

**La Fisica “Quasi” Moderna
La Meccanica Quantistica
“Classica”**

***Particelle a velocità
Molto inferiore alla luce***

Sommario

○ **Il Macinino di Newton**

- Ma perché esiste il Mondo?
- Una deviazione: fisica e matematica
- La Storia alla Storia – La Fisica alla Fisica
- Il Macinino Quantistico
- Particelle o Onde (o entrambi?)
- Ma Funziona?

Il Macchinino di Newton

Posizioni e vel.
iniziali



Leggi di Forza

Gravità

Attrito

Elettromagnetismo
(eq. Di Maxwell)



Moto dei corpi

Ma Perché Esiste il Mondo??

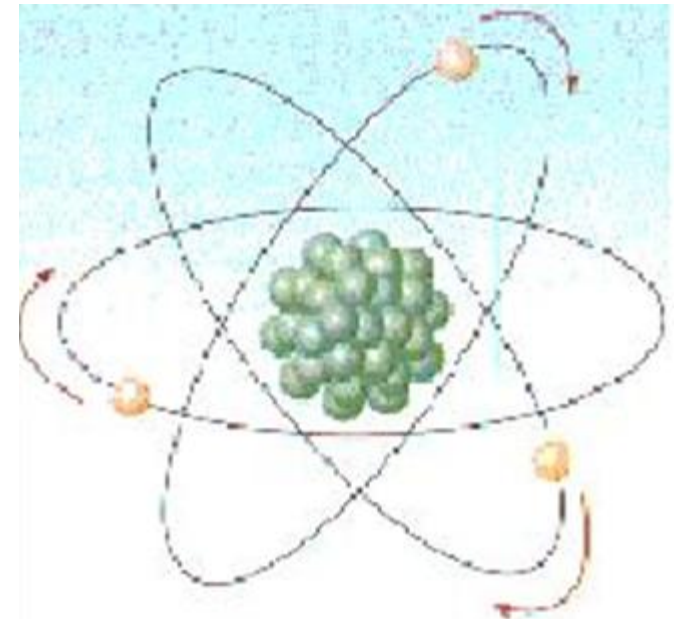
ANTENNA LINEARE

Si muove in
Un campo
elettrico



Pila elettrica
Compensa la perdita
Di energia per radiazione

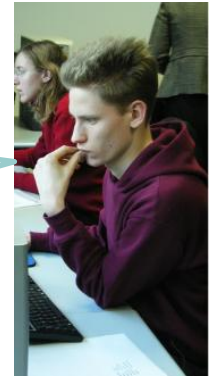
ATOMO DI RUTHERFORD



Gli elettroni sono in moto in
Un campo elettrico **MA** nessuna
Pila compensa la radiazione
PERCHE' NON COLLASSANO ?

Una Deviazione: Fisica e Matematica

Perché la traiettoria di un proiettile in aria è quasi un triangolo??



IL FISICO TEORICO: in assenza di aria sarebbe una parabola. Si deve considerare che la resistenza dell'aria diminuisce rapidamente con la temperatura. Il proiettile esce arroventato

IL FISICO MATEMATICO: la equazione del moto in due dimensioni è

$$-g \vec{z} - \mu(T, \vec{v}) \vec{v}_{\text{ers}}(\vec{v}) = m \vec{a}$$

.....



La Matematica Minima

$$2 + 2 = 4 \Rightarrow +_u 2 = 4$$

$$\frac{d}{dx} [a f(x) + g(x)] = a \frac{d}{dx} f(x) + \frac{d}{dx} g(x)$$

LINEARITA'

SOMMA DI OPERATORI

$$\left[1 + h(x) + \frac{d}{dx} + \int_0^x dx \right] f(x) = k(x)$$

La Storia alla Storia

La Fisica alla Fisica

I PRINCIPI DELLA NUOVA FISICA

- 1 – Le Variabili Fisiche
- 2 – Cosa Vuol Dire Misurare
- 3 – La Natura è Coerente
(Il principio di riduzione del pacchetto d'onda)
- 4 – L'Equazione del Moto
(L'equazione di Shroedinger)
- 5 – La Natura è Strana, Molto Strana
(Il principio di indeterminazione di Heisenberg)
- 6 – Un punto non può Ruotare
(Il Principio di Pauli)

Variabili Fisiche (o no?)

