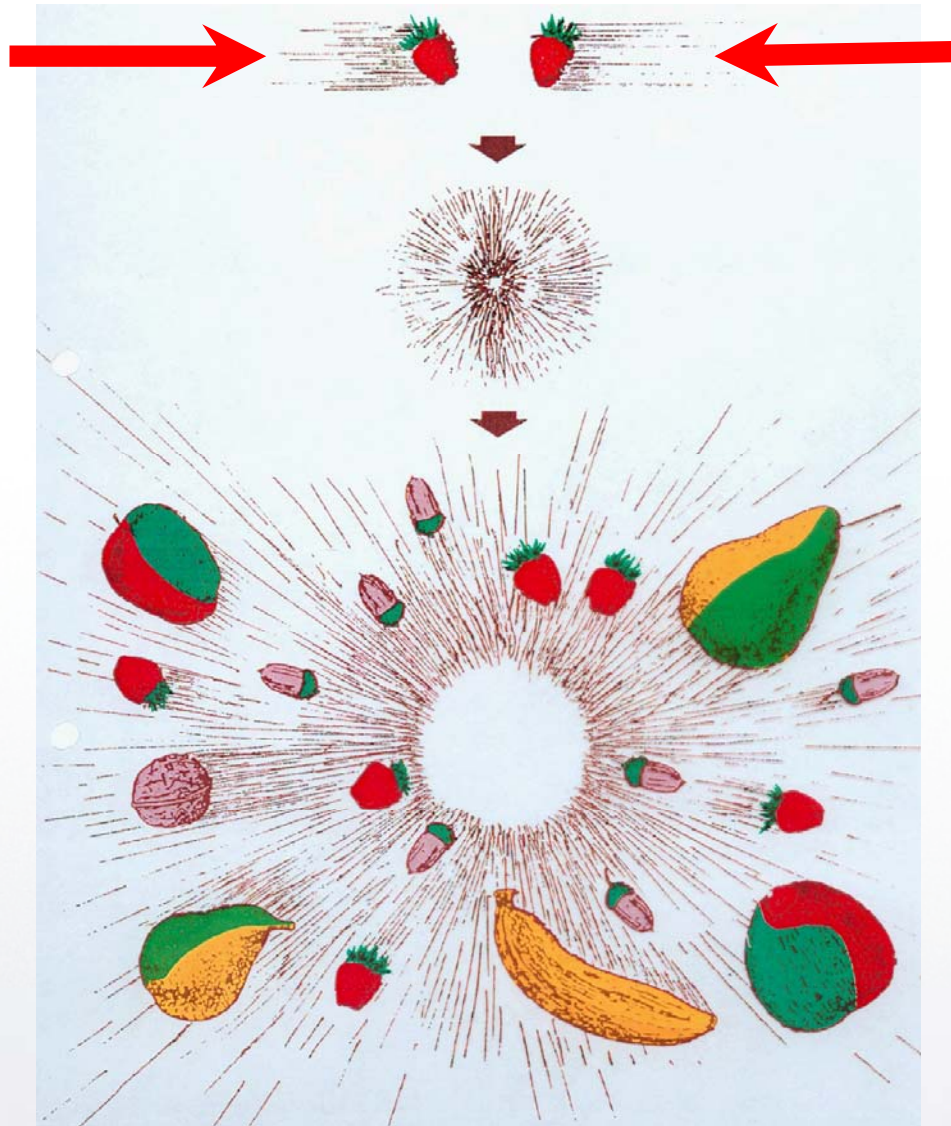


.. και μπορούν επίσης να **αλληλοεξουδετερωθούν**

Μάζα σε ενέργεια:

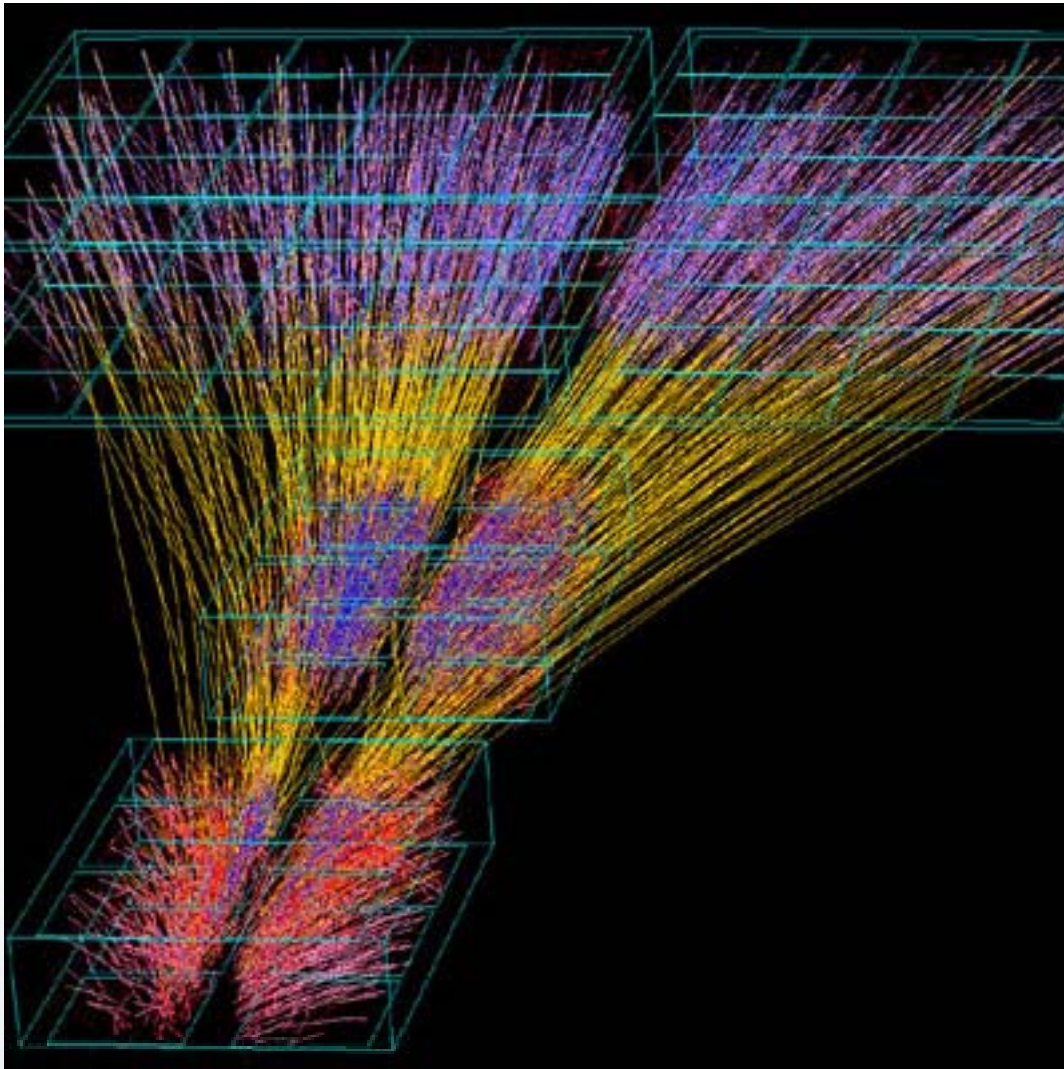


2 Πώς παράγεται η αντιύλη;



