

# Ottica

## Ottica antica

**Pitagorici:** i raggi escono dall'occhio vanno all'oggetto e portano informazione sull'oggetto.(raggi visibili)

**Scuola Atomica:** da ciascun fisico si staccano piccoli corpuscoli uguali a quell'oggetto, entrano nella pupilla nostra, fanno capire l'oggetto.

**Teoria Platonica:** raggio visibile (teoria dei raggi) come teoria di Pitagorici + Atomici → interazione fra due raggi.

**Aristotele:**

**Euclide(4° secolo a.c.):** Ottica o Perspectiva(teoria della visione), Catottrica( teoria delle immagini speculari)

1. i raggi sono una linea retta di cui i mezzi toccano le estremità: sullo studio della propagazione

2. tutto ciò che si vede, si vede secondo una direzione rettilinea: sullo studio della riflessione. La natura in genere segue via più breve: Sul principio di minimo:

**Tolomeo(II° secolo d.c.):** Accettava l'ipotesi dell'emissione di raggi da parte dell'occhio. Compilazione di una tabella di valori angolari abbastanza precisi per la rifrazione aerea e acqua, il tentativo di spiegare il potere d'ingrandimento delle sfere di vetro riempite d'acqua. Era una cosa simile come le leggi di Snell.

## Ottica nel mondo Arabo:

**Ipotesi Alhazen(10° secolo):** raggi visibili come nell'ottica di Euclide

Definitivamente demolita la vecchia teoria della scorza che interi oggetti dovrebbero staccare da sé stessi e mandare nella piccola pupilla dell'occhio.

## Medioevo

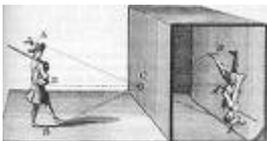
**Tommaso D' Aquino-** la luce è sostanzialmente trasparente.

**Vitellione (Witelo) (Polonia 1230/35 - 1275 c.a):** Primo libro che porta vari teoremi :

La *Perspectiva* di Witelo si compone di dieci libri, il primo dei quali fornisce le conoscenze matematiche necessarie per lo studio dei problemi ottici, svolto nei nove libri successivi; questi, in cui predominano le considerazioni geometriche, affrontano un vasto campo d'argomenti, dai caratteri della propagazione della luce alla teoria della visione, ai fenomeni della riflessione e della rifrazione. La *Perspectiva* di Witelo fu uno dei testi base sull'ottica fino al XVII.

**Keplero(1571-1630):** cerca di studiare il meccanismo della visione.

Come nella camera oscura , l'immagine risulta un oggetto rovesciato ⇒ avviene un processo neuro-radici che produce immagini diritte come noi vediamo.



1610: keplero riesce ad ottenere un cannocchiale costruito da Galileo che gli fa finalmente apprezzare l'importanza delle lenti. Dopo Keplero pubblicò un libro " La teoria delle lenti " che costituì il primo testo di ottica geometrica, attestare uso delle lenti come strumento scientifico.

Galileo Galilei(1564-1642): spiega la funzione del cannocchiale, la lente può cambiare la forma degli oggetti, ma non cambia loro essere, ciò che è l'immagine non è falsa.

Velocità della luce: Keplero- la luce si muove a velocità infinita.

**Riguardo ai colori: keplero- preesata? Sulle sorgenti, (ci porta informazioni)**

Riguardo alla riflessione in uno specchio: agisce come un getto.

Non c'è rapporto quantitativo nella riflessione, ancora è rifratto

**Snell(1585-1626):** la legge della rifrazione ( o legge di Snell-Cartesio)  
Snell arrivò alla corretta espressione della formula che Keplero aveva proposto  
( $i/R=\text{costante}$ )

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{costante}$$

**Cartesio(Des Cartes 1596-1650):** Elaborò tre modelli contraddittori della "luce"

**1637: Cartesio pubblicò la legge di Snell, dopo sei anni dalla sua morte.**

1. La luce è composta di particelle in movimento, come palle da tennis.
2. La luce è una specie di fluido che passa attraverso i pori di un mezzo. Come il mosto in puntino passa attraverso le bucce ed i semi.
3. La luce è costituita da onde che esercitano pressione su un mezzo elastico che lo pervade tutto.( Cartesio considerava velocità della luce infinita→contraddizione delle ipotesi di un mezzo, Invece ipotesi di Gallilei che luce ha una velocità finita.)