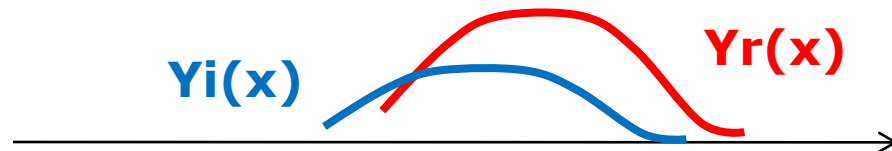
Le variabili fisiche sono rappresentate da funzioni complesse delle coordinate e del tempo, non più da semplici numeri

Tranne il tempo t : un numero misurabile con precisione infinita
(impostazione non relativistica)

Es: un elettrone che si muove lungo una linea (antenna)

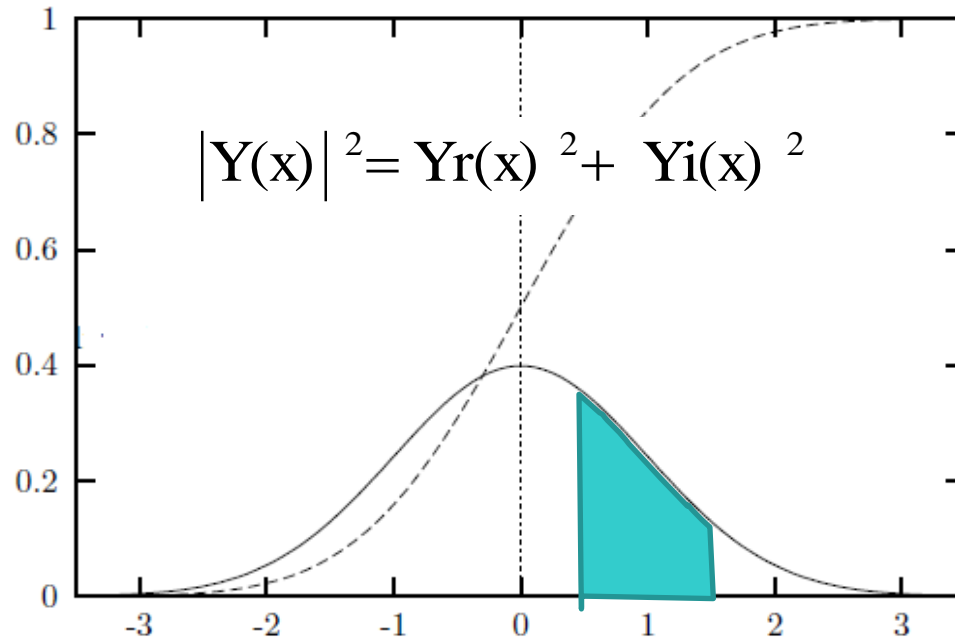
La sua posizione d rispetto ad un sistema di riferimento lineare è una funzione, per esempio quella
Le cui parti reale ed immaginaria sono rappresentate qui in basso

$$Y(x) = Y_r(x) + i Y_i(x)$$



Ma che cosa vuol dire?

Eppure $Y(x)$ sembra un'onda (non dimentichiamo che è complessa) ??



L'area rappresenta la probabilità
Con la quale una misura di posizione
Troverà l'elettrone nel segmento che
La sottende



I Fisici Estraggono a Sorte Ma la natura è Coerente

La misura della variabile Y è un numero aleatorio la cui probabilità è derivata da

$$|Y(x)|^2 = Y_r(x)^2 + Y_i(x)^2$$

(funzione densità di probabilità)

Una misura ripetuta a tempi molto vicini dà sempre lo stesso risultato

(Principio di riduzione del pacchetto d'onda)

L'equazione quantistica del moto

$$i \hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(t, x, y, z) = \hat{\mathbf{H}} \Psi(t, x, y, z)$$

