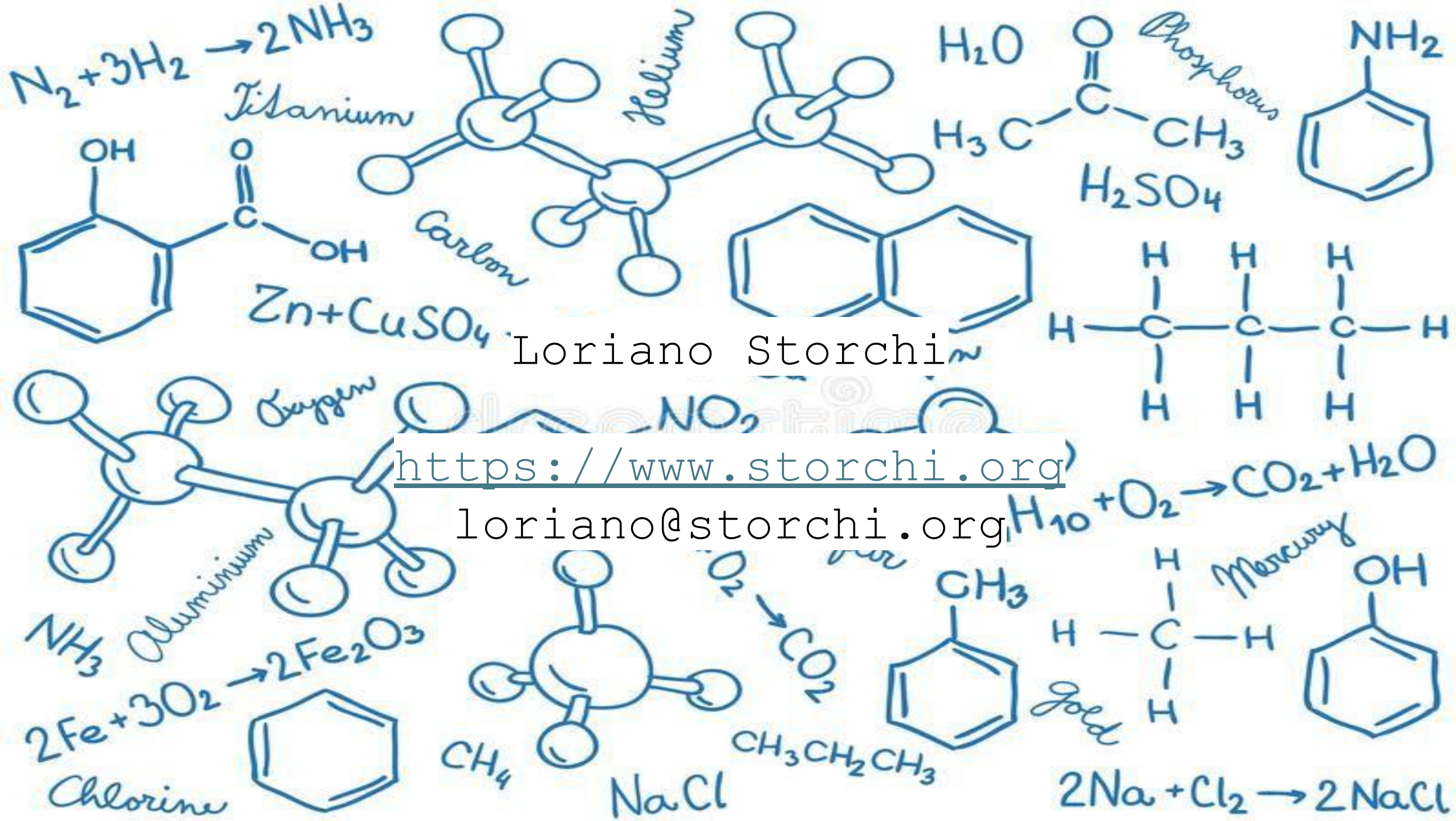




Metodo scientifico e struttura dell'atomo

Dalle leggi ponderali agli isotopi

01. Il Metodo Scientifico

Dall'osservazione empirica alla formulazione di leggi e teorie.

02. Le Leggi Ponderali

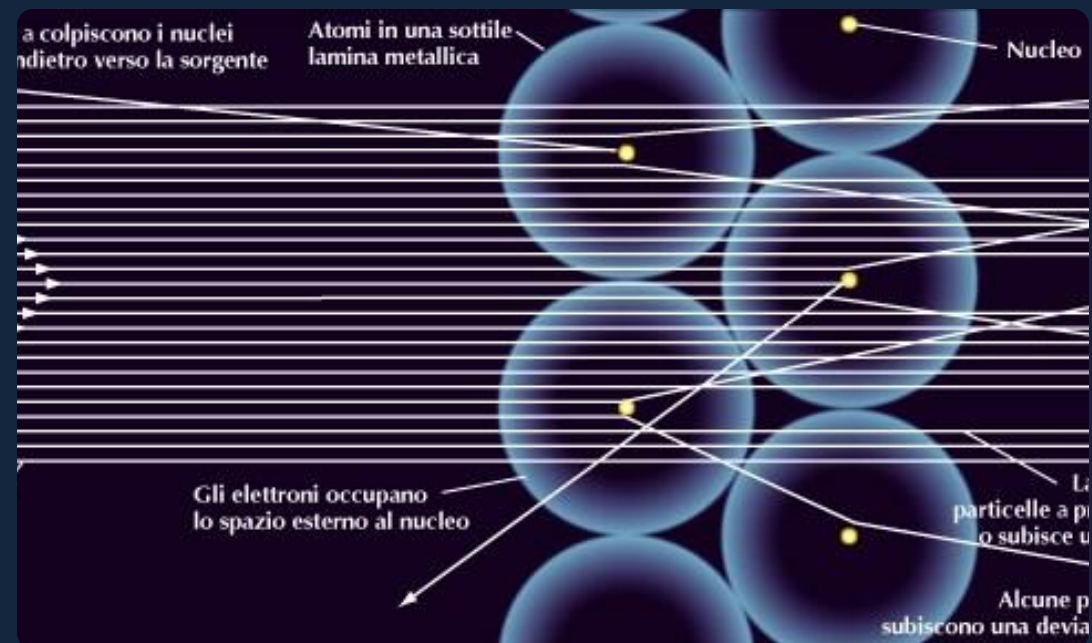
La quantificazione della materia e le relazioni stechiometriche.

03. La Struttura dell'Atomo e Isotopi

Dai primi modelli atomici alla scoperta del nucleo e delle masse.

EVIDENZA SPERIMENTALE

Esperimento di Rutherford e il Modello Nucleare



La deviazione delle particelle α dimostra la presenza di un nucleo denso e carico positivamente al centro dell'atomo.

Metodo scientifico

“

*Nessuna quantità di esperimenti
potrà dimostrare che ho
ragione;
un unico esperimento potrà
dimostrare che ho sbagliato.*

Karl Popper

La scienza costruisce conoscenza affidabile
perché sottopone le spiegazioni a verifiche
ripetibili.