I colori sono dovuti da moti rotatori, dalla velocità, diversa delle particelle.

**Padre Grimaldi(Bologna 1618-1663):** ha osservato il fenomeno di doppia azione, diffrazione, fase incontra fase(→non riesce spiegarlo con l'ipotesi corpuscolare )  
Con osservazioni sperimentali, arrivò ad una scoperta d'importanza fondamentale "la diffrazione della luce"

La luce naturale può assumere colorazioni per opportune riflessioni o diffrazioni, nessuno dei tre fenomeni è indispensabile per ottenere luce colorata e quindi la luce bianca deve avvenire nella luce stessa.

Fu il primo a vedere l'influenza del diametro delle fenditure sulle caratteristiche delle immagini proiettate nella camera oscura e sulla generazione di colorazioni spettrali dovute alla diffrazione.

1665: fu stampato il suo libro, dal titolo "physico-mathesis de lumine"

L'ipotesi corpuscolare non riesce spiegare questo fenomeno ondulatorio della luce sia nella materia che in moto.

**Fermat (15??-1665):** Spiega il principio minimo della propagazione della luce.

**Marcus Marci von Kronland(1595-1667):** uno studioso della natura dell'arcobaleno.

Il principio della corrispondenza biunivoca tra colori e rifrangibilità(colori quale "specie" che si propaga lungo i raggi⇒ influisce sulla scoperta di Newton("I giganti sulle spalle")

Arrivò anche a vedere l'indipendenza delle colorazioni dall'intensità del fascio incidente(per il medioevo i colori erano legati all'intensità luminosa del fascio)

**Fu uno dei fondatori dell'ottica ondulatoria.**

**Rober Hooke(1635-1703)** la luce si propaga come un moto vibratorio, una sostanza omogenea, una velocità costante,Vibrazione del mezzo, onda longitudinale

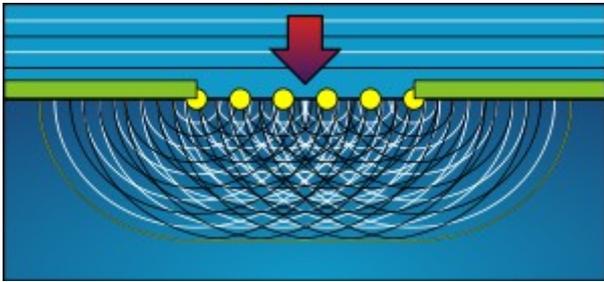
**Newton(1704):**il colore contenuto nella luce bianca è composto di vari colori, ha proprietà di frangibilità. La Luce sono corpuscoli luminosi che viaggiano.

Dal 1672-1704 non insiste più sulla teoria corpuscolare né ondulatoria.

Newton nel suo libro 1704 rappresenta vari fenomeni ma lasciò senza spiegazione la proprietà propria della luce

Ma in seguito la Scuola Newtoniana ha formulato ipotesi più vicine alla teoria corpuscolare.

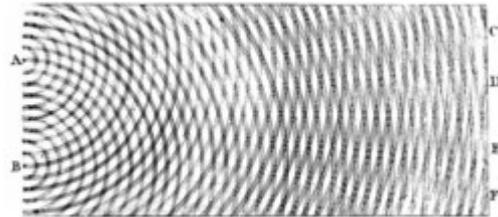
**Huygens(1629-1695):** luce come onduttore longitudinale,la luce ha velocità infinita.



