

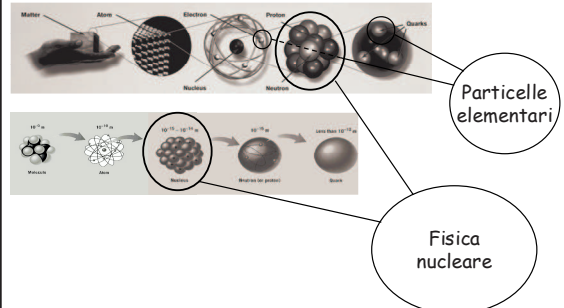
## Approfondimento di fisica in preparazione ai corsi universitari

### Seminario 3: Fisica Nucleare e particelle elementari

- Fisica nucleare
- Fisica delle particelle elementari
- I raggi cosmici
- (Fusione e trasmutazione)
- (Questionario)

1

## Fisica nucleare e particelle elementari

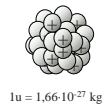


2

## I nuclei degli atomi

Un nucleo di un atomo è formato di un certo numero di *neutroni* e *protoni*, collettivamente chiamati *nucleoni*.

Particella	Carica	Massa
Neutrone	0	1,008665 u
Protone	+e	1,007276 u
(Electrone)	-e	5,485799 · 10 <sup>-4</sup> u



$1u = 1,66 \cdot 10^{-27}$  kg

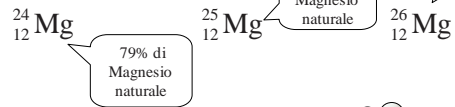
- Il numero di protoni si chiama *numero atomico: Z*.
- Per il numero di neutroni si usa il simbolo *N*.
- Il numero di nucleoni si chiama *numero di massa: A*.

Notazione per specificare un nucleo:  ${}^{27}_{13}\text{Al}$  (Notazione chimica)

3

## I nuclei degli atomi

Nuclei con lo stesso numero di protoni, ma con un numero di neutroni diverso, sono chiamati isotopi, per esempio:



I nucleoni formano un nucleo di forma sferica (oppure leggermente deformata).



Il raggio del nucleo è:

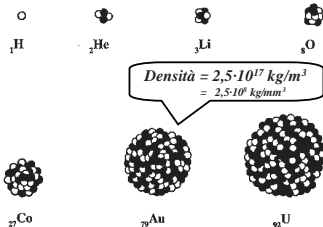
$$r \approx r_0 A^{1/3}, \quad r_0 \approx 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

$2r$

4

## Esempi di nuclei

ATOMIC NUMBERS

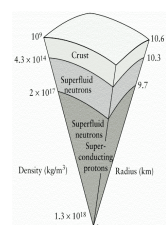


Note!

- The position of nucleons in the nucleus is not static, the nucleons are in continuous movement around each other.
- It is a crude simplification to represent the nucleons as "small circles", what we really know are their wave functions, that is, the probability to find them at different positions.

5

Neutron star



## La forza forte

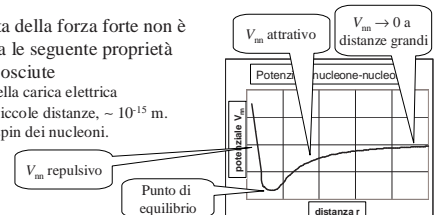
Perché i neutroni e protoni formano un nucleo?

Esiste una forza elettrica repulsiva tra i protoni!?

La forza responsabile per la stabilità del nucleo si chiama *la forza (nucleare) forte* ed è una di tre forze fondamentali (le altre sono la gravitazione e la forza elettro-debole).

La forma esatta della forza forte non è conosciuta, ma le seguente proprietà sono bene conosciute

- Indipendente della carica elettrica
- Intensa solo a piccole distanze,  $\sim 10^{-15}$  m.
- Dipende dallo spin dei nucleoni.



### Meccanica classica e meccanica quantistica Energia potenziale e il potenziale

La formulazione della meccanica quantistica è basata sul potenziale in un modo analogo come la forza è usata per formulare la meccanica classica.

(Anche in una formulazione avanzata della meccanica classica si usa il potenziale invece della forza)

Energia totale = Energia cinetica + Energia potenziale		
$E$	$=$	$\frac{mv^2}{2} + U(x)$
$0 = dE/dt$	$=$	$2mv/2 \cdot (dv/dt) + (dU/dx) \cdot dx/dt$
$0 = dE/dt$	$=$	$v(ma - F)$

7

### Meccanica classica e meccanica quantistica Energia potenziale e il potenziale

#### Meccanica classica

2:a legge della dinamica ( $a=F/m$ ):

$$p^2/2m + U(x) = E$$

$$dE/dt = 0$$

- Posizione,  $x$ , e quantità di moto,  $p = mv$ , sono note a tutti istanti di tempo.
- Qualsiasi stato di energia è accessibile.