Metodo induttivo

Dai casi osservati a una regola generale

Metodo deduttivo

Da una teoria a previsioni verificabili

Una teoria scientifica è un modello verificabile

Una teoria organizza le osservazioni e produce previsioni che possono essere messe alla prova.

Principio di Falsificabilità

Non è una verità immutabile

Validità Temporanea

Resta accettata finché spiega i dati disponibili

Evoluzione del Modello

Una nuova osservazione può richiedere di eliminarla o modificarla

IL CICLO DEL MODELLO SCIENTIFICO

1

OSSERVAZIONI

Raccolta di dati, fatti ed evidenze empiriche dalla realtà



2

MODELLO

Formulazione di un quadro teorico o schema esplicativo



3

PREDIZIONI

Deduzione di ipotetici eventi futuri o test sperimentali

Dall'ipotesi alla teoria scientifica

1 Ipotesi & Previsione

Modello provvisorio e formulazione di previsioni verificabili.



2 Test Sperimentale

Esperimenti controllati, misurazioni e replicabilità indipendente.



3 Verifica dei Dati

Confronto critico tra evidenze ottenute e previsioni iniziali.

↺ SE I DATI SMENTISCONO LE PREVISIONI

Falsificazione e Revisione

L'ipotesi viene corretta o rigettata. Il processo riparte dal punto 1 con nuove domande.

🛡 SE LE PROVE SI ACCUMULANO E SI CONFERMANO NEL TEMPO

Nascita della Teoria Scientifica

Un quadro esplicativo generale, robusto e predittivo, fondato su un solido consenso empirico.

Lavoisier e la conservazione della massa

In una reazione chimica, la massa complessiva dei reagenti è uguale alla massa complessiva dei prodotti.

PRIMA DELLA REAZIONE
Massa Reagenti

=

DOPO LA REAZIONE
Massa Prodotti



SISTEMA CHIUSO (a)
Reagenti

SISTEMA CHIUSO (b)
Prodotti

Le proporzioni definite di Proust

Un composto puro contiene sempre gli stessi elementi nelle stesse proporzioni di massa, indipendentemente dall'origine o dal metodo di preparazione.

CONSEGUENZA CHIAVE

Il rapporto tra gli elementi è una proprietà caratteristica e costante del composto.

Anidride carbonica (CO_2)



- Carbonio: 27,3%
- Ossigeno: 72,7%

Ossido di carbonio (CO)



- Carbonio: 42,9%
- Ossigeno: 57,1%

Le proporzioni multiple di Dalton

Quando due elementi formano più composti, le masse di uno che si combinano con una massa fissa dell'altro seguono rapporti di numeri interi piccoli.

INTUIZIONE FONDAMENTALE

Dalton intuì che la materia fosse composta da atomi.

1 : 2 : 3 : 4

Rapporti semplici tra le masse

Composto 1

1x

Composto 2

2x

Composto 3

3x

Composto 4

4x

La teoria atomica di Dalton

01

La materia è composta da atomi, particelle che mantengono la propria identità nelle reazioni.

02

Ogni elemento contiene un solo tipo di atomo.

03

I composti uniscono atomi diversi in proporzioni fisse.

04

Le reazioni ricombinano gli atomi in nuove combinazioni.

Chimica: composizione e trasformazioni della materia



Miscela eterogenea

DEFINIZIONE

Una miscela eterogenea presenta componenti distinguibili e non uniformemente distribuiti.

ESEMPI DI ELEMENTI E COMPOSTI

Elementi

P bianco, S, carbonio, Br, I

Composti

NaCl, CuSO₄, NiCl₂, K₂Cr₂O₇, CoCl₂

ESEMPIO PRATICO

Zolfo + ferro



I componenti mantengono le loro proprietà fisiche e possono essere separati meccanicamente (es. calamita).

Simboli atomici

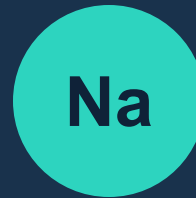
REGOLA GENERALE

Una o due lettere identificano ogni elemento. La prima è maiuscola, la seconda minuscola.



Oro

da Aurum



Sodio

da Natrium



Cloro

da Cloro

L'elettrone

SCOPERTA

Gli esperimenti di fine Ottocento mostrarono che l'atomo non è indivisibile: contiene particelle più piccole.

RAGGI CATODICI

Thomson identificò gli elettroni studiando i raggi catodici, un flusso di particelle emesso dal catodo.

PARTICELLA

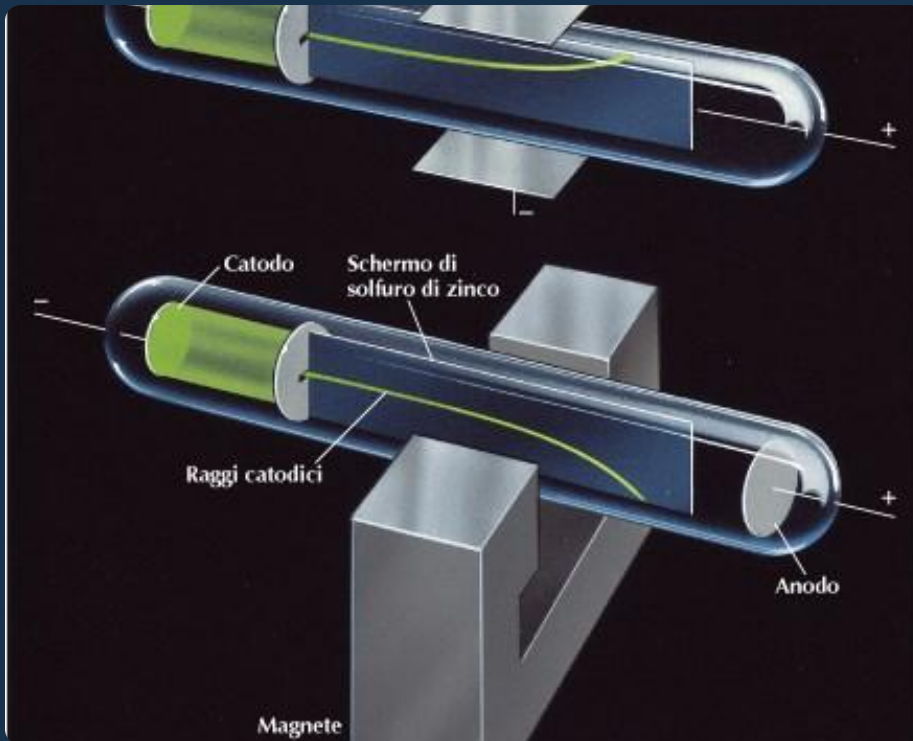


L'elettrone

carica negativa

Tubo a raggi catodici

SCHEMA SPERIMENTALE



PRINCIPIO

Un alto voltaggio tra due elettrodi genera un fascio di raggi che può essere deviato da campi elettrici e magnetici.