**Eulero(1707-1783)** : un altro sostenitore della teoria ondulatoria.

Ha associato i colori con la frequenza delle onde e la lunghezza delle onde, onda trasversario. Per pensare l'onda trasversario, ci voleva l'elasticità del mezzo.

**Tomas Young(1773-1829)**: è un Medico, ha fatto lo studio delle due fenditure. Dimostrò l'interferenza fra due onde.(principio interferenza)



1. Riuscì a misurare la lunghezza d'onda della luce violetta, rossa , molto vicino al reale.
2. La Luce è onda trasversario- Fresnel l'ha dimostrato attraverso la polarizzazione.

⇒l'inizio18C : la luce è ondulatoria.

27.10.2009

**Joseph von Fraunhofer**:1821 costruì reticoli simili

Attraverso Reticolo di diffrazione cominciò a misurare lunghezza d'onda del visibile, 0.3micro m (violetto) - 0.7 micro m(rosso) ; ordine  $10^{-7}$ m

**William Nicol(1776-1881)**: è stato un fisico geologo Scozzese, il professore del Burgo( era professore della Maxwell)

Lo studio ottico cristallo reticolo: si comincia ad usare la luce per lo studio della struttura del materiale (microscopico)

Spettrometro(prisma Nicol): si separa la luce seconda lunghezza d'onde.

Si può sapere la sostanza chimica secondo la lunghezza d'onda della luce.

Fisso- Fucol: atti per misurare la velocità della luce nell'aria e nell'acqua.

⇒Ha fatto finire la discussione del la grandezza della velocità, cioè la velocità della luce è molto grande, ma in un numero finito.

Ha scoperto lo spostamento dalla stella lontano con la lunghezza d'onda del Rosso.

Significa allontanamento di stella a fronte del nostro pianeta.

Nasce il Settore della Spettro scopia: uno studio per sapere la sostanza della materia, la struttura, influisce anche sulla quantistica ect...

**Herze(Germania1857-1894)** : allievo della kcrihoff?

Ha mostrato il campo elettro magnetico con suo parato : dipolo oscillante - far scattare scintilla nel circuito lontano.

Onde radio: onde con lunghezza più lunga. Per comunicazioni lontane si deve utilizzare lunghezza d'onde più piccola

Composizione della luce

Maicroonda:

Infrarosso:la temperatura del corpo vivente emette onde elettromagnetiche

Ultravioletto: più potente, capace di distruggere le cellule.

Raggi X: ha dato sviluppo alla scienza e all' industria.

Luce: identificata come onda elettromagnetica.



Unificazione :

newton : oggetti terrestri- oggetti celesti.(due scale diverse ma può applicare lo stesso la legge gravitazionale considerando la massa come punto fermo)

Maxwell: tipo elettrico, tipo magnetico ,Conduce due forze con stessa forma attraverso l'equazione dell'elettromagnetismo(1886)

Fenomeni luminosi come fenomeni di elettromagnetismo.

## Velocità della luce nei sistemi Galileiano e Maxwellian.

La [fisica classica](#) pre-relativistica postulava l'esistenza di [spazio](#) e [tempo](#) assoluti, in particolare sia la teoria della [relatività Galileiana](#) di [Galilei](#), sia la più completa [teoria](#) di [Newton](#) prevedevano l'esistenza di un [sistema di riferimento](#) inerziale al quale potevano essere ricondotti tutti gli altri attraverso le trasformazioni di Galileo. Tale sistema era solitamente identificato con le [stelle fisse](#)

Ciò vuol dire che in un esperimento le lunghezze misurate (per esempio di un regolo) o gli intervalli di tempo (tra due eventi, come per esempio l'accensione di due lampadine) sono gli stessi. Allo stesso modo, in [meccanica classica](#), due eventi simultanei in un sistema di riferimento lo sono in ogni sistema di riferimento inerziale.