#### Meccanica quantistica

L'equazione d'onda di Schrödinger (1-dim)

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + U(x)\psi(x) = E\psi(x)$$

$$(F = -dU(x)/dx)$$

- $|\psi(x)|^2 dx$  rappresenta la probabilità di trovare la particella tra  $x$  e  $x+dx$ .
- Soltanto alcuni, discreti, stati di energia sono accessibili.

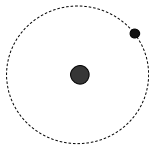
8

### Meccanica classica e meccanica quantistica L'atomo di idrogeno

L'atomo di idrogeno consiste da un elettrone con carica negativa che orbita un protone con carica positiva.

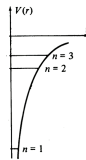
#### Meccanica classica

L'elettrone può trovarsi in un stato con energia arbitraria



#### Meccanica quantistica

L'elettrone può trovarsi soltanto in alcuni stati di energia



9

### Il principio di esclusione di Pauli

Lo stato con energia minima di un atomo si chiama **lo stato fondamentale**.

Per un atomo con più elettroni, non tutti gli elettroni possono occupare lo stato fondamentale!

Empiricamente vale:

#### Il principio di esclusione di Pauli

Soltanto **un** elettrone può occupare un stato caratterizzato da un particolare combinazione dei (quattro) numeri quantistici.

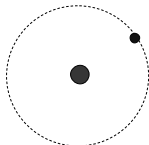
10

### L'atomo di idrogeno

L'atomo di idrogeno è formato da un elettrone negativo che si muove attorno un protone positivo.

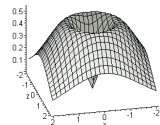
#### Descrizione classica

Sapendo la posizione dell'elettrone ad un certo istante si può calcolare la posizione a qualsiasi tempo.



#### Descrizione quantistica

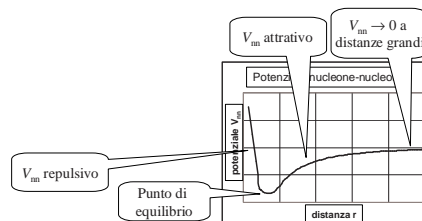
Si può soltanto calcolare la probabilità di trovare l'elettrone in una certa regione dello spazio.



11

### La forza forte

Perché i neutroni e protoni formano un nucleo?



12

## Il campo medio e gli stati energetici

**L'interazione forte**

- Corto raggio d'azione
- Repulsiva e attrattiva
- Dipende dallo spin

**Interazione di Coulomb**

- Lungo raggio d'azione
- Repulsiva

Potenziale medio che dipende da Z e N

Stati energetici in cui sono riempiti p e n (soltanto un fermione in ogni stato)

Stabilità per un nucleo con Z protoni e N neutroni

Figure 10.4 The deuteron's neutron and proton bound by their attractive potential energy.

## Il campo medio e gli stati energetici

**L'interazione forte**

- Corto raggio d'azione
- Repulsiva e attrattiva
- Dipende dallo spin

**Interazione di Coulomb**

- Lungo raggio d'azione
- Repulsiva

Potenziale medio che dipende da Z e N

Stati energetici in cui sono riempiti p e n (soltanto un fermione in ogni stato)

Stabilità per un nucleo con Z protoni e N neutroni

Figure 10.8 Coulomb repulsion raises proton energy slightly.

Stabilità per un nucleo con Z protoni e N neutroni

Figure 10.9 In large nuclei, when Coulomb repulsion becomes significant, the lowest energy should have  $N > Z$ .

## Abbondanza naturale dei nuclei

Segue dal bilancio tra la forza forte, con corto raggio d'azione e la repulsiva forza elettrostatica, con lungo raggio d'azione, che può esistere nuclei solo con certe combinazioni di numero di protoni e neutroni.

Certi nuclei nella natura sono instabili e decadono spontaneamente in parti.

⇒ Radioattività

## Energia di legame

Due osservazioni empiriche ci porta alla grandezza *energia di legame*

- Per togliere un nucleone dal nucleo è necessario fornire energia (i nucleoni sono tenuti insieme dalla forza forte, che deve essere vinto).
- La somma della massa dei individuali nucleoni è maggiore della massa del nucleo.