Νέα σωματίδια και
αντισωματίδια
δημιουργούνται σε
συγκρούσεις

2 Πώς παράγεται η αντιύλη;

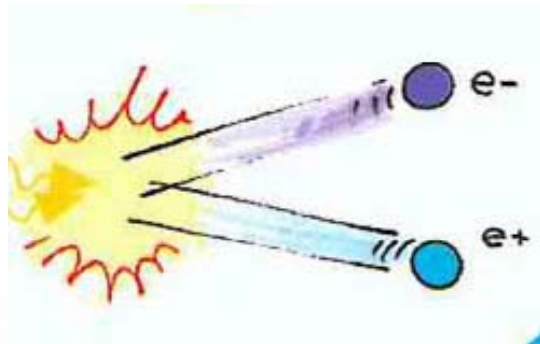


Όταν η ενέργεια μετατρέπεται σε μάζα, δημιουργούνται **ίσες ποσότητες** από σωματίδια και αντισωματίδια

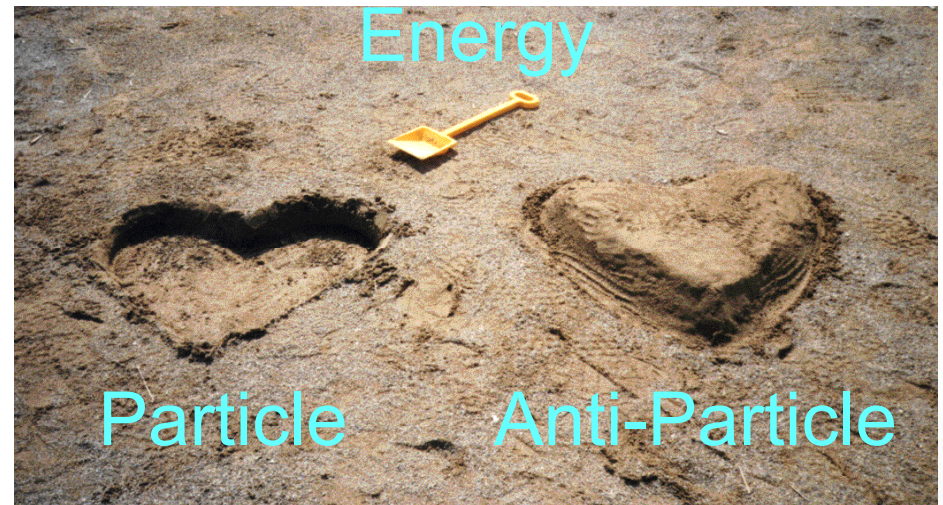
Αντιύλη

2 Πώς παράγεται η αντιύλη;

Τι είναι ένα
Αντι-σωματίδιο;



Τα αντι-σωματίδια είναι
τόσο πραγματικά όσο
και τα σωματίδια



*Ένας κόσμος φτιαγμένος από αντισωματίδια θα μπορούσε να
υπάρξει -- και θα φαινόταν ο ίδιος με τον κόσμο μας.*

2 Πώς παράγεται η αντιύλη;

Προσοχή με τον εξωγήινο φτιαγμένο από αντιύλη!



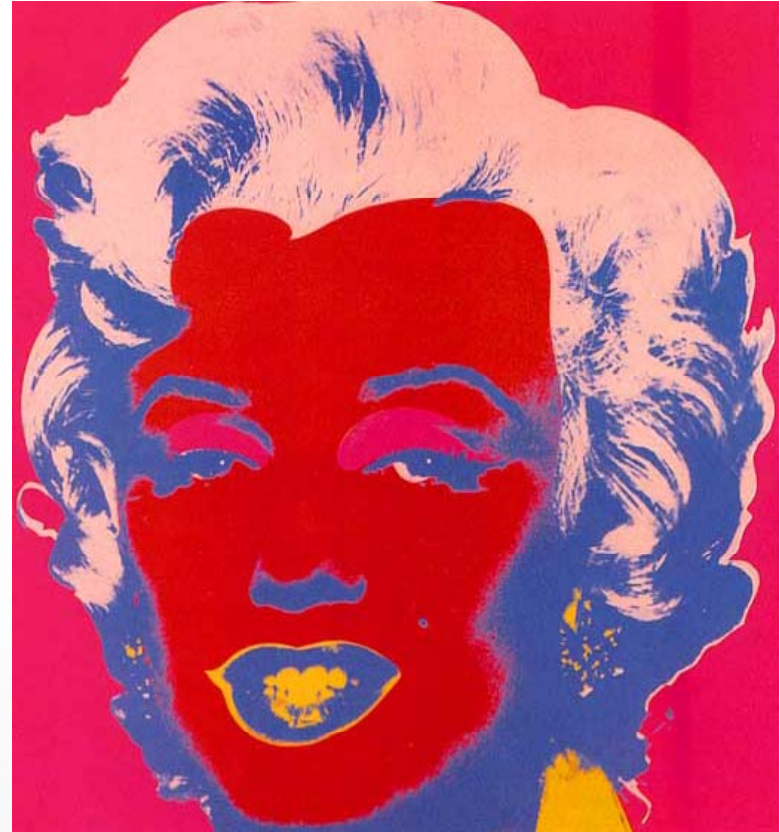
Αντιύλη

2 Πώς παράγεται η αντιύλη;

Marylin



Anti-Marylin?



≠

Λάθος αναλογία: ύλη και αντιύλη δείχνουν το ίδιο

Αντιύλη

3 Που παράγεται αντιύλη;

3 Που παράγεται αντιύλη;

- Τα αντισωματίδια παράγονται χρησιμοποιώντας επιταχυντές.
- [Το μεγαλύτερο εργαστήριο που λειτουργεί επιταχυντές στον κόσμο είναι το CERN στη Γενεύη]

CERN = 'Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire'

27 km long
Proton Collider
14, 000 GeV collision energy



7500 φυσικοί
από 104 χώρες

4 Το μυστήριο της αντιύλης

4 Το μυστήριο της αντιύλης



Στο ηλιακό μας σύστημα; Όχι!

4 Το μυστήριο της αντιύλης

Σε μακρινούς γαλαξίες; ...