FLUSSO DEL FASCIO

Catodo

Elettrodo (-)



Fascio di elettroni

Raggi catodici

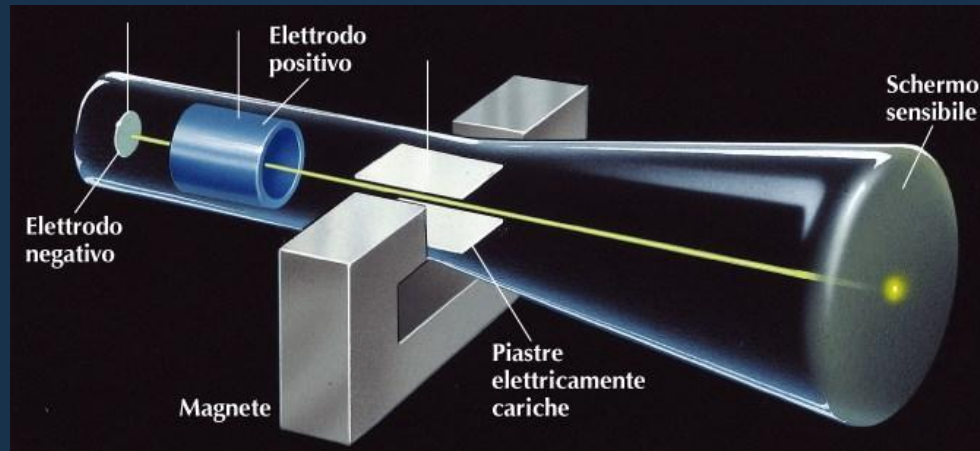


Anodo

Elettrodo (+)

Misura del rapporto carica / massa

SCHEMA SPERIMENTALE



PRINCIPIO

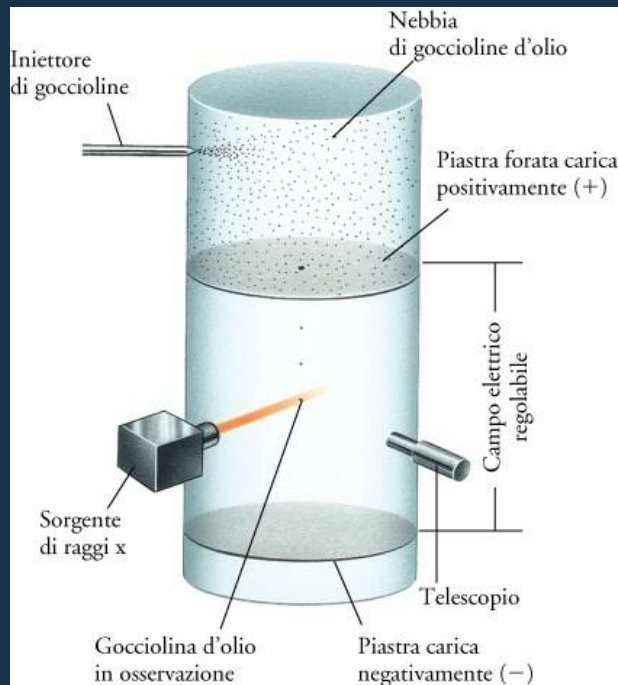
Il campo elettrico devia il fascio in una direzione, quello magnetico nella direzione opposta. Bilanciando i due effetti si ricava il rapporto e/m .

RAPPORTO CARICA / MASSA

$$e/m = 1,7588 \times 10^{11} \text{ C/kg}$$

L'esperimento di Millikan

SCHEMA SPERIMENTALE



PRINCIPIO

Gocce d'olio cariche vengono osservate mentre cadono in un campo elettrico. La tensione necessaria a mantenerle ferme permette di calcolare la carica.

CARICA DELL'ELETTRONE

$$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

La massa dell'elettrone

IL PRINCIPIO

Thomson aveva calcolato il rapporto e/m .
Millikan misurò la carica e . Dalle due
grandezze si ricava la massa.

$$m = e / (e/m)$$

CONFRONTO

La massa dell'elettrone è circa 1.800 volte
più piccola di quella dell'idrogeno.

VALORI SPERIMENTALI

RAPPORTO CARICA / MASSA (e/m)

$$e/m = 1,76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$$

CARICA DELL'ELETTRONE (e)

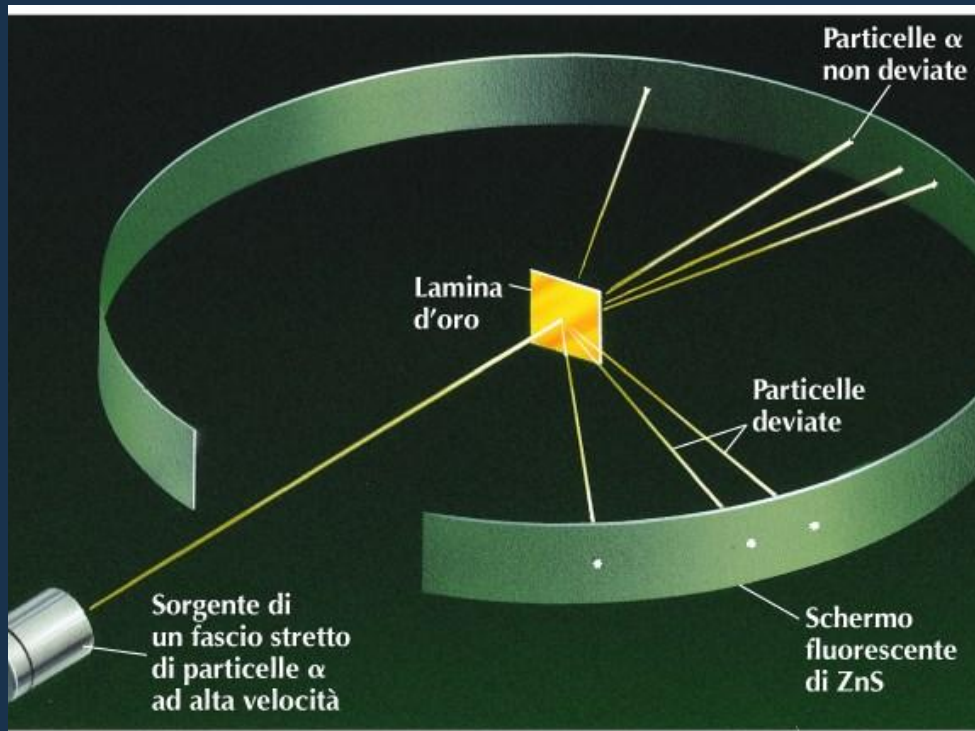
$$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

