

# Il concetto di modello

*Esperienza, modelli, teorie*

# Una scienza sperimentale

Fisica: indagine dell'universo

Per molto tempo: parte della filosofia

*Riflessione sulla realta' tangibile, fatta in base a preconcetti astratti*

Dal 1600: nascita della scienza

*Riflessione sulla realta' tangibile, fatta in base all'evidenza sperimentale*

# Il cambiamento

Osservazione quantitativa della realtà'

Quindi: uso della matematica

*Il libro della Natura e' scritto in caratteri matematici (Galileo)*

Economia di ipotesi e di concetti

*Entia non sunt multiplicanda sine necessitate (Ockham)*

Separazione fra scienza e filosofia

# Tuttavia...

Dati sperimentali: cosa vuol dire interpretarli?

*Organizzarli per verificare se rispettano uno schema preesistente*

Quindi: di fatto, l'interpretazione dei dati sperimentali richiede il confronto con un modello

*Per quanto detto prima, il modello fa uso della matematica*

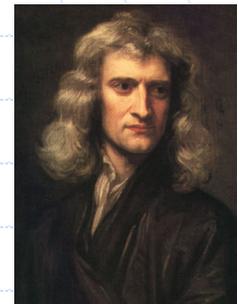
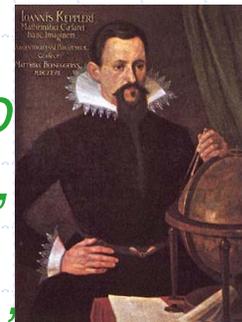
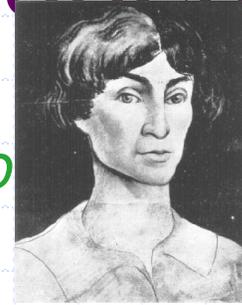
# Esempio: il moto dei pianeti

**Copernico:** Le orbite dei pianeti sono circonferenze con il Sole nel centro

**Tycho Brahe:** Sì, ma dai dati sembra che il sole non sia proprio nel centro

**Keplero:** No, i dati sperimentali dicono che le orbite non sono cerchi, ma ellissi, con il sole che sta in uno dei fuochi

**Newton:** Sì, e questo accade perché sono attratti dal Sole con una forza inversamente proporzionale al quadrato della distanza



# Modelli e matematica

## Copernico:

*Intuizione, scambio di ruoli fra Terra e Sole  
Modello (per antitesi): sistema tolemaico*

## Tycho Brahe:

*Accuratezza delle misure, uso della matematica  
per organizzazione dei dati accumulati*

## Keplero:

*Uso della matematica per formulare leggi*

## Newton:

*Modello: moti celesti come moti terrestri*

# Il ruolo dei modelli

Per il moto planetario:

Copernico: *modello mentale*

Newton: *modello matematico*

Per passare dall'uno all'altro e' necessario inventare un insieme di concetti (*grandezze*) fra i quali sussistono relazioni matematiche (*leggi fisiche*) da confrontare con i dati

# Il modello del moto planetario

## Grandezze fisiche:

*Tempo, posizione, velocità,  
accelerazione, massa, forza*

*Concetti introdotti  
dalla descrizione  
dei moti terrestri*

## Leggi fisiche:

*Legge fondamentale della  
dinamica*

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} = m \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2}$$

*Legge di gravitazione  
universale*

$$\mathbf{F} = G \frac{mM}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

# Una realta' complessa...

Nel suo insieme, il Sistema Solare e' un sistema fisico molto complicato

**Sistema a molti corpi**

*Sole, 9 pianeti, decine di satelliti, pianetini, comete, ...*

Legge di gravitazione universale:

*forza fra due punti dotati di massa*

**Corpi non puntiformi**

*Forme non sferiche+ dimensioni del Sole, dei pianeti etc*

# ...e una descrizione semplificata

Cosa accade se trascuriamo tutte le complicazioni?