+ energia di legame →

Energia di legame,  $B = \Delta m c^2$

## Energia di legame

- Più grande è l'energia di legame, più difficile è scomporre il nucleo.
- Per confrontare nuclei di diverse grandezze è conveniente presentare l'energia di legame al nucleone,  $B/A$ .

J. V. Hofmann, 15-Oct-96

La figura mostra che possiamo guadagnare energia fondere due nuclei leggeri (*fusione*) oppure spezzare un nucleo pesante (*fissione*).

## Radioattività

Nuclei che non sono stabili decadono spontaneamente.

- Questi nuclei si chiamano nuclei radioattivi.
- La vita media di un nucleo radioattivo varia da ns a parecchi ordine di grandezza di anni.

Quando un nucleo radioattivo decade emette una particella. Le particelle emesse più comuni sono:

- un nucleo di elio, nominato *particella alfa* ( $\alpha$ -particle),
- un elettrone, nominato *particella beta* ( $\beta$ -particle),
- un fotone, nominato *particella gamma* ( $\gamma$ -ray).

È sempre conservato il numero totale di nucleoni in un decadimento radioattivo.

**Some Radioactive Decays**

- $\alpha$  decay (Helium-4 Nucleus)
- $\beta$  decay (electron)
- $\gamma$  decay (gamma-ray photon)
- proton decay (spherical nucleus)
- neutron decay (deformed nucleus)

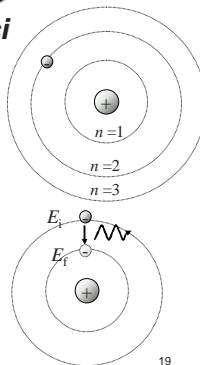
## Atomo di idrogeno transizioni elettroniche

- Soltanto alcuni livelli energetici sono permessi.
- Gli elettroni non emettono radiazione elettromagnetica in questi orbitali.

Quando un elettrone cambia stato, è emesso un fotone con frequenza,  $f$

$$hf = E_i - E_f \quad (E_i > E_f)$$

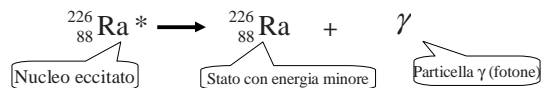
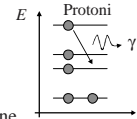
$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js Costante di Planck}$$



19

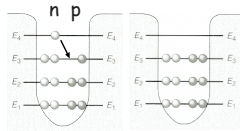
## Decadimento $\gamma$

- Un nucleo può trovarsi in stati diversi (con energia diversa) Ma nello stesso modo in cui i livelli energetici nell'atomo appaiono solo in certi livelli discreti, vale che
- I livelli energetici in un nucleo sono discreti.
- Quando un nucleo transita da uno stato eccitato a uno stato con energia minore, è emesso un fotone.

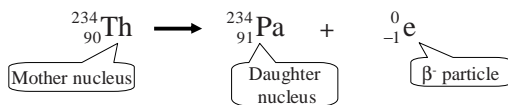


20

## Decadimento $\beta$



Esempio di decadimento  $\beta$

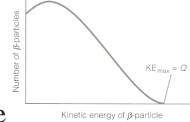


- L'energia rilasciata è data come energia cinetica ai prodotti, ma a causa della differenza di massa in pratica tutto alla particella  $\beta$
- La particella  $\beta$  è fermata da circa 0,1 mm di piombo.

21

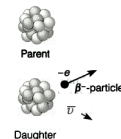
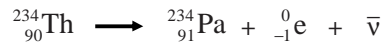
## Il neutrino

Nel decadimento  $\beta$ , l'energia osservata non si conserva!!

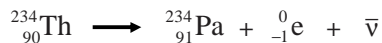


Storicamente era necessario introdurre una nuova particella per spiegare questo fenomeno. La nuova particella si chiama neutrino, con la notazione  $\bar{\nu}$ .