MASSA DELL'ELETTRONE (m)

$$m = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

Dimensioni dell'atomo e modello di Thomson

SCHEMA SPERIMENTALE



DIMENSIONE ATOMICA

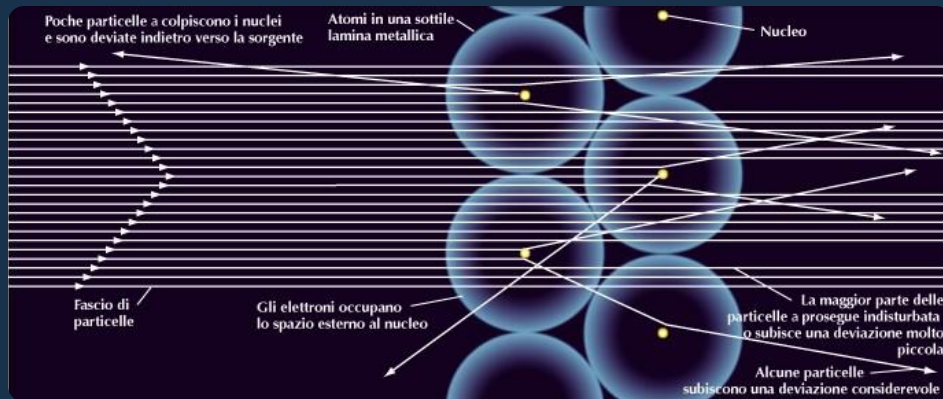
$$\approx 10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ \AA}$$

MODELLO DI THOMSON

Il modello di Thomson descriveva l'atomo come una sfera di carica positiva con elettroni immersi al suo interno.

L'esperimento di Rutherford

SCHEMA DELL'ESPERIMENTO



- **Fasci Alpha:** attraversano la lamina metallica sottile.
- **Traiettoria:** la maggior parte prosegue indisturbata.
- **Deviazioni:** solo una minima parte viene deflessa.

OSSERVAZIONI

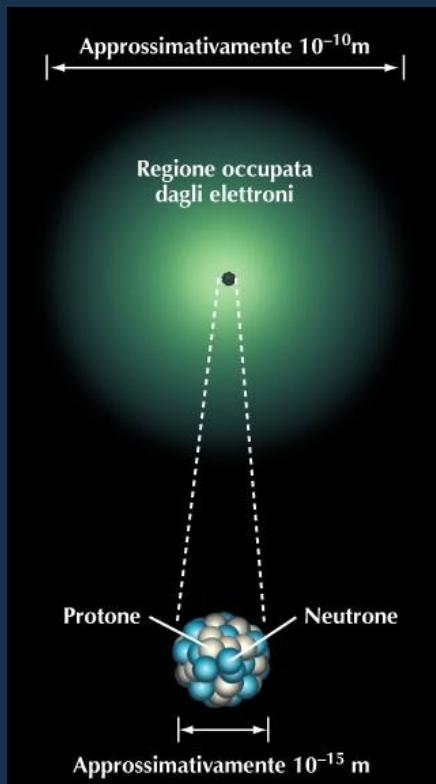
La maggior parte delle particelle attraversa la lamina senza deviazioni. Poche vengono deflesse: la carica positiva e quasi tutta la massa devono essere concentrate in una regione piccolissima.

CONCLUSIONE

Il nucleo occupa una frazione minima dell'atomo

La maggior parte dell'atomo è vuoto

STRUTTURA ATOMICA



CONFRONTO DI SCALA

Dimensione atomica

$\approx 1 \text{ \AA}$

Dimensione nucleare

$\approx 10^{-5} \text{ \AA}$

CONCLUSIONE

Quasi tutta la massa atomica è concentrata nel nucleo.

Struttura nucleare

CARICA NUCLEARE (Z)

Ogni elemento è caratterizzato da una carica nucleare tipica, indicata con **Z**.

A ogni valore di **Z** corrisponde un elemento specifico.



Z = 1



Z = 2



Z = 3

PARTICELLE NUCLEARI

Protoni

- Carica: **+e**
- Massa: $\approx 1831 m_e$

Neutroni

- Carica: **0**
- Massa: $\approx 1831 m_e$

Numero atomico e numero di massa

DEFINIZIONI

Un nucleo è identificato da due numeri:

Z · Numero atomico

Z = numero di protoni

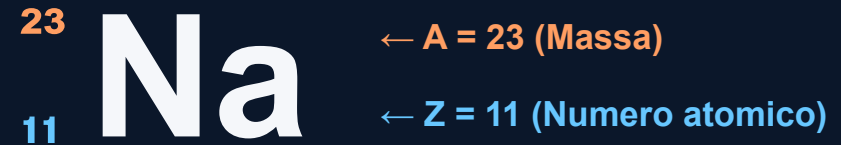
Determina l'identità dell'elemento chimico.

A · Numero di massa

A = protoni + neutroni

Rappresenta il numero totale di nucleoni.

ESEMPIO PRATICO: SODIO (Na)



Z = 11
→ **11 protoni**

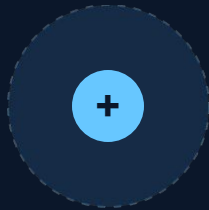
A = 23
→ **12 neutroni**
(23 - 11 = 12 neutroni)

Stesso elemento, neutroni diversi

Gli isotopi hanno lo stesso numero di protoni, ma un diverso numero di neutroni.

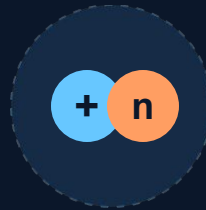
ELEMENTO: IDROGENO

^1_1H



1 protone
0 neutroni

^2_1H



1 protone
1 neutrone

^3_1H



1 protone
2 neutroni

Abbondanza isotopica e massa media

PRINCIPIO FONDAMENTALE

Gli elementi naturali sono spesso miscele di isotopi.

La composizione isotopica resta costante, quindi la massa atomica è una media ponderata.

ESEMPIO PRATICO: CLORO (Cl)

^{35}Cl

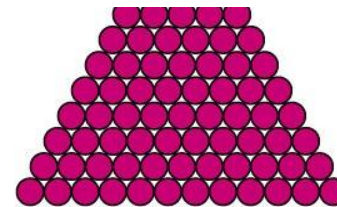
Abbondanza: **75,8%**

^{37}Cl

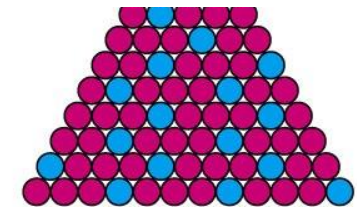
Abbondanza: **24,2%**

Massa atomica media del Cloro $\approx 35,45$ u

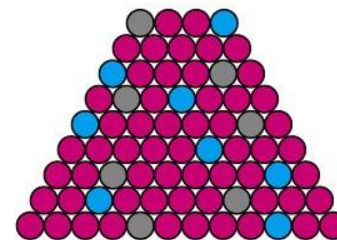
DISTRIBUZIONE ISOTOPICA



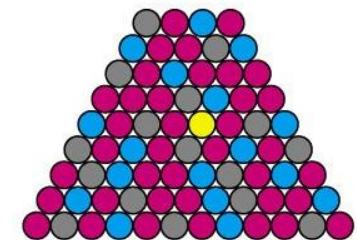
(a) 6.02214×10^{23} F atoms
= 18.9984 g



(b) 6.02214×10^{23} Cl atoms
= 35.4527 g



(c) 6.02214×10^{23} Mg atoms



(d) 6.02214×10^{23} Pb atoms

Quali atomi sono isotopi dello stesso elemento?