Per il moto orbitale della Terra attorno al Sole:

Trascuriamo tutti gli altri corpi celesti

*Il problema si riduce a quello di 2 corpi*

Consideriamo i due corpi come puntiformi

*Trascuriamo le forze di marea, la rotazione diurna*

Consideriamo infinita la massa del Sole

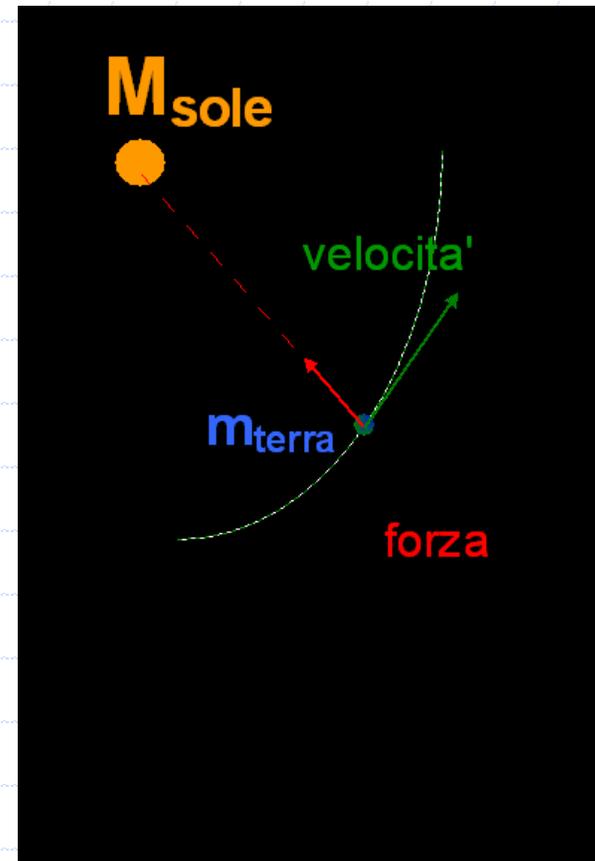
*Trascuriamo il moto del centro di massa*

# Lo schema semplificato

Riduciamo il problema al moto di un punto in un potenziale esterno

Ritroviamo le leggi di Keplero  
*(post-dizione)*

Troviamo *nuove relazioni* fra  
massa e raggio orbita  
raggio e periodo orbitale  
*(pre-dizione)*



# Le leggi di Keplero - *post*

Le orbite dei pianeti sono ellissi con il Sole in uno dei fuochi

*Conseguenza della legge di gravitazione  $F \propto 1/r^2$*

Il raggio vettore spazza aree uguali in tempi uguali

*Conseguenza della forza centrale*

Il quadrato del tempo di rivoluzione e' proporzionale al cubo della distanza

*Conseguenza della legge di gravitazione  $F \propto 1/r^2$*

# Le leggi di Keplero - *pre*

Nelle leggi di Keplero nulla ci consente di:

*misurare la massa della Terra, della Luna, ...*

*predire il tempo di ritorno di una cometa*

*...*

Possiamo pero' farlo alla luce della teoria newtoniana:

# Cosa abbiamo perduto?

Il modello non descrive molti particolari di grande importanza:

*Rotazione diurna della Terra ( e di altri corpi)*

*Effetti di marea (modifica dell'orbita)*

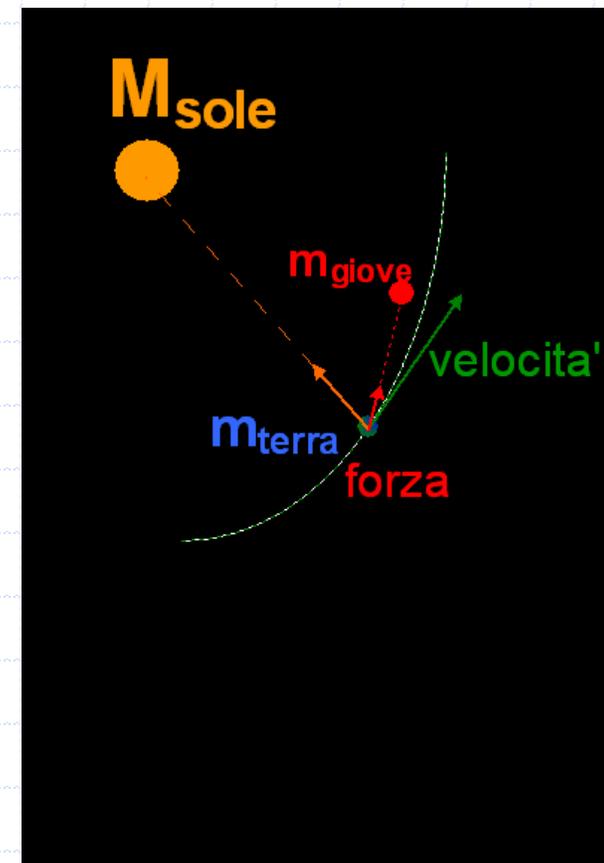
*Effetti di molti corpi (modifica dell'orbita etc)*

Tutti questi effetti sono di fatto poi spiegati dalla legge di gravitazione universale, che peraltro non si sarebbe potuta scoprire se si fosse tenuto conto di essi!