Funzione che
Rappresenta la
Posizione della
particella

Costante di
Plank diviso 2π
Dimensioni di
Energia x tempo

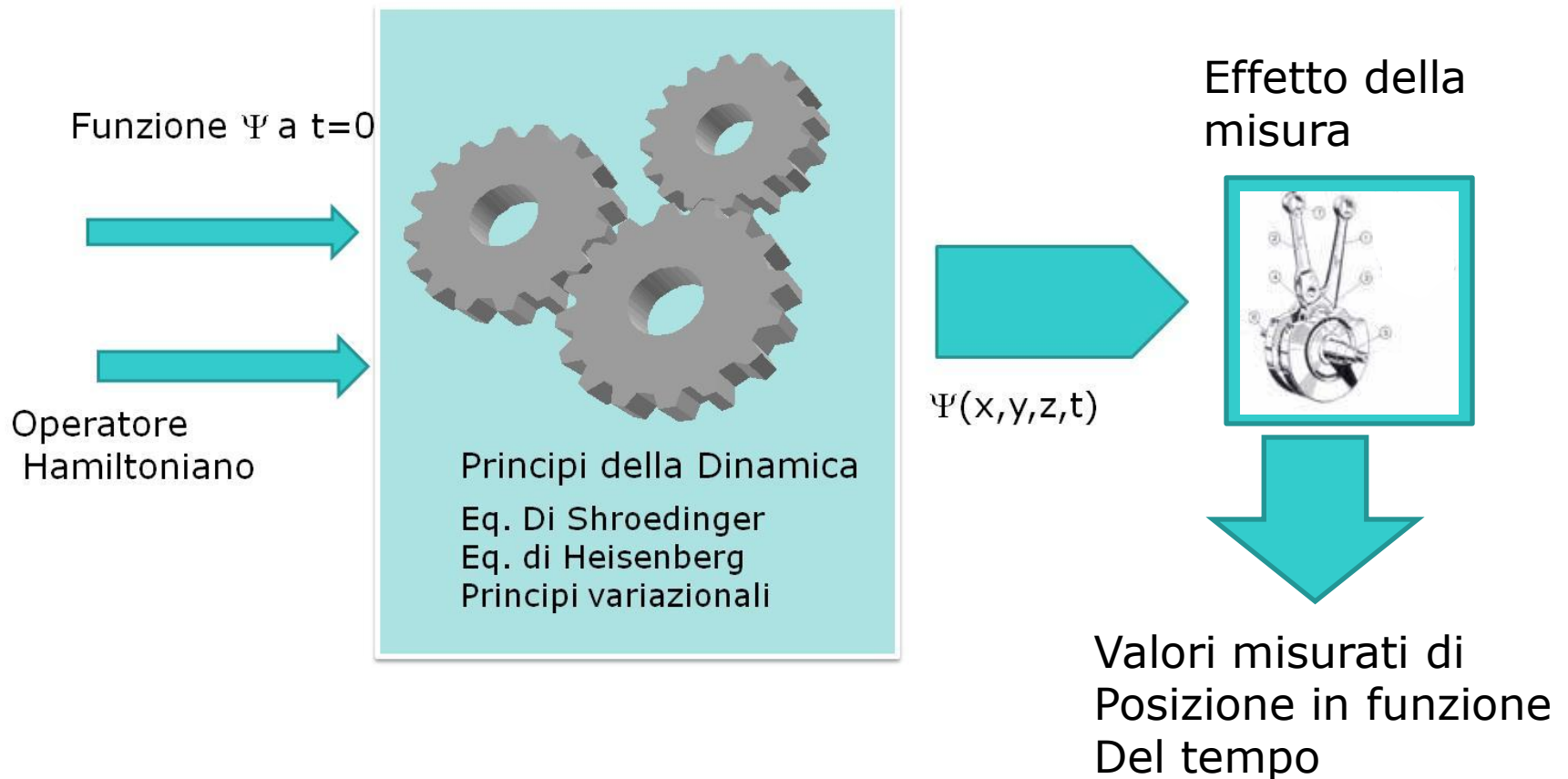
Operatore di Hamilton
o Hamiltoniano ha le dimensioni
Di una energia

Come le leggi di natura in fisica classica sono nella
forma di leggi di forza, così in fisica quantistica
Sono nella forma di operatori Hamiltoniani

Per una particella sottoposta ad una forza di tipo classico con
Potenziale $V(x, y, z)$ si ha

$$\hat{\mathbf{H}} = -\frac{\hbar^2}{2m} \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] + V(x, y, z)$$

Il Macchinino Quantistico



La Natura è Strana

Se esiste una distribuzione di probabilità esiste
Una deviazione statistica intrinseca.