Perciò il decadimento  $\beta$  deve essere modificata



## Il neutrino



Il neutrino ha le seguenti proprietà:

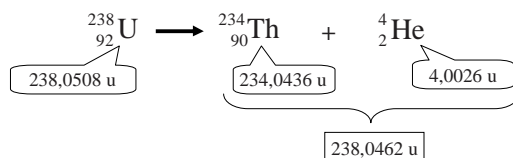
- Electricamente neutro.
- La massa è molto piccola (oppure zero).
- Interagisce tramite l'interazione debole
- È fermata da circa  $10^{16}$  m piombo!!  
( $10^{16}$  m  $\approx$  1 anno luce)

23

## Decadimento $\alpha$

Esempio

Determinare l'energia rilasciata nel decadimento  $\alpha$  sotto



$$\Delta m \approx 238,0508 - 238,0462 = 0,0046 \text{ u}$$

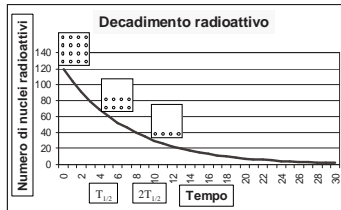
$$\Leftrightarrow$$

$$E_{\text{releasata}} \approx 931,5 \cdot 0,0046 \approx 4,3 \text{ MeV}$$

24

## La legge del decadimento radioattivo

- Il numero di nuclei radioattivi diminuiscono in modo esponenziale.
- Il tempo  $t = T_{1/2}$ , quando meta della popolazione è decaduto si chiama periodo di dimezzamento.



25

## Le famiglie radioattive

URANIUM 238 (U238)		
RADIOACTIVE DECAY		
type of radiation	nuclide	half life
α	uranium—238	4.5 x 10 <sup>9</sup> years
α	thorium—234	24.5 days
β	protactinium—234	1.14 minutes
β	uranium—234	2.33 x 10 <sup>5</sup> years
α	thorium—230	8.3 x 10 <sup>4</sup> years
α	radium—226	1580 years
α	radon—222	3.825 days
α	polonium—218	3.05 minutes
β	lead—214	26.8 minutes
β	bismuth—214	19.7 minutes
β	polonium—214	1.5 x 10 <sup>-8</sup> seconds
α	lead—210	22 years
β	bismuth—210	5 days
α	polonium—210	140 days
α	lead—206	stable

- Il prodotto in un decadimento radioattivo è a sua volta spesso radioattivo.
- Esistono vere e proprie famiglie famiglie radioattive.

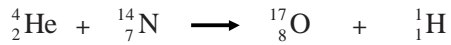
26

## Nuclear reactions



- A reaction between two nuclei can be achieved by letting two nuclei collide with sufficiently high energy (so that the electro static repulsion can be overcome).
- In nuclear reactions nucleons can be transferred from one of the colliding nuclei to the other.

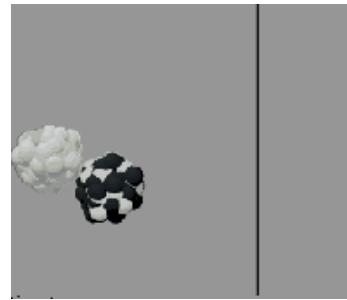
Example



In a nuclear reaction, energy can be gained or lost (depending on the colliding nuclei and the rest products).

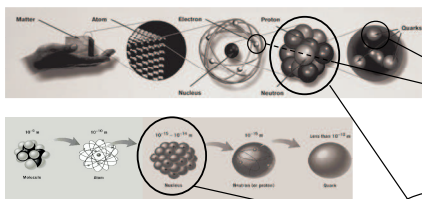
27

## Nuclear reactions at high energy



28

## Particelle elementari



Particelle elementari

Fisica nucleare

29

## Le particelle elementari

Particelle del modello standard

Three Generations of Matter (Fermions)				
	I	II	III	
quark	u	c	t	Y
quark	d	s	b	g
quark	u	c	t	Y
quark	d	s	b	g
lepton	e	μ	τ	W
lepton	ν <sub>e</sub>	ν <sub>μ</sub>	ν <sub>τ</sub>	Z
lepton	e	μ	τ	W
lepton	ν <sub>e</sub>	ν <sub>μ</sub>	ν <sub>τ</sub>	Z

spin semi-intero  
"fermioni"  
Particelle materia

spin intero  
"bosoni"  
Particelle forza

30

## Antiparticella

Estendendo la meccanica quantistica, tenendo conto della teoria della relatività, prevede soluzione che possono essere interpretati come nuove particelle: elettroni con carica elettrica opposta (Dirac, 1928, 1931)

Nel 1932 Carl David Anderson individuò, tra i sottoprodotti delle collisioni dei raggi cosmici i positroni previsti da Dirac.

Nel 1955, Emilio Segre e Owen Chamberlain, a Berkeley, scoprirono l'antiprotone.