Όχι

Δείχνει να μην υπάρχει καθόλου αντιύλη πουθενά
στο σύμπαν σήμερα

4 Το μυστήριο της αντιύλης

Δεν υπάρχει αντιύλη στο σύμπαν;

Γιατί;

4 Το μυστήριο της αντιύλης

Το σύμπαν ξεκίνησε πριν από 13.700
εκατομμύρια χρόνια



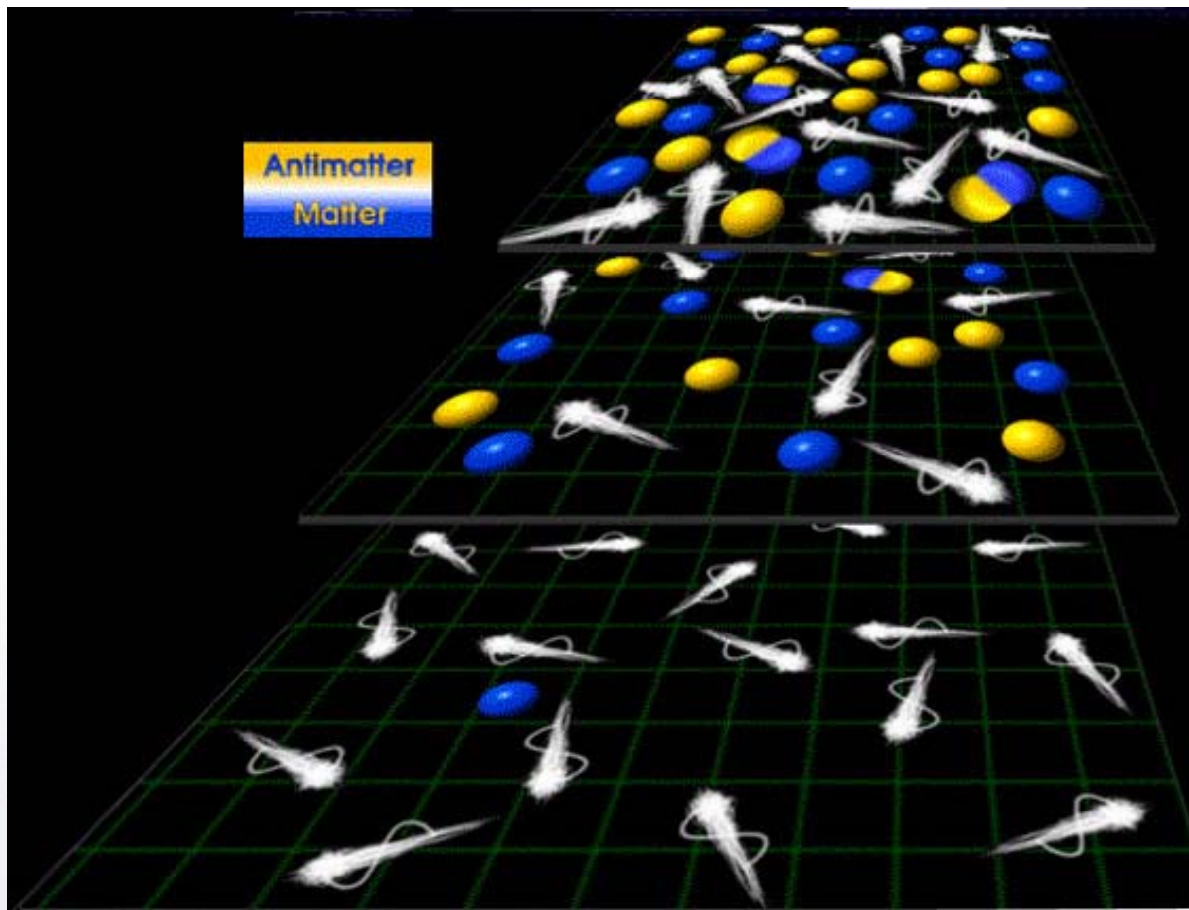
$\sim 10^{72}$

Joule

Μέγεθος ($\times 100$) του ορατού
σύμπαντος
[στην στιγμή 'Planck' $t = 10^{-43}$ s]

4 Το μυστήριο της αντιύλης

13,7 δισεκατομμύρια χρόνια πριν: το Big Bang



Μετασχηματισμός της ενέργειας σε μάζα σε μια γιγαντιαία κλίμακα

$t \sim 0$:

ποσότητα ύλης = ποσότητα αντιύλης

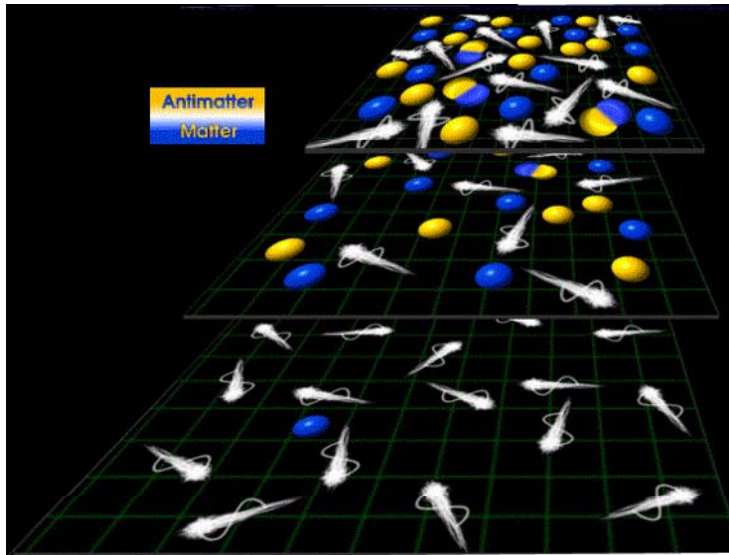
$t \sim 0.001$ s :

όλη η αντιύλη έχει εξαφανιστεί, αλλά λίγη ύλη (εμείς!) έχει μείνει; η περισσότερη ενέργεια είναι φωτόνια

Σήμερα :

>2,000,000,000 φωτόνια για κάθε πρωτόνιο ή νετρόνιο

4 Το μυστήριο της αντιύλης



Το ‘μυστήριο της αντιύλης’ είναι βασικά αυτό: προσπαθούμε να καταλάβουμε γιατί το σύμπαν περιέχει μόνο υλη

Είναι μήπως γιατί η υλη και η αντιύλη έχουν (λίγο) διαφορετικές ιδιότητες*?

*Μάζα, φορτίο, μαγνητική ροπή, ...?

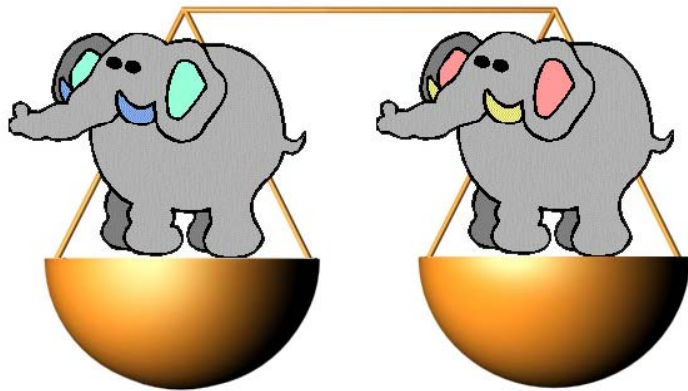
Η είναι μήπως επειδή έχουν (λίγο) διαφορετικές ιδιότητες διάσπασης?