L' errore di una qualsiasi misura è quindi

$$\Delta_{TOT} x = \underset{\uparrow}{\Delta}_{Mis} x + \Delta_H x \underset{\nwarrow}$$

Strumento

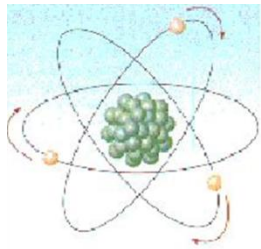
Stato del Sistema (Y)

Se consideriamo poi la misura simultanea di una
coordinata e della relativa velocità si ha

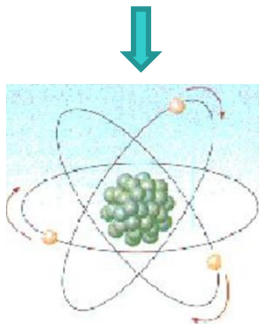
$$\Delta_H x \Delta_H v_x \geq \frac{\hbar^2}{2m}$$

Molto Strana

Il principio di indeterminazione di Heisenberg



↑
Atomi nelle
Stesse
condizioni



Misura di posizione su un atomo
di idrogeno sulla terra $\Delta_H x$



$$\Delta_H x \Delta_H v_x \geq \frac{\hbar^2}{2m}$$



Misura di posizione su un atomo
di idrogeno sulla plutone $\Delta_H v_x$

L'Electrone non sta mai Fermo

$$\Delta_H x \Delta_H v_x \geq \frac{\hbar^2}{2m} \Rightarrow x = 0 \text{ e } v_x = 0 \quad \text{IMPOSSIBILE}$$

Una variabile è "Costante" se $|Y(t)|$ è costante in t
(dipende solo dalla posizione)

SE LA POSIZIONE E' "COSTANTE" SI PARLA DI
STATI STAZIONARI

Questi sono stati che non evolvono con il tempo, quindi

**IN NATURA SONO GLI STATI CUI I SISTEMI
TENDONO SPONTANEAMENTE**

Il Macinino si Semplifica

L'intera $Y(t)$ deve allora dipendere da t in modo che il tempo sparisca nel modulo

$$Y(t, x, y, z) = J(x, y, z) \left[\cos\left(\frac{E}{\hbar} t\right) - i \sin\left(\frac{E}{\hbar} t\right) \right]$$



$$i \hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(t, x, y, z) = \hat{\mathbf{H}} \Psi(t, x, y, z)$$



$$E \phi(x, y, z) = \hat{\mathbf{H}} \phi(x, y, z)$$

Dimensionalmente E è una energia ed assume il significato di energia dello stato stazionario, che risulta completamente determinata,

Particelle Legate – Livelli discreti

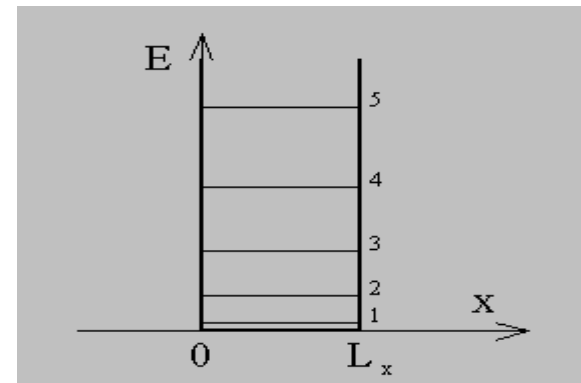
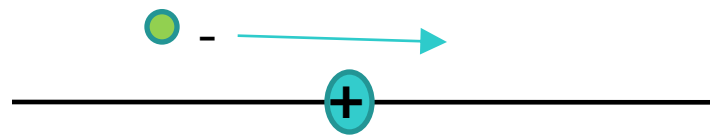
Ci sono forze attrattive e cerco gli stati stazionari

Esempio

Elettrone che oscilla in un filo con un centro positivo (antenna lineare)

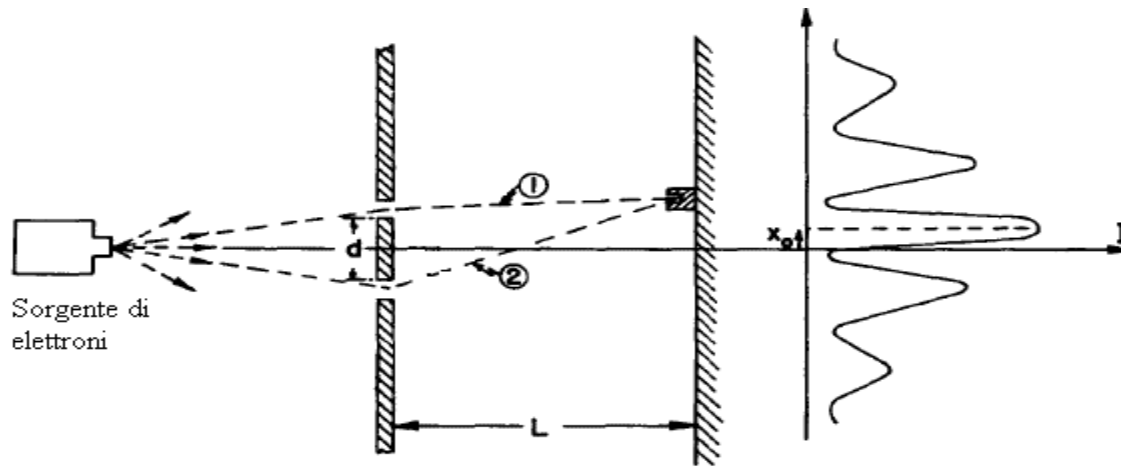
$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{q}{x}$$