# Una descrizione piu' accurata -1

Effetto degli altri corpi  
(es. Giove):  
*anomalie nell'orbita*

*Scoperta di Nettuno: massa  
ed orbita dedotte dalle  
anomalie dell'orbita di Urano*



# Una descrizione piu' accurata -2

Effetto delle masse non puntiformi: *se la forma dei corpi non e' sferica, l'espressione della forza e' piu' complicata*

Risultato: l'orbita non e' piu' chiusa, ossia il *perielio* ruota lentamente (effetto piu' marcato per Mercurio)



**Orbita a rosetta**

# Il ruolo del modello

Passo essenziale nella costruzione della teoria

Schematizzazione, ossia riduzione del problema allo schema piu' semplice

Indispensabile per cogliere l'essenziale di un problema

In questo esempio: la successiva teoria non invalida il modello, ma lo completa e di fatto lo convalida

# Esempio: l'atomo di Bohr

Modelli atomici: costruiti fra '800 e '900  
tentando di spiegare diversi fatti  
sperimentali

Modello di Bohr: decisivo per il passo  
decisivo verso la nuova fisica microscopica

Successivamente superato

Ruolo diverso rispetto al caso precedente

# Emissione e assorbimento

Problema classico della teoria  
elettromagnetica

*Una carica accelerata emette  
radiazione elettromagnetica*

*Radiazione accelera una  
carica, che assorbe energia*

Quindi: scambio di energia e  
quantita' di moto fra  
campo elettromagnetico e  
cariche in movimento

Lo *spettro* della  
radiazione e.m.:  
*l'insieme delle*  
*frequenze che*  
*compongono la*  
*radiazione stessa*