*CP violation

5 Πώς μελετάμε την αντιύλη;

5 Πώς μελετάμε την αντιύλη;

Συγκρίνουμε τις ιδιότητες ύλης και αντιύλης με μεγάλη ακρίβεια



Μάζα του πρωτονίου και του αντιπρωτονίου;

Παρόν αποτέλεσμα : $\Delta M/M < 0.000\,000\,000\,1$

διαφορά μικρότερη από ένα κόκκο σκόνης



Μαγνητική ροπή του ηλεκτρονίου και του ποζιτρονίου;

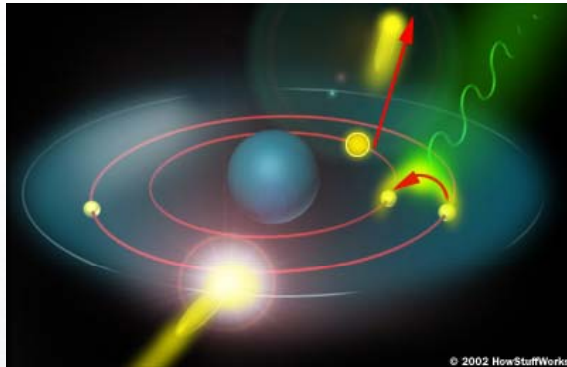
Παρόν αποτέλεσμα : $\Delta\mu/\mu < 0.000\,000\,000\,001$

Η κατάσταση σήμερα: άριστη συμφωνία!

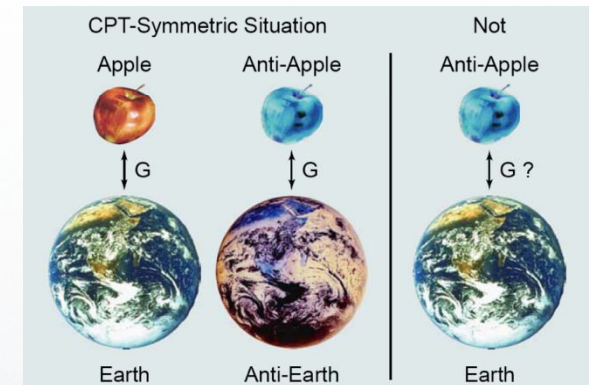
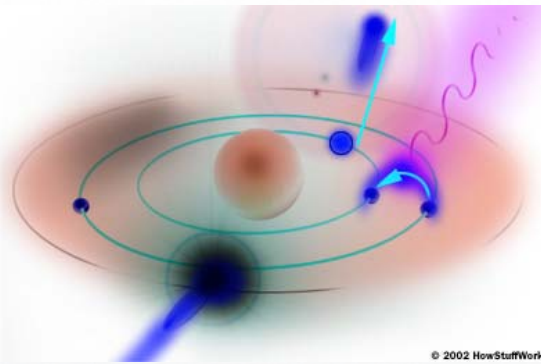
5 Πώς μελετάμε την αντιύλη;

Συγκρίνουμε τις ιδιότητες ύλης και αντιύλης με ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια

- 1) Παράγουμε **άτομα αντιυδρογόνου** από **αντιπρωτόνια** και **ποζιτρόνια**
- 2) Παγιδεύουμε τα άτομα αντιυδρογόνου
- 3) Μετράμε τις ιδιότητες τους



Ενεργειακά επίπεδα



Βαρύτητα

5 Πώς μελετάμε την αντιύλη;

Παραγωγή ποζιτρονίων: εύκολη!

- Δίδυμη γένεση
- Από ραδιενεργή πηγή β^+

5 Πώς μελετάμε την αντιύλη;



Εργοστάσιο αντιύλης στο
CERN
Antiproton Decelerator
Παράγει αντιπρωτόνια και τα
επιβραδύνει

188 m μήκος

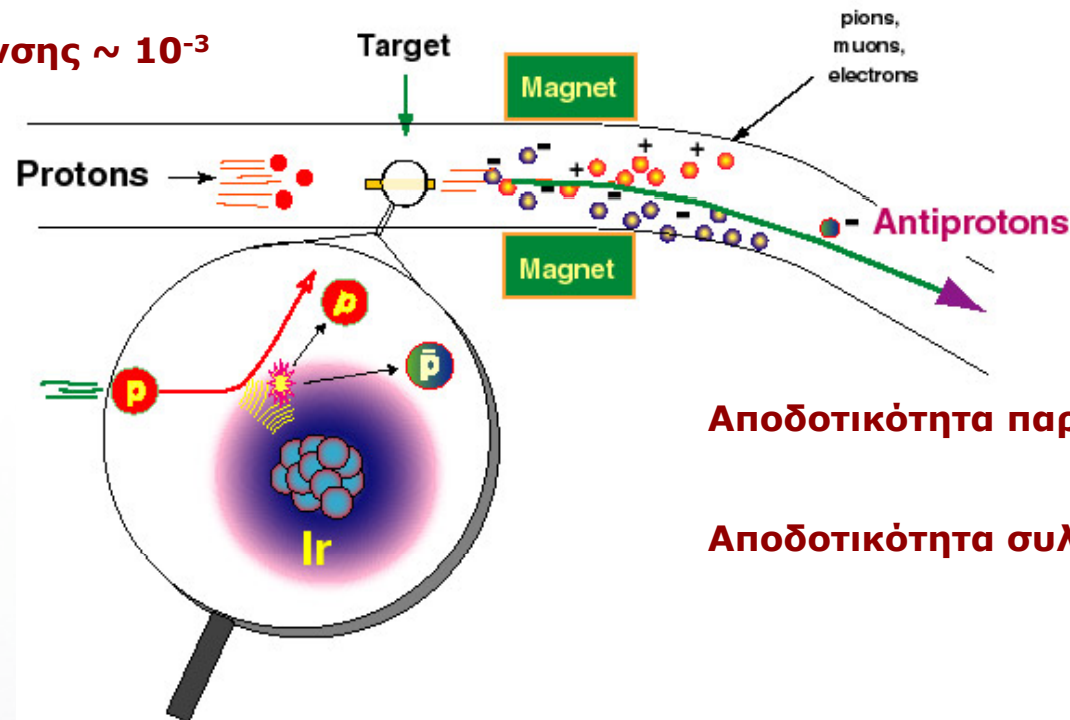
Παραγωγή αντιπρωτονίων:
100,000,000 αντιπρωτόνια το λεπτό

Επιβράδυνση
96 % → 10 % της ταχύτητας
τοθ φωτός

5 Πώς μελετάμε την αντιύλη;

Αρχή παραγωγής αντιπρωτονίων

Αποδοτικότητα επιτάχυνσης $\sim 10^{-3}$



Αποδοτικότητα παραγωγής $\sim 10^{-4}$

Αποδοτικότητα συλλογής (AD) $\sim 10^{-2}$

Μέγιστη παραγωγή στο CERN $\sim 200,000,000,000,000$ αντιπρωτόνια το χρόνο

(μόνο 0.3 νανο-γραμμάρια, συνολική αποδοτικότητα $\sim 10^{-9}$)