potenziale



Ottengo che l'energia può assumere solo alcuni valori,
In genere indicizzati con un numero intero detto
“numero quantico”

Onde o Particelle? (Particelle o Onde?)



Interferenza di Fasci Di Elettroni

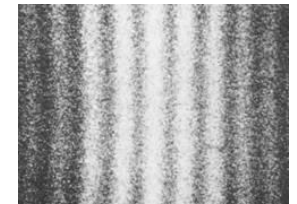


Figura di interferenza tra elettroni misurata

Eppure $Y(x)$ sembra un'onda, l'equazione del moto sembra una equazione d'onda??



La particella è rappresentata da un campo di probabilità che si propaga Per onde



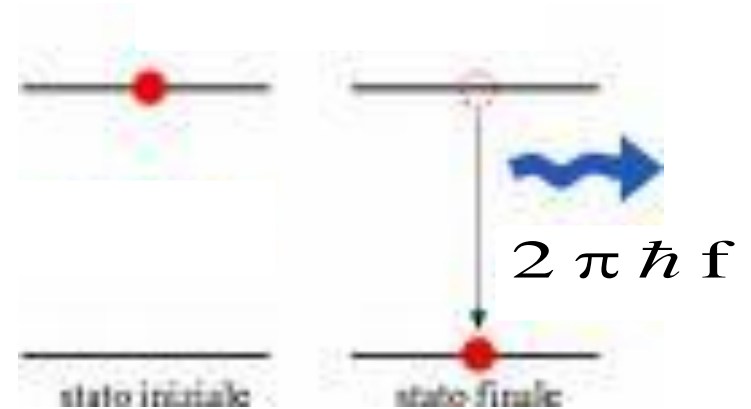
E le Onde Elettromagnetiche?

Onde elettromagnetiche sono emesse ed assorbite nelle transizioni tra stati stazionari

Quindi a "pacchetti" di uguale energia, cioè uguale frequenza

$$E = 2 \pi \hbar f = 2 \pi \hbar \frac{c}{\lambda}$$

Quindi pacchetti di energia si propagano per onde, come le onde di probabilità



Il modello onda-particella vale anche per la luce
Fotoni: Particelle di Luce

Il Fotone: ma che particella è?

Velocità: sempre uguale a c ed esattamente determinata

Posizione: Completamente indeterminata

Appare (viene emesso) e **scompare** (viene assorbito)

Si tratta di una particella necessariamente relativistica di un nuovo tipo (non somiglia certo ad una pallina<)

Ne discuteremo a fondo quando convertiremo la teoria
In una teoria relativistica

Un Punto non può Ruotare

Elettroni ed altre particelle hanno un momento magnetico

Ma come può un PUNTO ruotare?

Non può: si tratta di una proprietà propriamente Quantistica:

TALE MOMENTO E' DETTO SPIN.

Lo Spin in una direzione scelta come riferimento può essere o un multiplo intero o semintero di una costante S_0 .

LEPTONI O ANDRONI

Un Principio Misterioso

LEPTONI con gli stessi numeri quantici (spin compreso) non possono occupare lo stesso stato stazionario

Ma Funziona?