RICORDA

Gli isotopi hanno lo **stesso numero atomico Z** e **diverso numero di massa A**.

ATOMO A

 $^{90}_{37}\text{X}$ **Z = 37**

A = 90

ATOMO B

 $^{90}_{39}\text{X}$

Z = 39

A = 90

ATOMO C

 $^{88}_{37}\text{X}$ **Z = 37**

A = 88

ATOMO D

 $^{92}_{35}\text{X}$

Z = 35

A = 92

ATOMO E

 $^{89}_{36}\text{X}$

Z = 36

A = 89

VERIFICA E SOLUZIONE

Confronta il numero atomico **Z** (in basso a sinistra): gli atomi **A** e **C** hanno entrambi **Z = 37** ma diverso numero di massa A (90 e 88). Sono gli isotopi dello stesso elemento!

Il nucleo

Radioattività, energia di legame e reazioni nucleari

01. Radioattività

Studio dell'instabilità nucleare, decadimenti e legge del decadimento radioattivo.

02. Energia di legame

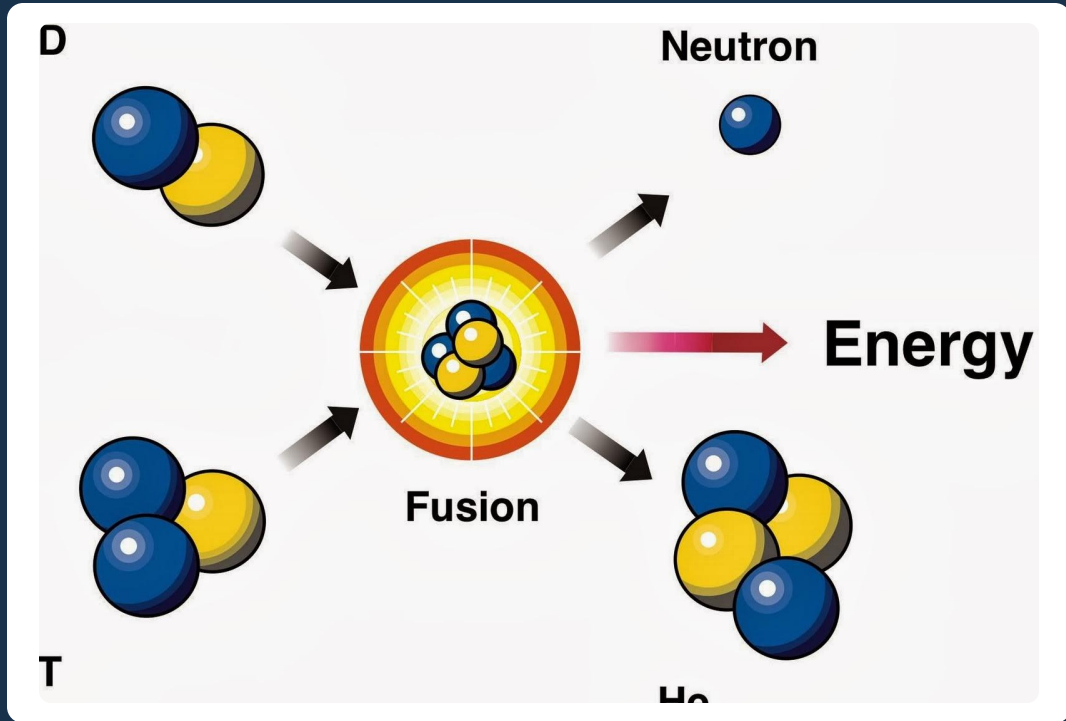
Difetto di massa, equazione di Einstein e coesione dei nucleoni nel nucleo.

03. Reazioni nucleari

Processi di trasformazione dei nuclei, inclusi i meccanismi di fissione e fusione.

Materiale riorganizzato in formato presentazione

REAZIONI NUCLEARI: FUSIONE

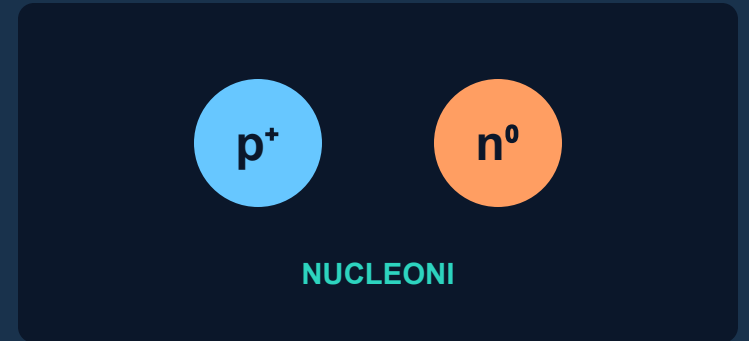


Il nucleo è formato da nucleoni

I COSTITUENTI DEL NUCLEO

Protoni e neutroni costituiscono il nucleo

I neutroni liberi sono instabili e tendono a decadere in un protone e un elettrone.



INTERAZIONE FONDAMENTALE

Forza Nucleare Forte

Tiene insieme il nucleo e vince la repulsione elettrica tra protoni.

PROPRIETÀ NUCLEARI

Stabilità degli Isotopi

Molti isotopi sono stabili, ma non tutti. La stabilità dipende dal rapporto tra protoni e neutroni.

Z, N e A descrivono il nucleo

Z

Numero di protoni

Identifica l'elemento chimico

+

N

Numero di neutroni

Contribuisce alla massa del nucleo

=

$A = Z + N$

Numero di massa

Totale protoni + neutroni

CONCETTO CHIAVE

Stesso **Z**, **diverso A** → isotopi dello stesso elemento

Raggio nucleare e densità

ORDINE DI GRANDEZZA

10^{-15} m (femtometri)

Le dimensioni del nucleo sono estremamente ridotte. Il raggio nucleare cresce all'aumentare del numero di massa A .