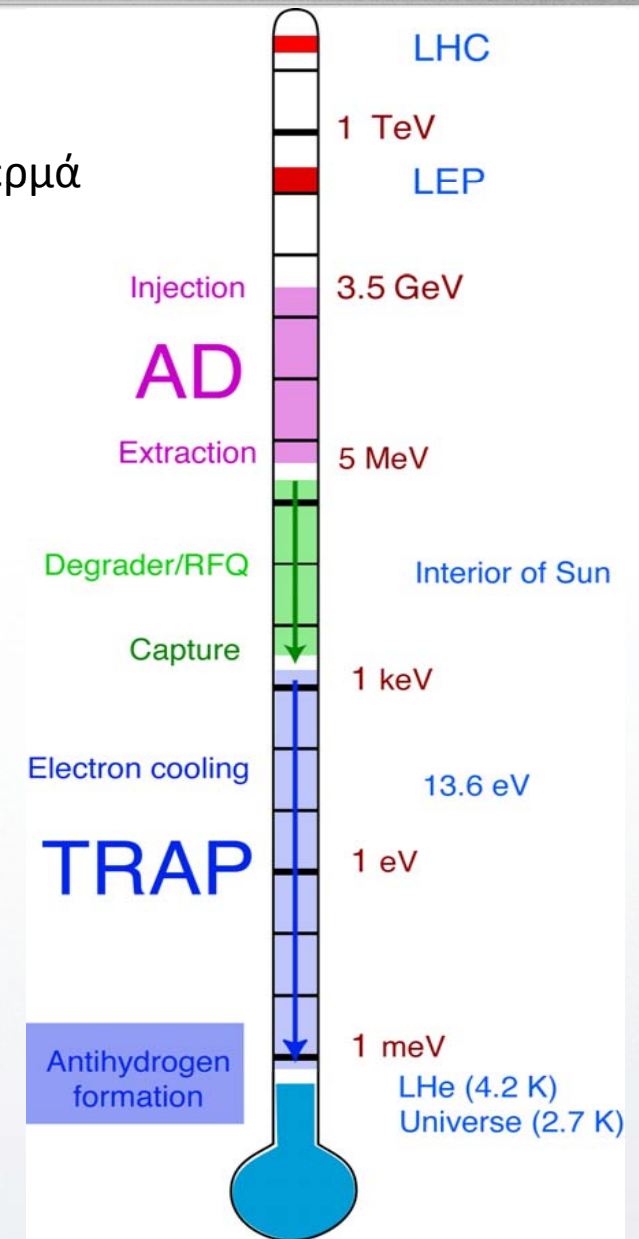
5 Πώς μελετάμε την αντιύλη;

Τα αντιπρωτόνια και τα ποζιτρόνια (όταν δημιουργούνται) είναι θερμά

Το άτομο υδρογόνου είναι ένα αδύναμα συνδεδεμένο σύστημα:

$$E(1s) = -0.000\,000\,013\,6 \text{ GeV}$$

Τα συστατικά πρέπει να καταψυχθούν πριν να μπορέσουν να βρουν το ταίρι τους



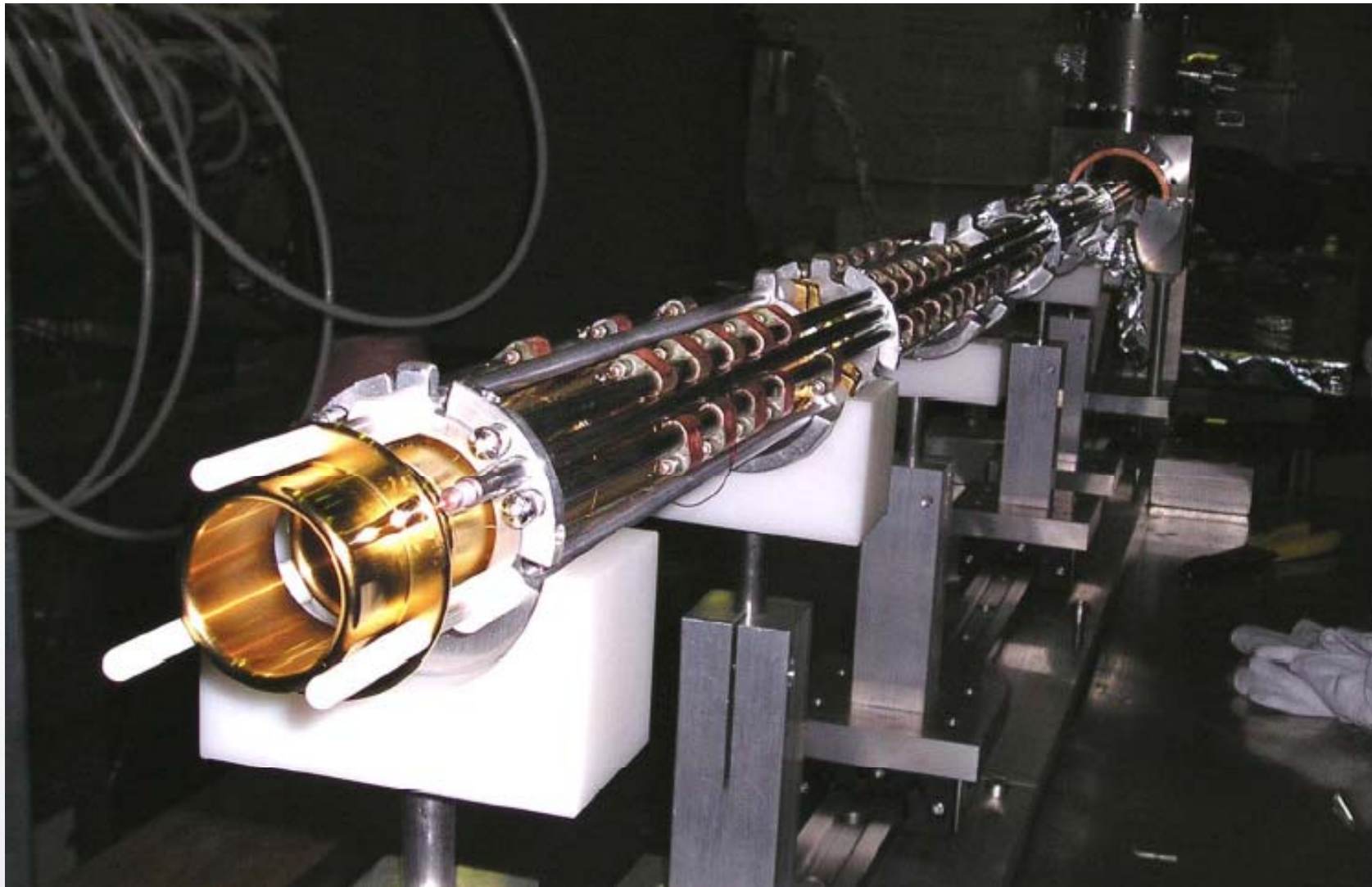
5 Πώς μελετάμε την αντιύλη;

- Το PS μας δίνει δέσμη πρωτονίων 26GeV .
- Αυτά παράγουν αντιπρωτόνια στα 3.6GeV
- Αυτά τα ψύχουμε Πιθανολογικά (Stochastic cooling) μέχρις ότου το εύρος της κατανομής της ορμής να πέσει στο 0.1% .
- Μετά τα επιβραδύνουμε από τα 3.6 στα $2\text{ GeV}/c$
- Το επόμενο ενδιάμεσο επίπεδο ψύξης είναι στα 300MeV όπου το εύρος της κατανομής της ορμής ανεβαίνει στο 0.2% .
- Τώρα μπορεί να εφαρμοστεί η «ψύξη ηλεκτρονίων» καθώς η ενέργεια της δέσμης μειώνεται περαιτέρω που μειώνει την ενέργεια τους μέχρι τα 5 MeV .