<http://it.wikipedia.org/wiki/Antiparticella>



Electron - Positron Annihilation NIM - General Space Flight Center South Westfortn Study  
<http://www.phylink.com/education/uskeapers/ae-416.cfm>

31

## Antiparticella

Una antiparticella è una particella elementare che, rispetto ad un'altra particella, è caratterizzata:

- dalla stessa massa,
- ma da numeri quantici opposti (come carica elettrica o numero barionico).

<http://it.wikipedia.org/wiki/Antiparticella>

Quarks		Anti-quarks	
u	d	$\bar{u}$	$\bar{d}$
up	down	$\bar{u}$	$\bar{d}$
s	b	$\bar{s}$	$\bar{b}$
top	bottom	$\bar{t}$	$\bar{b}$
c	e	$\bar{c}$	$\bar{s}$
strange	charm	$\bar{c}$	$\bar{s}$
Leptons		Anti-leptons	
e	$\nu_e$	$e^+$	$\bar{\nu}_e$
electron	electron neutrino	$e^+$	$\bar{\nu}_e$
$\mu$	$\nu_\mu$	$\mu^+$	$\bar{\nu}_\mu$
muon	muon neutrino	$\mu^+$	$\bar{\nu}_\mu$
$\tau$	$\nu_\tau$	$\tau^+$	$\bar{\nu}_\tau$
tau	tau neutrino	$\tau^+$	$\bar{\nu}_\tau$

<http://www.ibe-closer.es/php/index.php?i=1&s=6&g=2&e=0>

32

## Antiparticella

Il positrone, antiparticella dell'elettrone,

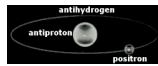
- ha la sua stessa massa,
- ma carica elettrica opposta.

Per alcune particelle, come il fotone, particella ed antiparticella coincidono.

Ma, per esempio, l'antineutrone ed il neutrone (anche se elettricamente neutre) sono particelle diverse

<http://it.wikipedia.org/wiki/Antiparticella>

Particle	Antiparticle
Electron $e^-$	Positron (antielectron) $e^+$
Proton $p^+$	Antiproton $\bar{p}^-$
Neutrino $\nu$	Antineutrino $\bar{\nu}$



<http://www.ibe-closer.es/php/index.php?i=1&s=6&g=2&e=0>

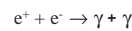
<http://revisionworld.co.uk/a2-level-level-revision/physics/particles/radiation-quantum-phenomena/particles-antiparticles>

33

## Annichilazione particella-antiparticella

La particella e l'antiparticella possono annichilarsi l'un l'altra e produrre altre particelle.

Reazioni come l'annichilazione in due fotoni di una coppia elettrone-positrone:



sono un esempio di questo fenomeno.



<http://it.wikipedia.org/wiki/Antiparticella>

34

## Antiparticella

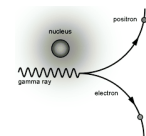
Le antiparticelle sono prodotte nelle interazioni tra particelle con la trasformazione di energia in massa, ad esempio, nelle reazioni nucleari.

<http://it.wikipedia.org/wiki/Antiparticella>

Antiparticles are produced (charge is conserved):

- in beta decay
- in the interaction of cosmic rays in the Earth's atmosphere.
- a particle and its antiparticle are created simultaneously in particle accelerators

<http://en.wikipedia.org/wiki/Antiparticle>



[http://tap.ssp.org/atoms/particles/534/page\\_47331.html](http://tap.ssp.org/atoms/particles/534/page_47331.html)

35

## Acceleratori: come funzionano

Particelle prodotte riscaldando filamenti (elettroni) o per ionizzazione (es H senza e- = protone) o con urti (antiparticelle)

Particelle corrono dentro dei tubi

Roberto Spighi, Bologna: 7th International Masterclasses 2011

## Acceleratori: a bersaglio fisso e collider

**Acceleratore a bersaglio fisso**

**Collider**

Roberto Spighi, Bologna: "7th International Masterclasses 2011"

## Le particelle elementari

### Un esempio di interazione...

Centinaio di particelle prodotte: ricostruirle e riconoscerle

Roberto Spighi, Bologna: "7th International Masterclasses 2011"

## Confinamento dei quark

I quark sono confinati assieme ad altri quark dall'interazione forte a formare

- tripletti (barioni)
- coppie (mesoni) di adroni.

La forza fra quark aumenta con l'aumento della distanza, perciò i quark non possono essere rivelati individualmente, ma solo a livello adronico.