LEGGE DI SCALA EMPIRICA

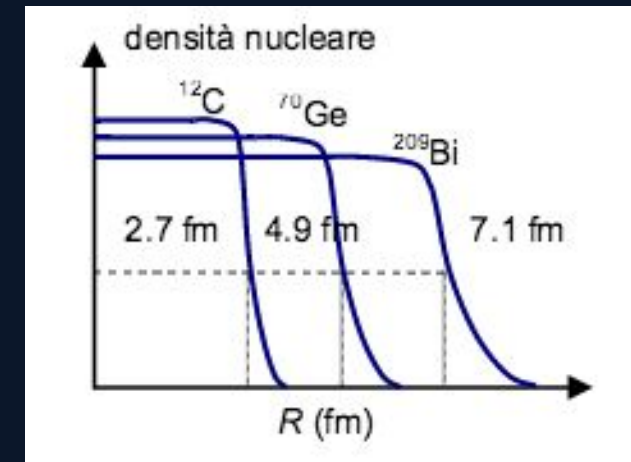
$$R = R_0 A^{1/3}$$

$R_0 \approx 1.2$ fm (costante del raggio nucleare)

Il raggio nucleare è direttamente proporzionale alla radice cubica del numero di massa A .

PROFILO DI DENSITÀ NUCLEARE

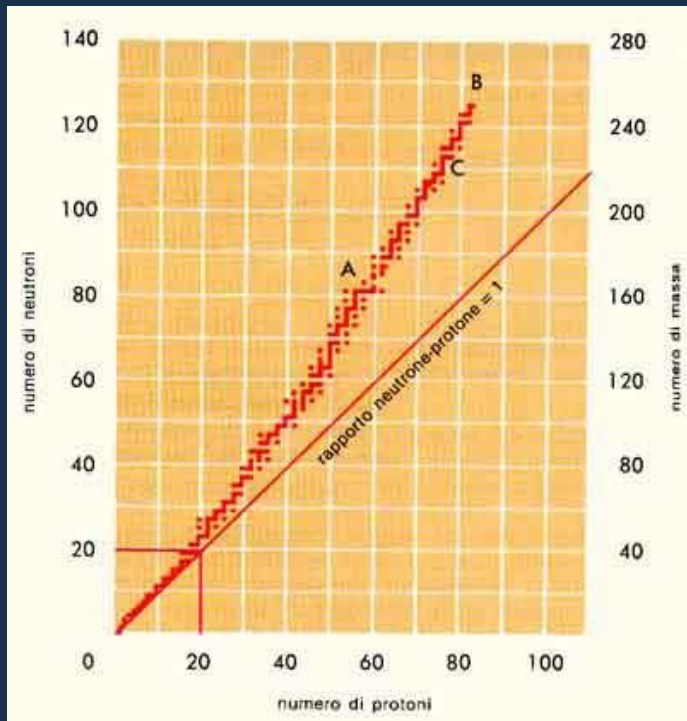
Densità centrale costante e raggio variabile



La densità della materia nucleare al centro è pressoché costante per tutti i nuclei. Il raggio aumenta da **2.7 fm** (^{12}C) fino a **7.1 fm** (^{209}Bi).

Perché alcuni nuclei sono instabili

DIAGRAMMA N-Z



CONDIZIONE DI INSTABILITÀ

Un nucleo è poco stabile quando il rapporto tra protoni e neutroni si allontana dalla zona di stabilità.

Troppi protoni

nuclei molto pesanti

Troppi neutroni**Troppo pochi neutroni**

Tre forme di radiazione

La radioattività fu scoperta alla fine dell'Ottocento. Le emissioni nucleari vengono classificate in tre tipi principali: **raggi α** , **raggi β** e **raggi γ** .

α

Raggi Alpha (α)

nuclei di elio

Carica positiva, costituiti da 2 protoni e 2 neutroni

β

Raggi Beta (β)

elettroni veloci

Carica negativa, particelle ad alta velocità

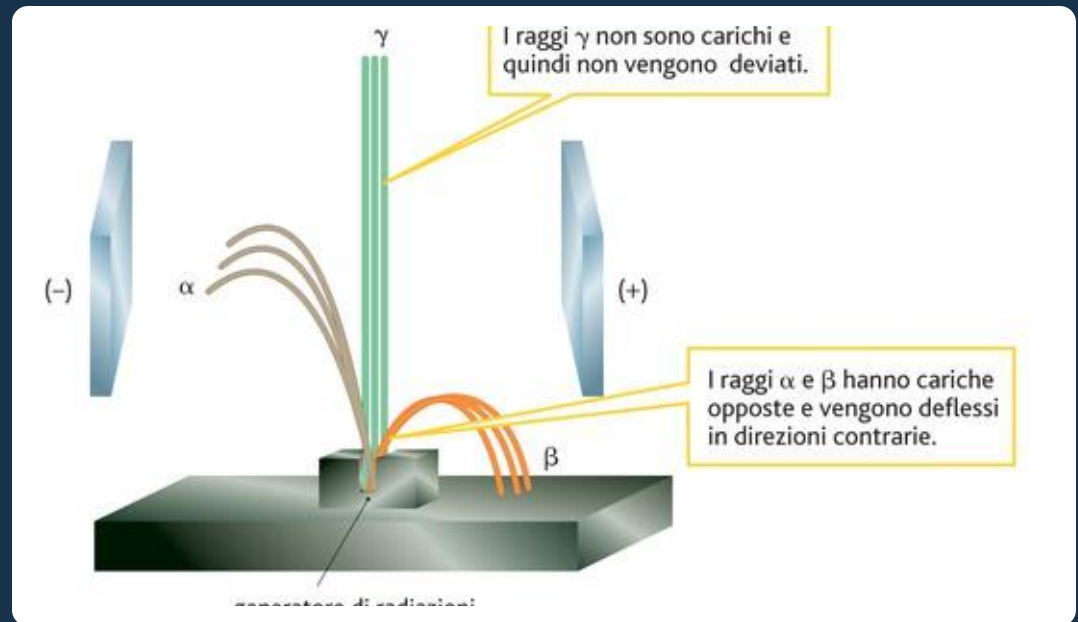
γ

Raggi Gamma (γ)

radiazione elettromagnetica

Privi di carica elettrica, fotoni ad alta energia

DEFLESSIONE IN CAMPO ELETTRICO



Il potere di penetrazione

α Raggi Alpha (α)

nuclei di elio

schermatura: **carta**

β Raggi Beta (β)