Περίπου 5×10^7 αντιπρωτόνια εγχέονται στα $3.57\text{ GeV}/c$ (και αν υποθέσουμε μια αποδοτικότητα 25%) 1.2×10^7 είναι διαθέσιμα σε χαμηλή ενέργεια για τα πειράματα

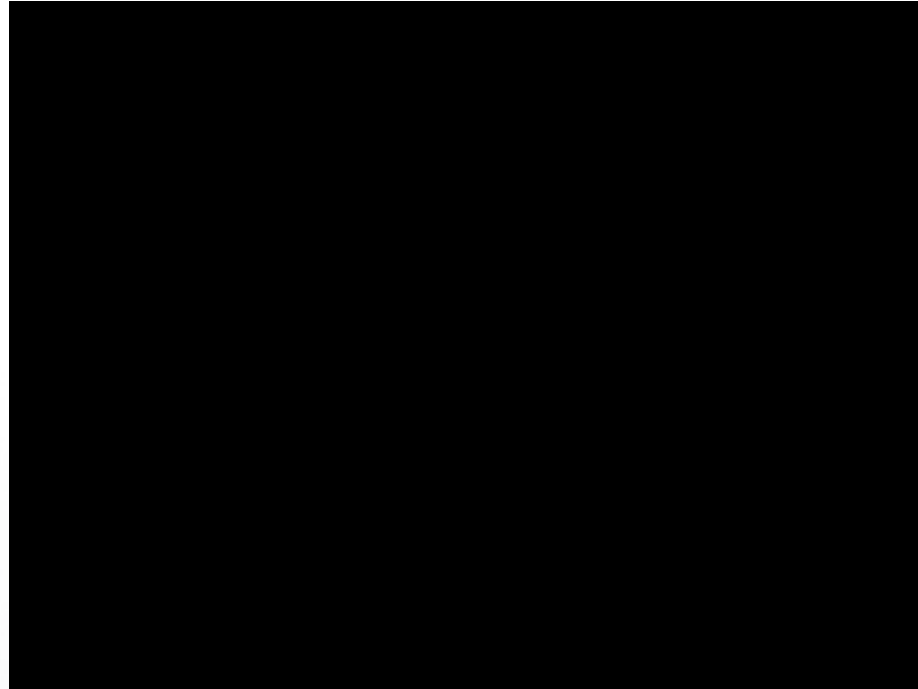
5 Πώς μελετάμε την αντιύλη;

Κατόπιν, τα αντιπρωτόνια (και τα ποζιτρόνια) παγιδεύονται.



5 Πώς μελετάμε την αντιύλη;

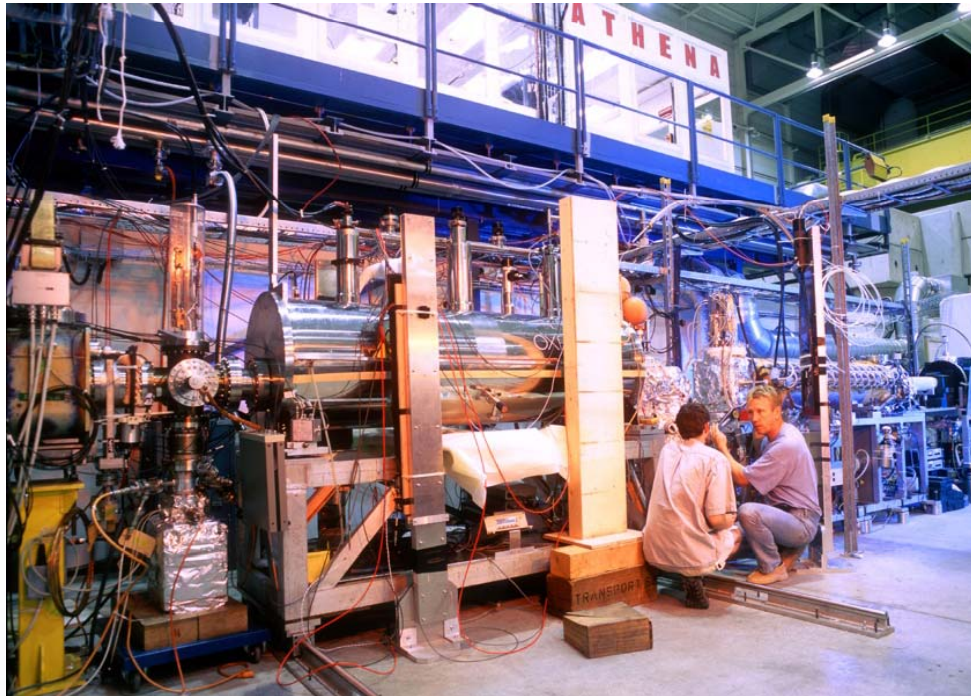
Φιλμάκι: Πώς το αντιυδρογόνο παράγεται στο AD



Αυτό και ένα δεύτερο φιλμάκι για το πώς αποθηκεύουμε ποζιτρόνια και αντιπρωτόνια, στο συμπληρωματικό υλικό αυτής της διάλεξης

5 Πώς μελετάμε την αντιύλη;

Πείραμα ATHENA (2002), στο AD



Status:

- Έχουν παραχθει περισσότερα από 1 εκατομμύριο άτομα αντιυδρογόνου
- Μικρή κινητική ενέργεια (< 0.01 eV)
- Επόμενο βήμα (υπό εξέλιξη): παγίδευση ατόμων αντιυδρογόνου

6 Πηγή ενέργειας; Όπλο; Προώθηση Star Trek;



6 Πηγή ενέργειας; Όπλο; Ώση διαστημοπλοίου;

Η κύρια πλοκή...

Άγγελος & Δαίμονς

Illuminati

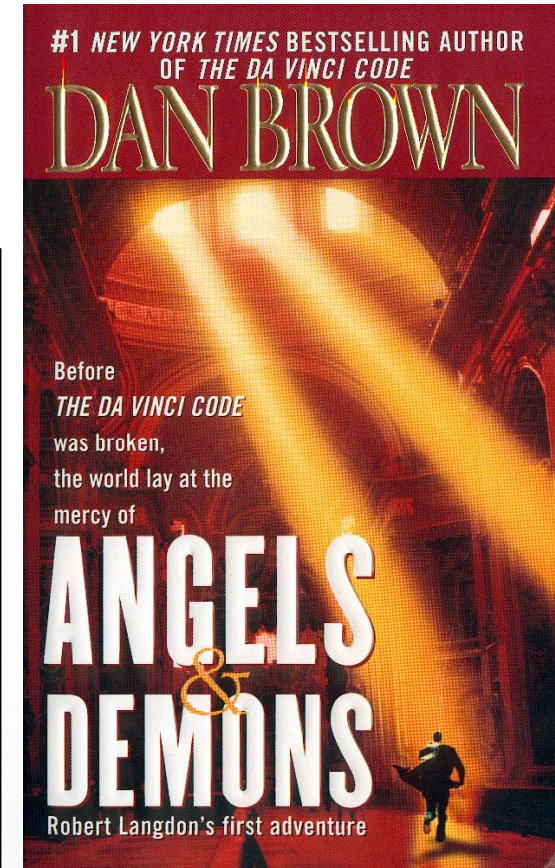
Αστυνομική ιστορία για μια μυστική κοινωνία που...