Proton / Anti-proton

Neutron / Lambda

$\pi^+$

$K^0$

$\pi^0$

$J/\psi$

http://www.wikipedia.org/wiki/Confinamento\_dei\_quark  
http://manababhaiyablogspot.it/2012/05/elementary-particles-in-atom.html

39

## Confinamento dei quark

La forza fra quark aumenta con l'aumento della distanza, perciò i quark non possono essere rivelati individualmente, ma solo a livello adronico.

Spring-like force

String breaking

Quarks cannot exist individually because the color force increases as they are pulled apart.

http://www.wikipedia.org/wiki/Confinamento\_dei\_quark  
http://www.feynman.com/research/physics/strings/strings.html

40

## Mesoni

Pseudoscalar mesons											
Particle name	Particle symbol	Antiparticle symbol	Quark content	Rest mass (MeV/c <sup>2</sup> )	J <sup>P</sup>	S	C	B'	Mean lifetime (s)	Commonly decays to (p-% of decays)	
Pion <sup>+</sup>	$\pi^+$	$\pi^-$	u $\bar{d}$	139.570 16 ± 0.000 35	1 <sup>-</sup>	0	0	0	2.6033 ± 0.0005 × 10 <sup>-8</sup>	$\mu^+ \nu_\mu$	
Pion <sup>0</sup>	$\pi^0$	Self	$\frac{u\bar{u} - d\bar{d}}{\sqrt{2}}$	134.9766 ± 0.0008	1 <sup>-</sup>	0	0	0	8.4 ± 0.5 × 10 <sup>-17</sup>	$\gamma \gamma$	
Eta meson <sup>0</sup>	$\eta$	Self	$\frac{u\bar{u} + d\bar{d} - 2s\bar{s}}{\sqrt{6}}$	547.863 ± 0.024	0 <sup>-</sup>	0	0	0	5.0 ± 0.3 × 10 <sup>-19</sup>	$\gamma \gamma$ or $\pi^+ \pi^- \pi^0$ or $\pi^0 \pi^+ \pi^-$ or $\pi^+ \pi^- \pi^0$	
Eta prime meson <sup>0</sup>	$\eta(1020)$	Self	$\frac{u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s}}{\sqrt{3}}$	957.78 ± 0.06	0 <sup>-</sup>	0	0	0	3.38 ± 0.16 × 10 <sup>-21</sup>	$\pi^+ \pi^- \pi^0$ or $\pi^0 \pi^+ \pi^-$ or $\pi^0 \pi^+ \pi^- \pi^0$	
Charmed eta meson <sup>0</sup>	$\eta_c(1115)$	Self	c $\bar{c}$	2.300 3 ± 1.2	0 <sup>-</sup>	0	0	0	2.30 ± 0.17 × 10 <sup>-21</sup>	See $\eta_c$ decay modes	
Bottom eta meson <sup>0</sup>	$\eta_b(115)$	Self	b $\bar{b}$	9.390 ± 2.0	0 <sup>-</sup>	0	0	0	Unknown	See $\eta_b$ decay modes	
Kaon <sup>+</sup>	$K^+$	$K^-$	u $\bar{s}$	493.677 ± 0.016	1/2 <sup>-</sup>	0	1	0	1.2380 ± 0.0021 × 10 <sup>-8</sup>	$\pi^+ \pi^- \pi^0$ or $\pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0$ or $\pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^+ \pi^-$	
Kaon <sup>0</sup>	$K^0$	$\bar{K}^0$	d $\bar{s}$	497.614 ± 0.024	1/2 <sup>-</sup>	0	1	0	0	0	0
K*-charmed <sup>0</sup>	$D_s^0$	Self	$\frac{d\bar{s} + s\bar{d}}{\sqrt{2}}$	497.814 ± 0.024	1/2 <sup>-</sup>	0	0	0	0.950 ± 0.005 × 10 <sup>-11</sup>	$\pi^+ \pi^- \pi^0$ or $\pi^0 \pi^+ \pi^-$	