elettroni veloci

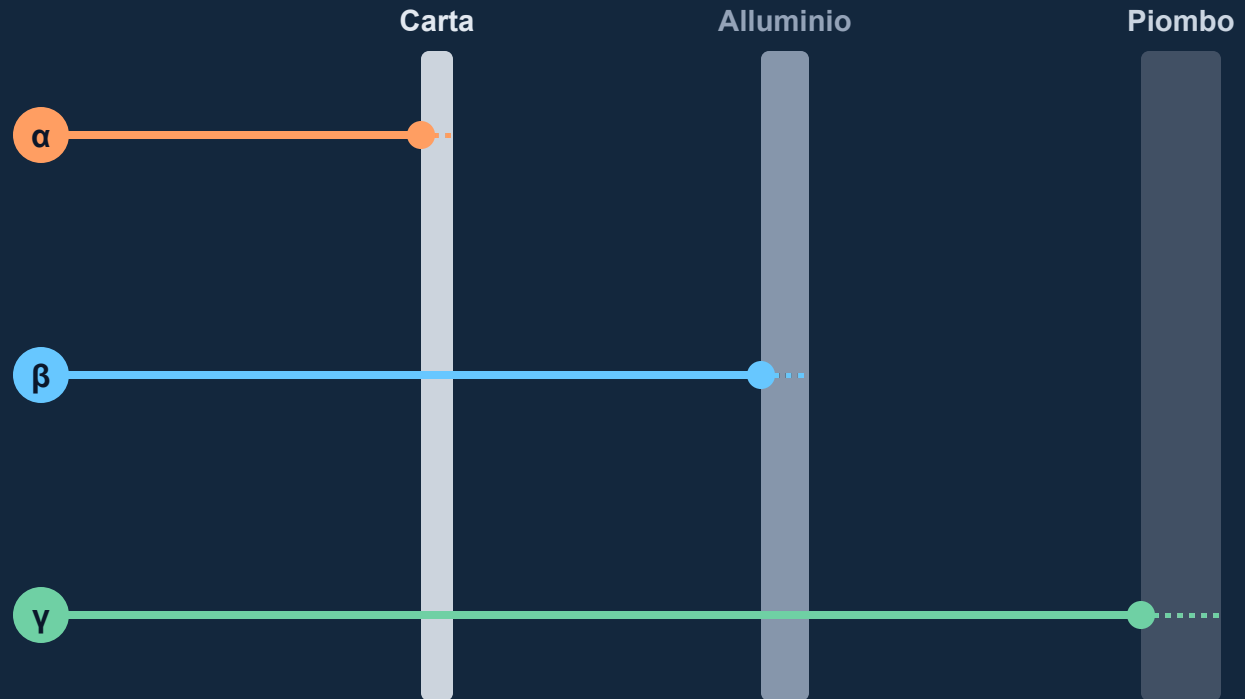
schermatura: **alluminio**

γ Raggi Gamma (γ)

fotoni ad alta energia

schermatura: **piombo**

SCHEMA DI CAPACITÀ DI PENETRAZIONE



Un nucleo può trasformarsi in un altro

PRINCIPIO FONDAMENTALE

Il decadimento radioattivo è la disintegrazione spontanea di un nucleo instabile.

TRASFORMAZIONE NUCLEARE

L'emissione α o β cambia la composizione del nucleo, trasformandolo in un elemento differente.

01

Nucleo Instabile

Stato iniziale soggetto a disintegrazione spontanea.

↓ Emissione α o β

02

Nucleo Diverso (Figlio)

Nuovo nucleo con una composizione modificata.

↓ Rilassamento energetico

γ

Radiazione Gamma (γ)

Il nucleo figlio può rilassarsi emettendo radiazione γ .

Decadimento alfa

I nuclidi con molti protoni e neutroni tendono a emettere particelle α , cioè nuclei di elio ${}^4_2\text{He}$.

EQUAZIONE GENERALE DEL DECADIMENTO



${}^{232}_{90}\text{Th}$

Nucleo Padre ${}^{228}_{88}\text{Ra}$

Nucleo Figlio ${}^4_2\text{He}$

Particella α

ESEMPIO REALE

Esempio: il torio-232 si trasforma in radio-228.

Il torio-232 emette una particella α riducendo la sua massa atomicamente a radio-228 con liberazione di energia nucleare.

Decadimento beta⁻

Un nucleo con un soprannumero di neutroni può trasformare un neutrone in un protone, emettendo un elettrone e un antineutrino.

EQUAZIONE GENERALE DEL DECADIMENTO



n Neutrone · p^+ Protone
 e^- Elettrone (β^-) · $\bar{\nu}_e$ Antineutrino

ESEMPIO REALE

Esempio: il trizio decade formando elio.

Il trizio (^3_1H) trasforma un neutrone in protone diventando elio-3 (^3_2He) con liberazione di un elettrone e un antineutrino.

Decadimento beta⁺ e cattura elettronica

DECADIMENTO β⁺



Quando i protoni sono troppi, un protone si trasforma in un neutrone ed emette un positrone e un neutrino.

CATTURA ELETTRONICA



Il nucleo cattura un elettrone: il protone diventa neutrone e viene emesso un neutrino.

ESEMPIO REALE



Il fosforo-29 si trasforma in silicio-29 emettendo un positrone e un neutrino.

ESEMPIO REALE



Il potassio-40 cattura un elettrone convertendosi in argon-40.

Decadimento gamma

Dopo un decadimento α o β , il nucleo figlio può trovarsi in uno stato eccitato. Tornando allo stato fondamentale libera energia come radiazione γ .

ESEMPIO REALE



Il cobalto-60 decade in nichel-60 in uno stato eccitato, il quale si stabilizza emettendo radiazione gamma (γ).

TRANSIZIONE ENERGETICA DEL NUCLEO

nucleo eccitato

Livello energetico superiore (E_2)

Emissione γ

nucleo stabile + γ

Stato fondamentale (E_1)

Energia di legame e difetto di massa

1. ENERGIA DI LEGAME

L'energia di legame è l'energia necessaria a separare un sistema nelle sue parti. Per il nucleo, equivale all'energia necessaria a separare protoni e neutroni.

$$E = mc^2$$

massa ed energia sono equivalenti

2. DIFETTO DI MASSA

La massa del nucleo è inferiore alla somma delle masse dei nucleoni che lo compongono: questa differenza è il difetto di massa.