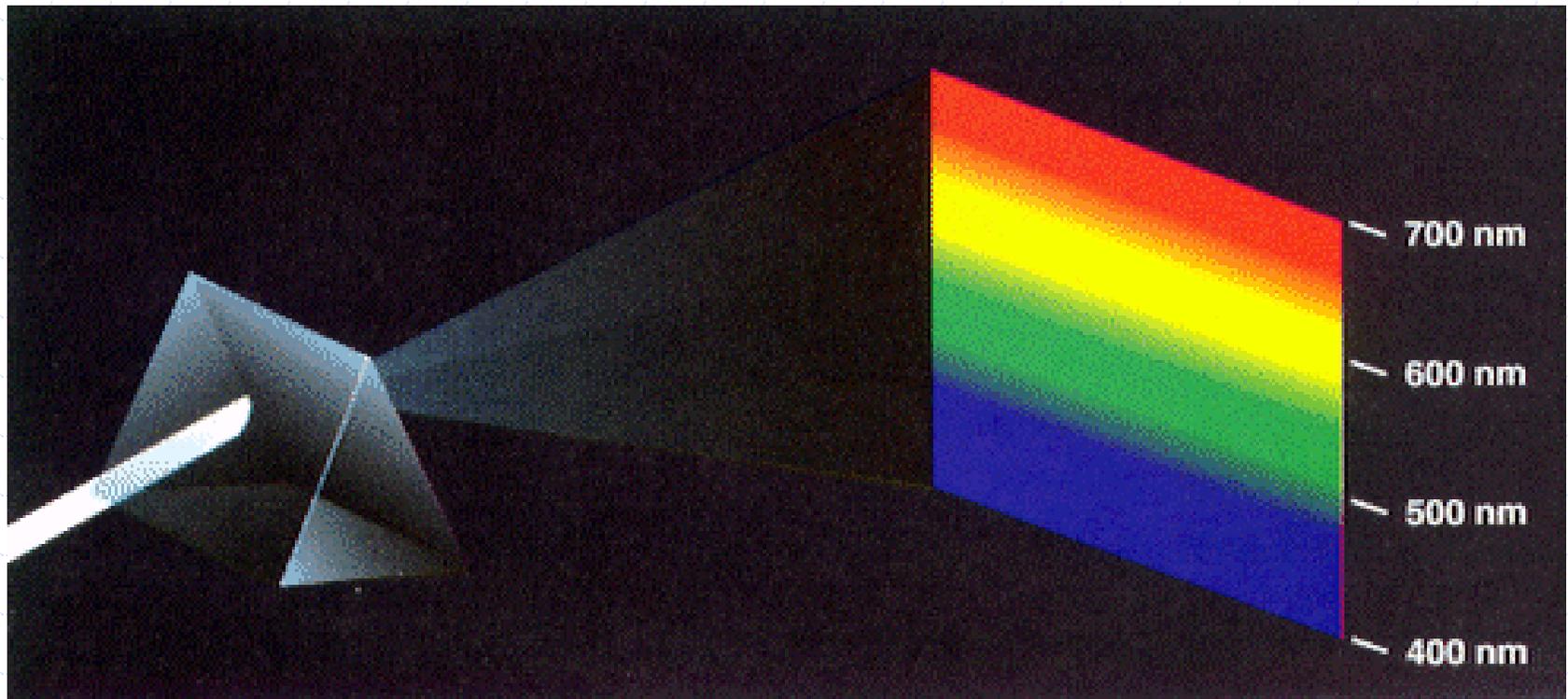
# La situazione al tempo di Bohr

Evidenza per *spettri a righe* di emissione e assorbimento (vari spettroscopisti: Balmer, Lyman, ...)

Evidenza per l'esistenza del *nucleo* (Rutherford, Geiger e Marsden)

Evidenza per la *struttura a quanti* della radiazione luminosa (Planck, Einstein)

# Lo spettroscopio



Esempio: analisi della luce bianca

# Struttura atomica e righe spettrali

Luce attraverso gas: → righe oscure  
caratteristiche → *assorbimento*

Gas ad alta temperatura: righe luminose  
caratteristiche → *emissione*

→ Per un dato gas:

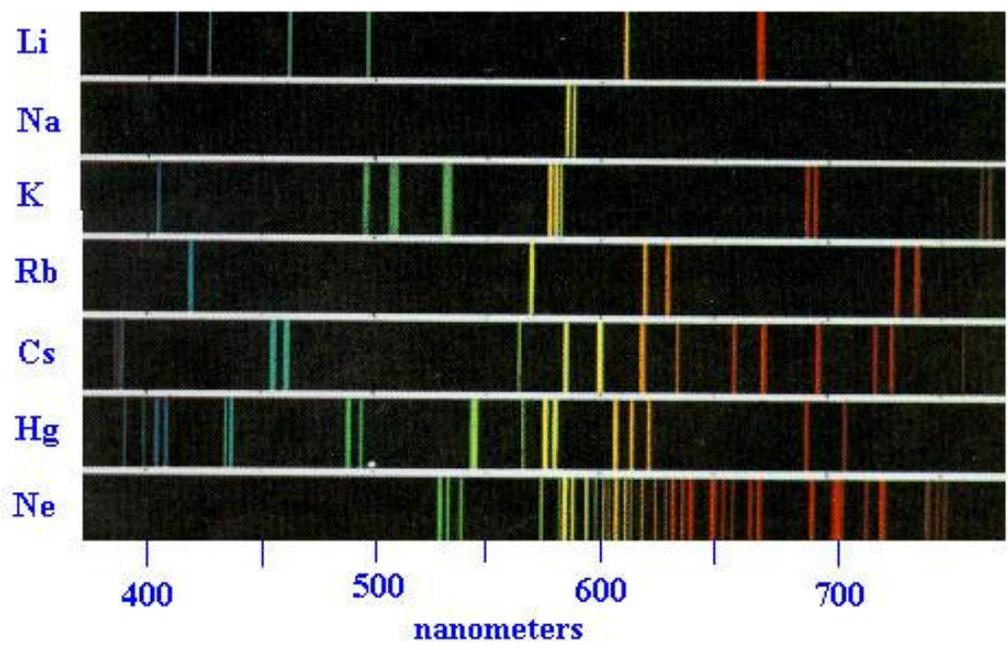
*righe luminose = righe oscure*

Come un'impronta caratteristica di ogni gas

# Spettri di emissione

## Black Body and Line Spectra

Black Body



# L'atomo nucleare

## Esperimenti di Rutherford e Geiger-Marsden

*Urti ad energia elevata fra particelle  $\alpha$  e nuclei di oro; sensibili alla carica elettrica nell'atomo*