http://en.wikipedia.org/wiki/List\_of\_mesons

## Mesoni

Vector mesons											
Particle name	Particle symbol	Antiparticle symbol	Quark content	Rest mass (MeV/c <sup>2</sup> )	J <sup>P</sup>	S	C	B'	Mean lifetime (s)	Commonly decays to (p-% of decays)	
Charged rho meson <sup>+</sup>	$\rho^+(770)$	$\rho^-(770)$	u $\bar{d}$	775.11 ± 0.34	1 <sup>-</sup>	1 <sup>-</sup>	0	0	0	~4.5 × 10 <sup>-24</sup>	$\pi^+ \pi^0$
Neutral rho meson <sup>0</sup>	$\rho^0(770)$	Self	$\frac{u\bar{d} - d\bar{u}}{\sqrt{2}}$	775.48 ± 0.34	1 <sup>-</sup>	1 <sup>-</sup>	0	0	0	~4.5 × 10 <sup>-24</sup>	$\pi^+ \pi^-$
Omega meson <sup>0</sup>	$\omega(782)$	Self	$\frac{u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s}}{\sqrt{3}}$	782.65 ± 0.12	0 <sup>-</sup>	1 <sup>-</sup>	0	0	0	7.76 ± 0.07 × 10 <sup>-23</sup>	$\pi^+ \pi^- \pi^0$ or $\pi^0 \pi^+ \pi^-$
F0 meson <sup>0</sup>	$f_0(1020)$	Self	s $\bar{s}$	1,019.445 ± 0.020	0 <sup>-</sup>	1 <sup>-</sup>	0	0	0	1.55 ± 0.01 × 10 <sup>-22</sup>	$\pi^+ \pi^- \pi^0$ or $\pi^0 \pi^+ \pi^-$
J/psi <sup>0</sup>	$J/\psi$	Self	c $\bar{c}$	3,098.918 ± 0.011	0 <sup>-</sup>	1 <sup>-</sup>	0	0	0	7.08 ± 0.21 × 10 <sup>-21</sup>	See $J/\psi$ decay modes
Upsilon meson <sup>0</sup>	$\Upsilon(115)$	Self	b $\bar{b}$	9,460.30 ± 0.26	0 <sup>-</sup>	1 <sup>-</sup>	0	0	0	1.22 ± 0.03 × 10 <sup>-20</sup>	See $\Upsilon(115)$ decay modes
Kaon <sup>+</sup>	$K^{*+}$	$K^{*-}$	u $\bar{s}$	891.66 ± 0.026	1/2 <sup>-</sup>	1 <sup>-</sup>	1	0	0	~7.35 × 10 <sup>-20</sup>	See $K^{*0}$ decay modes
Kaon <sup>0</sup>	$K^{*0}$	$K^{*0}$	d $\bar{s}$	895.94 ± 0.22	1/2 <sup>-</sup>	1 <sup>-</sup>	1	0	0	3.346 ± 0.002 × 10 <sup>-20</sup>	See $K^{*0}$ decay modes
D meson <sup>+</sup>	$D^{*+}(2010)$	$D^{*-}(2010)$	u $\bar{c}$	2,010.25 ± 0.14	1/2 <sup>-</sup>	1 <sup>-</sup>	0	+1	0	8.9 ± 0.9 × 10 <sup>-21</sup>	$\pi^+ \pi^0$ or $\pi^0 \pi^+ \pi^0$
D meson <sup>0</sup>	$D^{*0}(2007)$	$D^{*0}(2007)$	d $\bar{c}$	2,008.96 ± 0.18	1/2 <sup>-</sup>	1 <sup>-</sup>	0	+1	0	~0.1 × 10 <sup>-21</sup>	$\pi^+ \pi^- \pi^0$ or $\pi^0 \pi^+ \pi^-$
Strange D meson <sup>+</sup>	$D_s^{*+}$	$D_s^{*-}$	u $\bar{s}$	2,115 ± 0.6	0	1 <sup>-</sup>	+1	+1	0	~1 × 10 <sup>-21</sup>	$\pi^+ \pi^0$ or $\pi^0 \pi^+ \pi^0$

http://en.wikipedia.org/wiki/List\_of\_mesons

## Le particelle elementari

Particelle "stabili"

### Leptoni

$< 2.2 \text{ eV}$ 0 $\frac{1}{2}$ neutrino	$< 0.17 \text{ MeV}$ 0 $\frac{1}{2}$ neutrino	$< 15.5 \text{ MeV}$ 0 $\frac{1}{2}$ neutrino
$e^-$ electron	$\mu^-$ muon	$\tau^-$ tau

$0.511 \text{ MeV}$ -1 $\frac{1}{2}$ electron	$0$ 1 photon
$105.7 \text{ MeV}$ -1 $\frac{1}{2}$ muon	$2,2 \mu\text{s}$ 660 m