$$m_{\text{nucleo}} < \sum m_{\text{nucleoni}}$$

$$\Delta m = \sum m_{\text{nucleoni}} - m_{\text{nucleo}}$$

Il difetto di massa nell'elio-4

01 · COSTITUENTI

2 protoni + 2 neutroni

MASSA SEPARATA

4,0319 u

02 · NUCLEO FORMATO

Nucleo di ${}^4\text{He}$

MASSA MISURATA

4,0026 u

03 · DIFETTO DI MASSA

Difetto di massa

0,0293 u

$= 4,86 \times 10^{-29} \text{ kg}$

04 · ENERGIA LIBERATA

$E = mc^2$

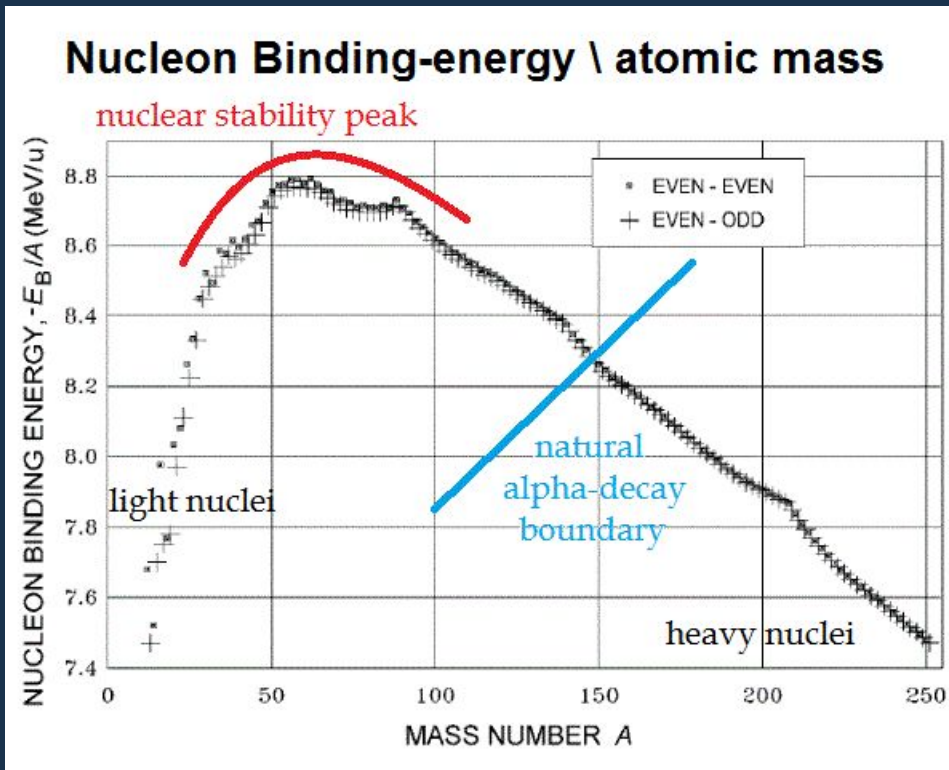
ENERGIA EMessa

$4,37 \times 10^{-12} \text{ J}$

L'energia viene emessa quando il nucleo si forma dalle particelle che lo costituiscono.

Energia di legame per nucleone

GRAFICO · ENERGIA DI LEGAME PER NUCLEONE



La stabilità dipende dall'energia di legame per nucleone.

01 · NUCLEI LEGGERI

Nuclei leggeri: la fusione può aumentare il legame

02 · NUCLEI MEDI

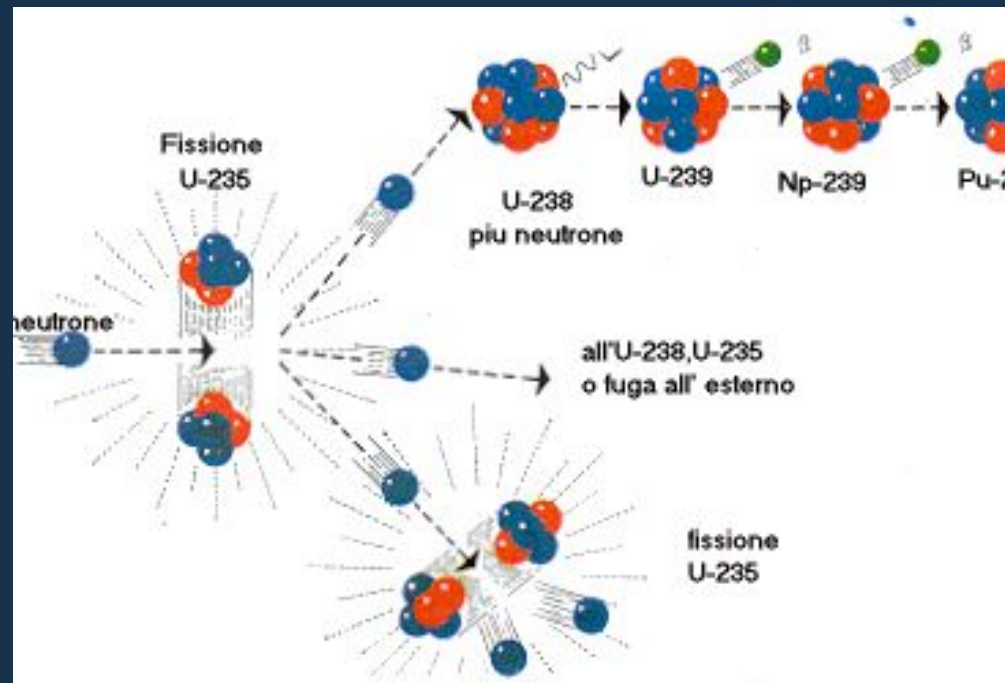
Il massimo si trova nella regione dei nuclei medi

03 · NUCLEI PESANTI

Nuclei pesanti: la fissione può aumentare il legame

Fissione nucleare

SCHEMA · PROCESSO DI FISSIONE



01 · REAZIONE DI FISSIONE

La fissione di un nucleo pesante produce nuclei più leggeri, neutroni ed energia.

02 · BILANCIO ENERGETICO

Grande energia, ma alta barriera di attivazione

- Elevata resa energetica liberata sotto forma di calore e radiazione
- Innescò vincolato al superamento della barriera di potenziale nucleare

Massa critica e fusione

01 · FISSIONE A CATENA

Massa critica e controllo

Per sostenere la reazione di fissione in modo continuo è necessario soddisfare precise condizioni di controllo.

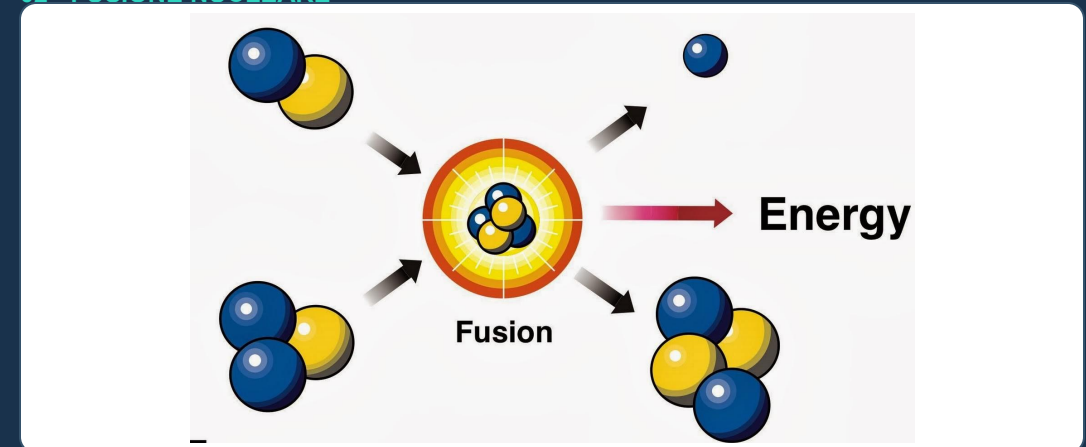
Massa critica

Serve una massa critica di uranio arricchito.

Barre di grafite

Assorbono neutroni e possono rallentare o interrompere la reazione.

02 · FUSIONE NUCLEARE



Energia elevata, poche scorie radioattive

- Avviene naturalmente nel Sole e nelle stelle.
- Il progetto **ITER** studia la fusione controllata.