*Escludono modelli a carica positiva diffusa*

*Favoriscono un modello a carica positiva concentrata*

*Ipotesi: nucleo atomico positivo, con dimensioni molto minori di quelle atomiche*



# Quanti di luce

Fra fine '800 e inizio '900:

Complesso di fenomeni contraddittori  
forzano un drastico cambiamento  
nell'interpretazione delle proprietà della  
radiazione

Planck, Einstein:

*La luce di una data frequenza può venire  
emessa o assorbita solo per quantità  
discrete  $E=h\nu$*

# Bohr - Primo passo

○ L'interpretazione dei dati spettroscopici

*La luce emessa o assorbita da ogni atomo presenta solo alcune frequenze caratteristiche  
Le righe(=frequenze) di assorbimento sono identiche a quelle di emissione*

Per l'idrogeno (caso piu' semplice) si ha:

$$\nu_{nm} = R_H \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad m, n \text{ interi}$$

# Bohr - Secondo passo

La presenza di carica elettrica nell'atomo

*Gli atomi non sono indivisibili, ma sono sistemi composti*

*I componenti a carica positiva sono dotati di massa elevata e dimensioni molto ridotte*

Modello di Rutherford:

*atomo = sistema "planetario"*

# Problemi del modello planetario

Il modello "planetario" di Rutherford prevede che - p.es. nel caso dell'idrogeno - l'elettrone circoli intorno al nucleo; la forza in gioco e' la normale forza coulombiana, attrattiva fra cariche opposte.

*Ma il moto circolare e' un moto accelerato...  
...e una carica accelerata emette radiazione e.m.,  
quindi perde continuamente energia.  
Come fa l'elettrone a restare sulla sua orbita?*

# Bohr - Terzo passo

Ipotesi fondamentale:

*l'elettrone puo' stare in un tipo di stato dinamico particolare, nel quale non emette radiazione (stati stazionari)*

Questo non si giustifica: assunzione *ad hoc*

# Il modello di Bohr

Ipotesi già consolidata:

L'energia di un'onda e.m. può assumere solo multipli interi di  $h\nu$  → *Successione di valori discreti*

Nuova ipotesi:

Anche l'energia dell'elettrone nel campo del nucleo può assumere solo valori discreti (legati alla *quantizzazione del momento angolare*) → *Successione di livelli energetici*

# Livelli e righe

Il calcolo, piuttosto semplice, fornisce allora un'espressione per i livelli:

$$E_n = -\frac{a}{n^2}, \quad n = 1, 2, \dots$$

in cui la costante  $a$  è in termini di quantità note (tutte costanti universali!). La differenza fra due livelli qualsiasi è:

$$E_n - E_m = -\frac{a}{n^2} - \left(-\frac{a}{m^2}\right) = a \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

# Emissione e assorbimento

Ricordiamo:

L'atomo scambia energia con il campo e.m.

*Questo scambio non avviene mentre l'elettrone e' in uno stato stazionario (ipotesi ad hoc)*

*Invece, l'emissione e l'assorbimento avvengono in occasione dei salti dell'elettrone da uno stato stazionario ad un altro (ipotesi ad hoc)*

# Il gran finale ....

Ma Planck e Einstein hanno trovato che

$$E = h\nu \rightarrow \nu_m = \frac{a}{h} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Allora possiamo spiegare la successione delle frequenze di emissione e assorbimento!  
In realta' piu' di una, e anche predirne di nuove..

# Il ruolo del modello

Questa volta il modello verra' superato da una nuova teoria, assai diversa da quella classica

Il suo ruolo e' stato quello di creare una nuova immagine mentale della struttura atomica, facendo uso di concetti notie aggiungendo ipotesi ad hoc

Merito: molte delle nuove idee (livelli discreti di energia, stati stazionari, salti quantici fra livelli) vengono raccolte dalla nuova teoria