### Mesoni

$\pi^\pm$	$2.4 \text{ MeV}$ $\frac{1}{2}$ up	$4.8 \text{ MeV}$ $-\frac{1}{3}$ down	26 ns 7,8 m
$K^\pm$	$2.4 \text{ MeV}$ $\frac{1}{2}$ up	$104 \text{ MeV}$ $-\frac{1}{3}$ strange	12 ns 3,7 m
$K^0$	$4.8 \text{ MeV}$ $\frac{1}{2}$ down	$104 \text{ MeV}$ $-\frac{1}{3}$ strange	50 ns 15 m

### Barioni

$p^+$	$2.4 \text{ MeV}$ $\frac{1}{2}$ up	$2.4 \text{ MeV}$ $\frac{1}{2}$ up	$4.8 \text{ MeV}$ $-\frac{1}{3}$ down	Stabile
$n^0$	$2.4 \text{ MeV}$ $\frac{1}{2}$ up	$4.8 \text{ MeV}$ $-\frac{1}{3}$ down	$4.8 \text{ MeV}$ $-\frac{1}{3}$ down	

### Stabili (Invisibili)

Stabili

Adriano Bocci, CERN/CMG, "Riconoscimento di Eventi"

## CERN

- 2256 staff
- ~700 other paid personnel
- ~9500 users
- Budget ~1400 milioni di euro

CERN - Budget ~1400 milioni di euro  
Costo Parlamento italiano Montecitorio 940 M€/anno  
• 1 anno di Formula 1 costa piu' del piu' costoso dei 4 esperimenti di LHC.

Stefano Marcellini - INFN Bologna, "Masterclass 2011 - Primi Parte", Marco Cioldi, CERN, "Benvenuti al CERN"

## Le particelle elementari

CMS experiment at CERN

Adriano Bocci, CERN/CMG, "Riconoscimento di Eventi"

## Le particelle elementari

Spettro di massa invariante  $\mu^+\mu^-$

Adriano Bocci, CERN/CMG, "Riconoscimento di Eventi"

## Raggi cosmici

[http://abyss.sao.arizona.edu/~jg/glossary/cosmic\\_rays.html](http://abyss.sao.arizona.edu/~jg/glossary/cosmic_rays.html)

47

## Raggi cosmici primari

Al di là dell'atmosfera:

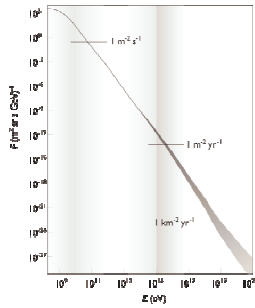
- protoni (per circa il 90%),
- nuclei di elio (quasi il 10%),
- elettroni,
- altri nuclei leggeri,
- fotoni,
- neutrini,
- in minima parte antimateria (positroni ed antiprotoni).

Giunte nell'atmosfera terrestre, interagiscono con i nuclei delle molecole dell'atmosfera formando così, in un processo a cascata, nuove particelle proiettate in avanti, che prendono il nome di raggi cosmici secondari.

[http://it.wikipedia.org/wiki/Raggi\\_cosmici](http://it.wikipedia.org/wiki/Raggi_cosmici)



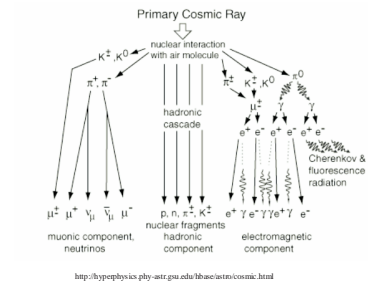
## Raggi cosmici primari



[http://it.wikipedia.org/wiki/Raggi\\_cosmici](http://it.wikipedia.org/wiki/Raggi_cosmici)

49

## Raggi cosmici secondari



<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/air/cosmic.html>

50

## Raggi cosmici secondari

Al livello del mare è costituita da due componenti

- La componente molle (circa il 30% della radiazione secondaria), composta da elettroni e fotoni ed in minima parte da protoni, kaoni e nuclei, è capace di attraversare solo pochi centimetri di assorbitore.
- La componente dura (circa il 70%), composta da muoni, riesce a penetrare spessori di materiali assorbenti di oltre un metro.

Il flusso medio delle particelle che compongono la radiazione che raggiungono il livello del mare, è stimato

$$\sim 0,01 \text{ particelle}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}) = 1 \text{ particella}/(\text{dm}^2 \cdot \text{s})$$

[http://it.wikipedia.org/wiki/Raggi\\_cosmici](http://it.wikipedia.org/wiki/Raggi_cosmici)

51