... κλέβει 1 γρ. αντιύλης από έναν φυσικό που δουλεύει στο 'LHC' σε ένα μέρος που ονομάζεται "CERN" ...



... Για να ανατινάξει το Βατικανό, έναν παλιό "εχθρό της επιστήμης και του CERN".



6 Πηγή ενέργειας;

Dan Brown: Η Αντιύλη είναι η πηγή ενέργειας του μέλλοντος



Όχι

Η παραγωγή αντιύλης **χρειάζεται ενέργεια**

1.000.000.000 φορές περισσότερη ενέργεια **επενδύεται**
παρά **ελευθερώνεται** από την αλληλοεξουδετέρωση

6 Βόμβες αντιύλης?



Ο Dan Brown έχει δίκιο: μόλις 0.5 g αντιύλης έχουν την ίδια ισχύ με μια ατομική βόμβα

Όμως:

$$0.5 \text{ g αντιύλης} = 4.5 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

$$\text{Συνολική ενέργεια που απαιτείται} \\ (\text{αποδοτικότητα} = 10^{-9}) : 4.5 \cdot 10^{22} \text{ J}$$

Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (ειδική τιμή CERN)

$$[1 \text{ kWh} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ J} = 0.1 \text{ €}]$$

κόστος ~1,000,000,000,000,000 €

Απαιτούμενος χρόνος ~ 1 000 000 000 years

20 kt TNT = $8.4 \cdot 10^{13}$ J
0.5 g antimatter + 0.5 g matter

6 Star Trek?



Αντιύλη ως καύσιμο για τα
διαστημικά σκάφη;
Όχι!

Η ενέργεια που απαιτείται για να επιταχύνει ένα διαστημικό σκάφος 10 τόνων στο 95% της ταχύτητας του φωτός:

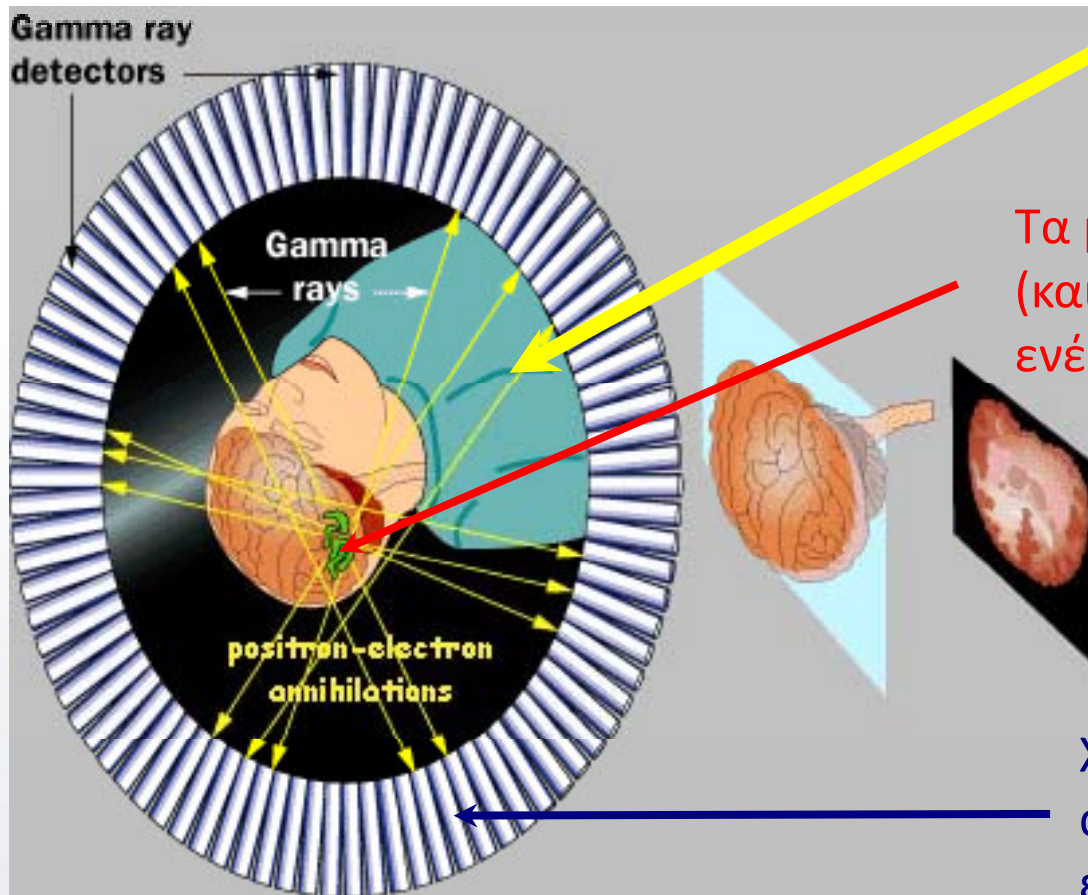
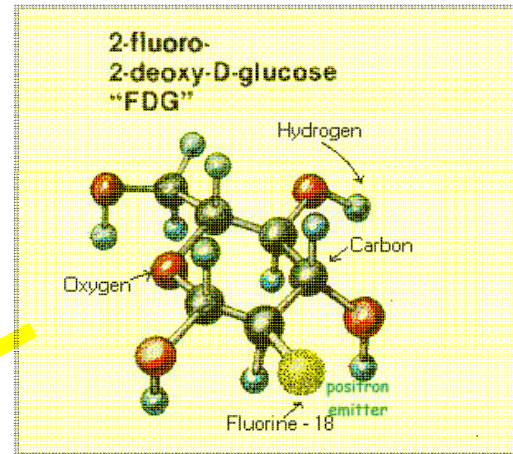
$$E = \gamma mc^2 \sim 10 \cdot 10^4 \text{ kg} =$$

Χρειάζονται 50 τόνοι αντιύλης

7 Ιατρικές εφαρμογές

7 Positron Emission Tomography

Πρόσθεση ισotόπων που εκπέμπουν **ποζιτρόνια** (π.χ. Φθόριο-18) στο μόριο γλυκόζης και έγχυση στο αίμα