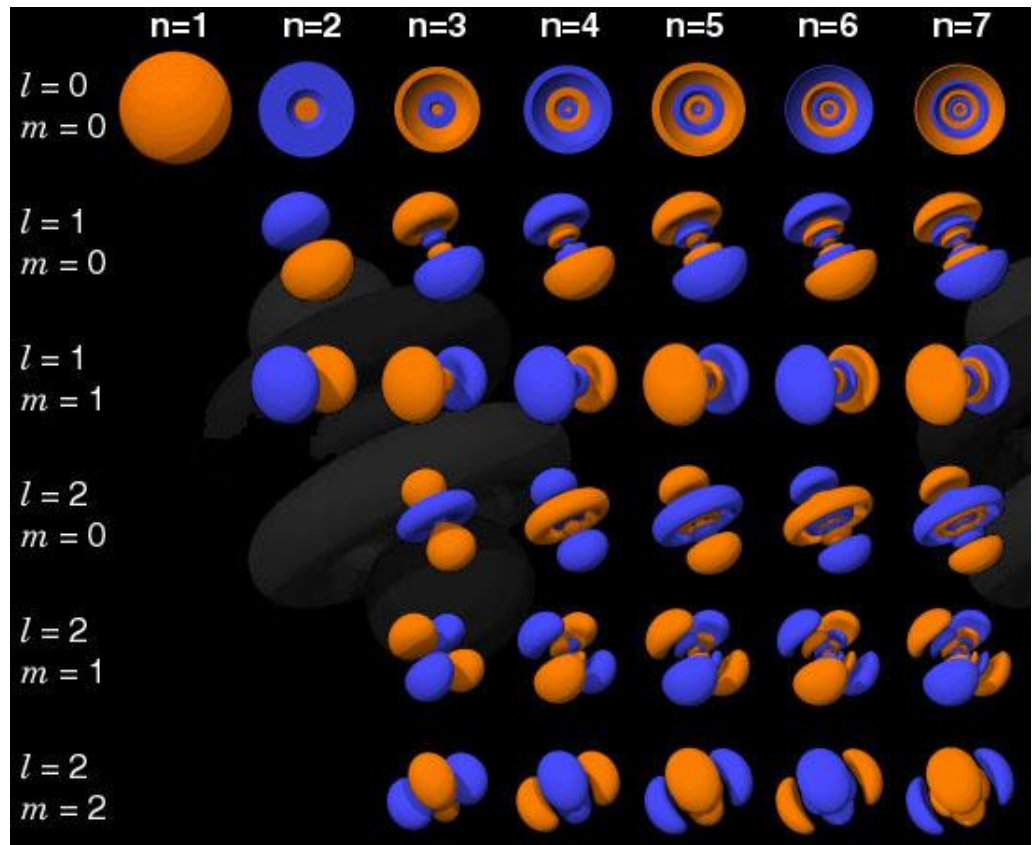
- L'Atomo di Idrogeno
- La Tavola Periodica
- La Chimica: legami e reazioni
- La Catastrofe dell'Ultravioletto
- Molte Applicazioni

L'Atomo di Idrogeno un protone lega un elettrone !

gli stati stazionari si calcolano con carta e penna

$$E_n = \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}$$

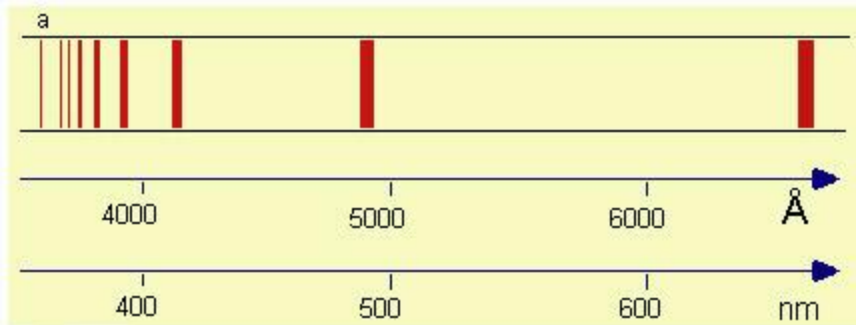
Un elettrone in uno stato stazionario ovviamente non emette



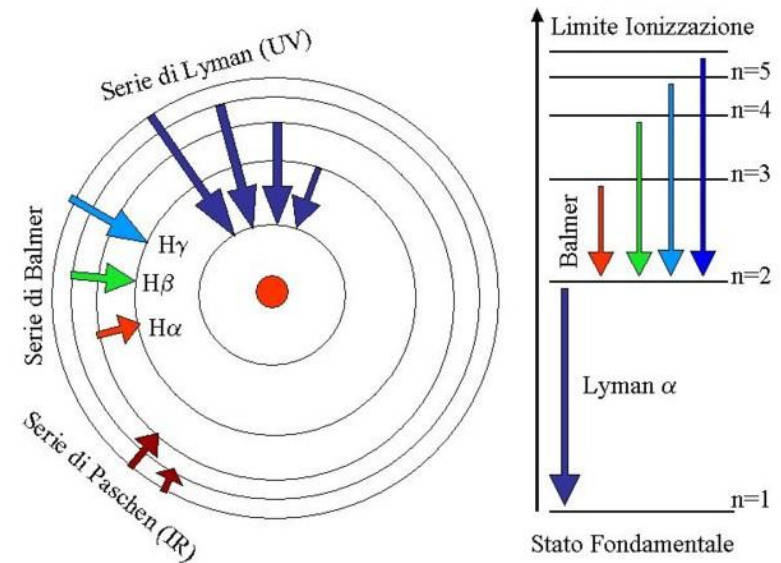
Orbitali dell'atomo di Idrogeno

Lo Spettro dell'Idrogeno (finalmente)

La teoria conferma completamente le misure
Fornendo lo spettro di emissione discreto osservato



Spettro di emissione dell'idrogeno
Nel visibile



Livelli energetici dell'atomo di
idrogeno

Riempiamo Uno per uno gli orbitali

Tavola Periodica degli Elementi

1 IA	Nuovo Originale																18 VIIIA																																																												
1 H Idrogeno 1.00794																	2 He Elio 4.002602																																																												
2 Li Litio 6.941	3 Be Berillio 9.012182																	4 He Elio 4.002602																																																											
3 Na Sodio 22.989770	4 Mg Magnesio 24.3050	5 Al Alluminio 26.981538	6 Si Silicio 28.0855	7 P Fosforo 30.973761	8 S Zolfo 32.06	9 Cl Cloro 35.453	10 Ar Argon 39.948	11 K Potassio 39.0983	12 Ca Calcio 40.078	13 Sc Scandio 44.955910	14 Ti Titanio 47.887	15 V Vanadio 50.9415	16 Cr Cromo 51.9961	17 Mn Manganese 54.938049	18 Fe Ferro 55.8457	19 Co Cobalto 58.933200	20 Ni Nichel 58.6934	21 Cu Rame 63.546	22 Zn Zinco 65.409	23 Ga Gallio 69.723	24 Ge Germanio 72.64	25 As Arsenico 74.92160	26 Se Selenio 78.96	27 Br Bromo 79.904	28 Kr Kriptone 83.798	29 Rb Rubidio 85.4678	30 Sr Stronzio 87.62	31 Y Ittrio 88.90585	32 Zr Zirconio 91.224	33 Nb Niobio 92.90638	34 Mo Molibdeno 95.94	35 Tc Technezio 98	36 Ru Rutenio 101.07	37 Rh Rodio 102.90550	38 Pd Palladio 106.42	39 Ag Argento 107.8682	40 Cd Cadmio 112.411	41 In Indio 114.818	42 Sn Stagno 118.710	43 Sb Antimonio 121.760	44 Te Tellurio 127.60	45 I Iodio 126.90447	46 Xe Xeno 131.293	47 Cs Cesio 132.90545	48 Ba Bario 137.327	49 La Lantanio 138.9055	50 Ce Cerio 140.116	51 Pr Praseodimio 140.90765	52 Nd Neodimio 144.24	53 Pm Promezio 145	54 Sm Samario 150.36	55 Eu Europio 151.964	56 Gd Gadolino 157.25	57 Tb Terbio 158.92534	58 Dy Dysprosio 162.500	59 Ho Olimio 164.93032	60 Er Erbio 167.259	61 Tm Termio 168.93421	62 Yb Iscandio 173.04	63 Lu Lutetio 174.967	64 Fr Francio 223	65 Ra RADIO 226	66 Ac Attinio 227	67 Th Torio 232.0381	68 Pa Protattinio 231.03688	69 U Uranio 238.02891	70 Np Nettuno 237	71 Pu Plutonio 244	72 Am Americio 243	73 Cm Curio 247	74 Bk Berkelio 247	75 Cf Californio 251	76 Es Einsteinio 252	77 Fm Fermio 257	78 Md Mendelevio 258	79 No Nobelio 259	80 Lr Lawrencio 262

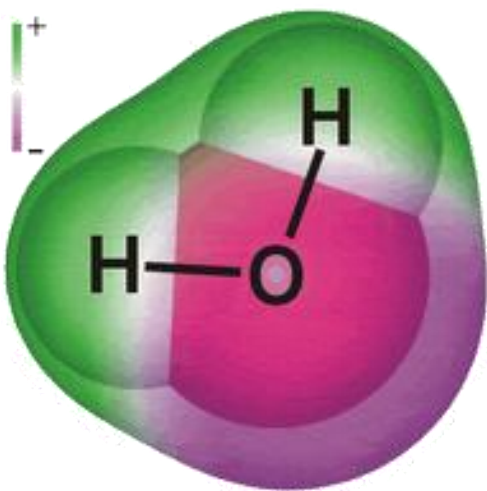
- Metalli alcalini
- Metalli alcalino terrosi
- Metalli del blocco d
- Lantanidi
- Attinidi
- Metalli del blocco p
- Nonmetalli
- Gas nobili
- Solidi
- Liquidi
- Gas
- Artificiali

Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

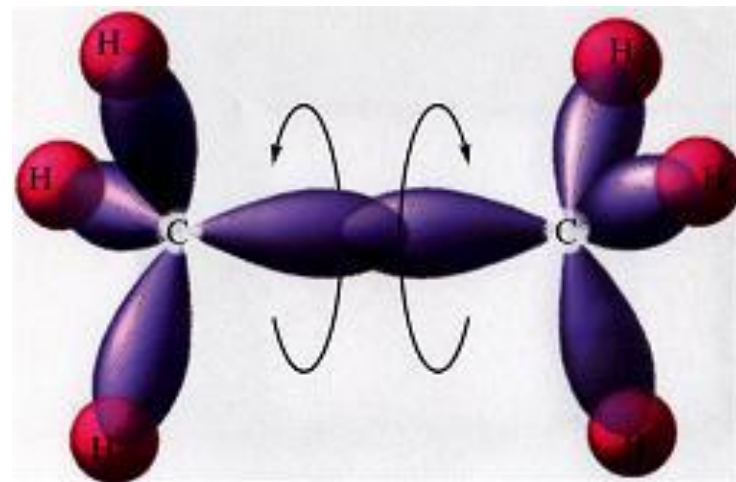
Nota: il sotto gruppo dei numeri 1-18 è stato adottato nel 1984 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli equivalenti latini di quei nomi.

Design Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com) <http://www.dayah.com/periodic>

La Chimica si riduce alla Fisica



Legame idrogeno in una
Molecola di acqua rappresentato
Tramite gli orbitali molecolari

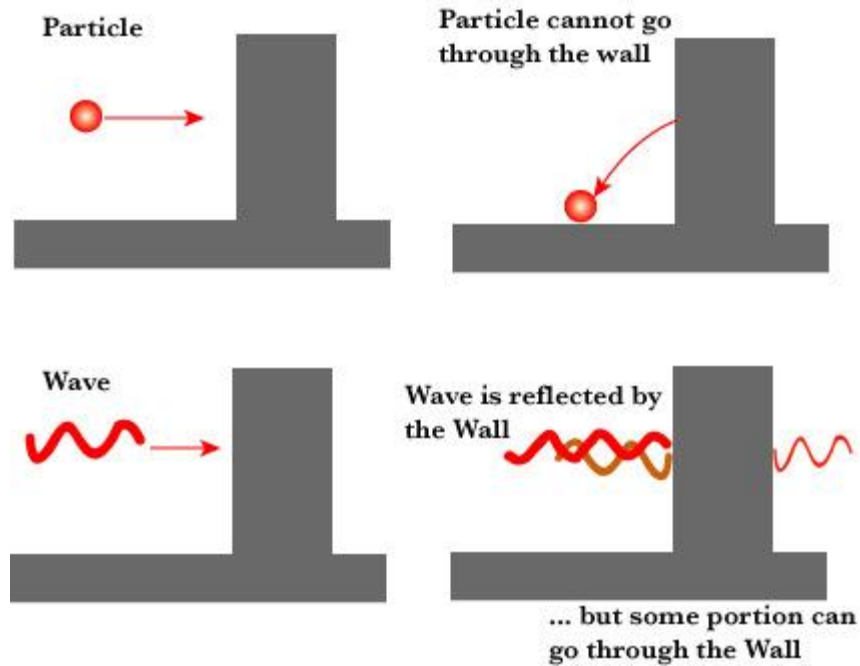


Rappresentazioni grafiche dell'orbitale
molecolare σ del legame C-C dell'etano,
per sovrapposizione di orbitali sp^3 . Le
proporzioni sono state alterate per
evidenziarlo

Ci Passa o non Ci Passa?

Effetto Tunnel

TUNNEL EFFECT





Ed Ancora

Il Transistor ed i circuiti integrati

Il laser ed i sistemi in fibra ottica

Gli amplificatori a microonde dei radar

I Fotodiodi delle cellule fotoelettriche

Le celle solari

.....