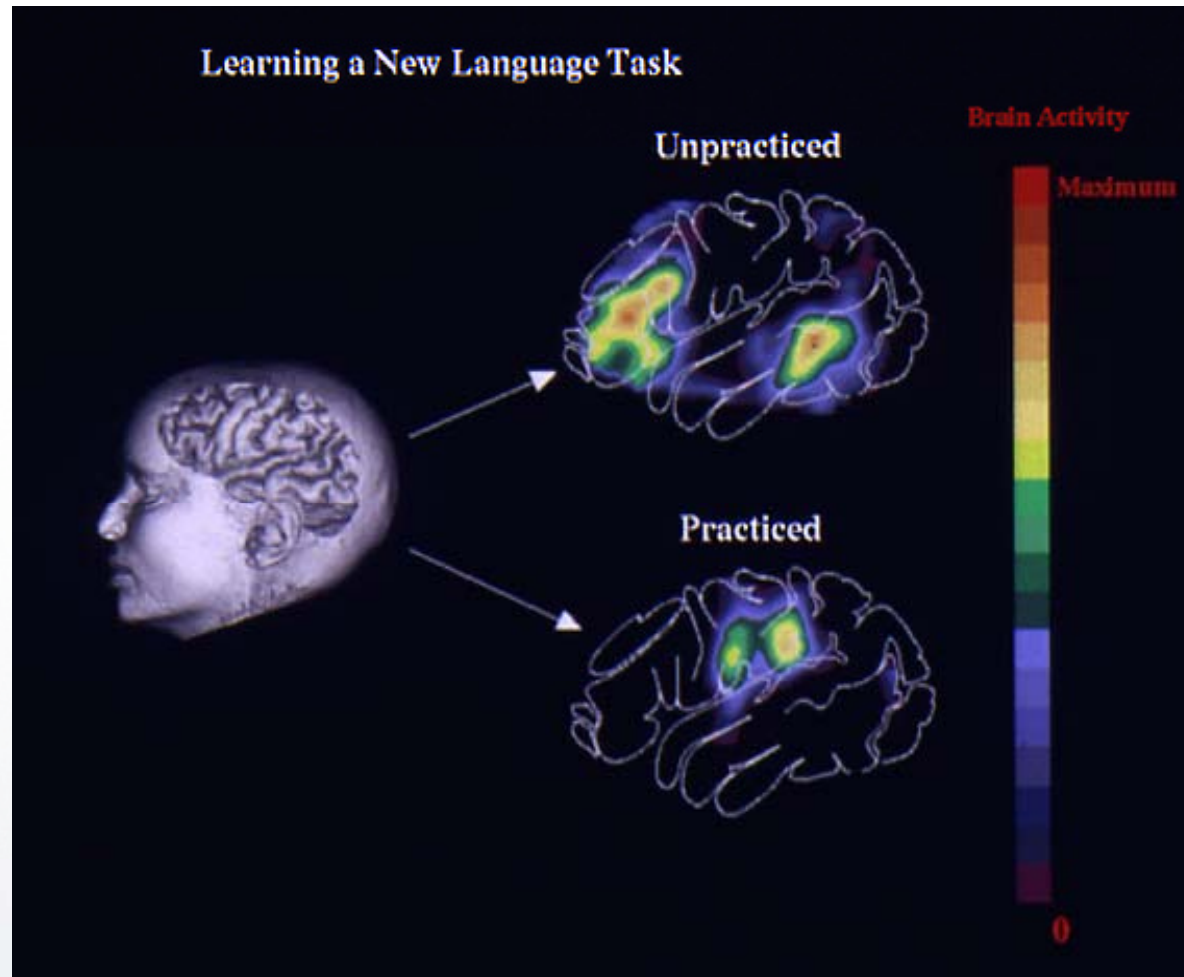


Τα μόρια γλυκόζης συσσωρεύονται (και διασπώνται) όπου απαιτείται ενέργεια

Χρησιμοποιούμε ανιχνευτή που αναδημιουργεί τη θέση της εξουδετέρωσης ποζιτρονίων

7 Positron Emission Tomography

Οι εξουδετερώσεις αντιύλης βοηθούν στο να καταλάβουμε πώς λειτουργεί ο εγκέφαλος



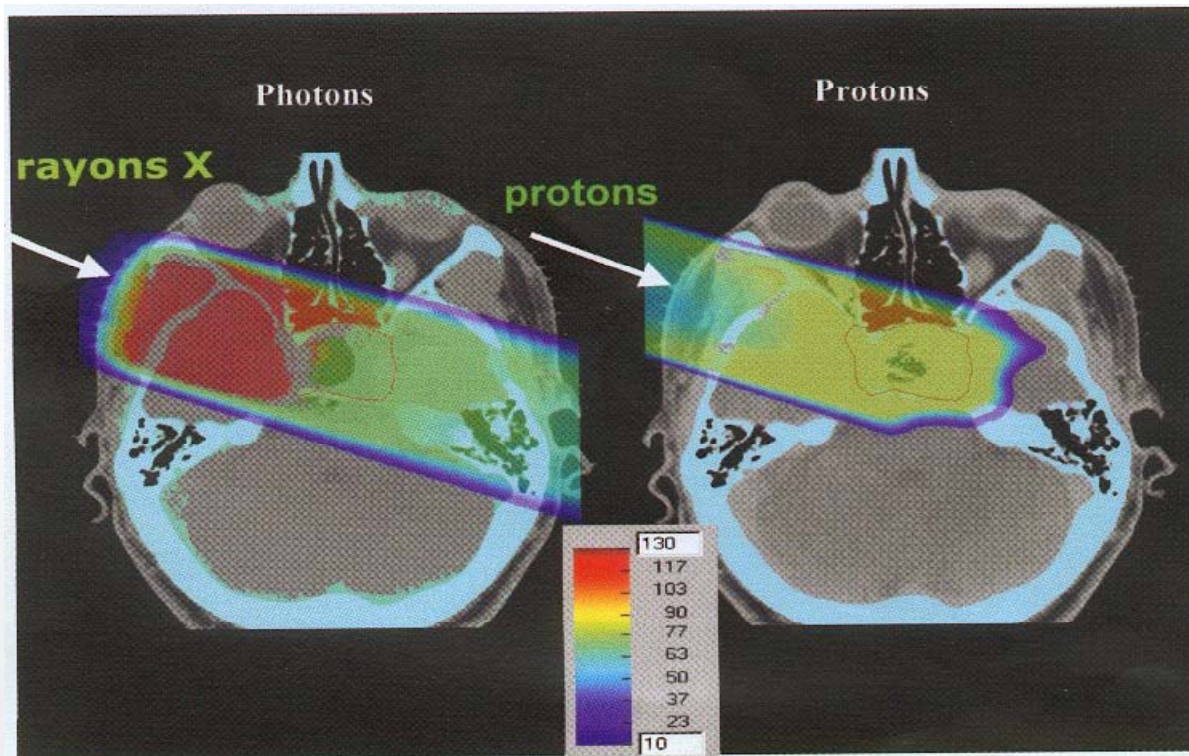
7 Θεραπεία όγκων με αντιπρωτόνια;

Η ακτινοβολία καταστρέφει τα κύτταρα όγκων, αλλά και τα υγιή κύτταρα

Ακτινοβολία γάμμα: πιο πολλά υγιή κύτταρα καταστρέφονται παρά κύτταρα όγκων

Τα πρωτόνια παραδίδουν περισσότερη ενέργεια στα κύτταρα όγκων

Τα αντιπρωτόνια είναι 3x καλύτερα από τα πρωτόνια (αλλά πιο ακριβά)



Τέλος