La teoria dell'elettromagnetismo elaborata da [James Clerk Maxwell](#), riassunta nelle [equazioni](#) che portano il suo nome, si scontrava tuttavia con la teoria precedentemente nota, infatti, la teoria prevedeva che le soluzioni delle equazioni di Maxwell, ossia il [campo elettrico](#) e [magnetico](#), si propagassero nello spazio ad una velocità finita e costante:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Dove  $\epsilon_0$  è la [costante dielettrica](#) del vuoto e  $\mu_0$  è la [permeabilità magnetica](#) del vuoto,  $c$  è la [velocità della luce](#).

Questo era in contrasto con la relatività Galileiana, infatti secondo questa teoria era contraddittorio che un osservatore fermo rispetto alla sorgente dell'onda misurasse la stessa velocità di propagazione rispetto ad un osservatore in moto rispetto alla sorgente: secondo la relatività Galileiana la velocità misurata da un osservatore in moto doveva rispettare la legge di [trasformazione delle velocità](#) di Galileo.

Questa contraddizione risulta dal fatto che le equazioni di Maxwell non sono [invarianti in forma](#) rispetto al [gruppo](#) delle trasformazioni di Galileo, ovvero due osservatori inerziali in moto relativo avrebbero dovuto usare equazioni diverse per descrivere i fenomeni elettromagnetici.

Per risolvere questi problemi si postulò che la propagazione del [campo elettromagnetico](#) avvenisse in un sistema di riferimento privilegiato e assoluto, ossia di un mezzo attraverso il quale le onde si propagavano che venne chiamato [etere](#). Questo mezzo doveva avere delle caratteristiche molto particolari come, per esempio, permeare tutto lo spazio senza offrire nessuna [resistenza meccanica](#) al moto dei corpi che si muovevano immersi in esso.

Iniziarono quindi degli esperimenti che tentarono di provare l'esistenza dell'etere, di testarne le proprietà e di misurarne la velocità rispetto alla Terra. Questi esperimenti si rivelarono però in contrasto con le teorie che ammettevano l'esistenza dell'etere.

Il Moto della terra non è tanto grande, si approssima come sistema inerziale (sistema ferma)  
L'Interferenza diventa un metodo importante per misurare la velocità della luce secondo l'“etere”

**Esperimento di Michelson(1852-1931)-Morley:** 1887 esperimento riguardo l'atteso movimento relativo tra la terra e l'etere. Un'invenzione d'interferometro. Per misurare

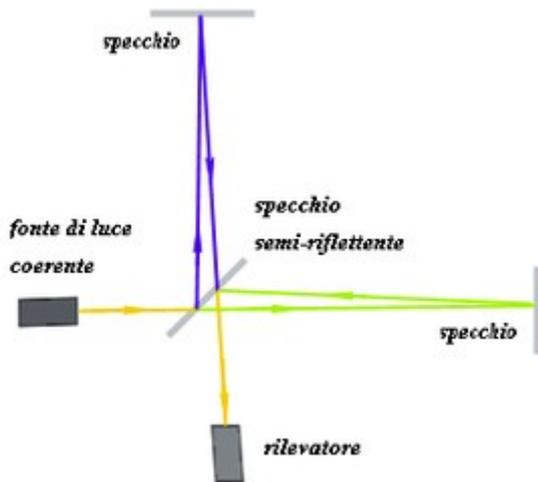
frange? Con l'Interferenza, si può calcolare il tempo, si può risalire alla velocità della luce. Un esperimento che misurò il moto della terra secondo il moto dell' "etere"

Lunghezza di cammino(treno d'onde) deve essere almeno 3m.

Due raggi hanno fatto diversi corsi, può formare interferenza .

$$\Delta\Phi = \frac{\ell}{\lambda} \frac{v}{c} = \delta \neq 0 \text{ = non è riuscita misurare interferenza.}$$

⇒ ipotesi secondo risultato; l' "etere" si muove con direzione della terra. O Non esiste "etere"



29.10.200

9

### Hendrik Lorentz(1853-1928):

1897:le Trasformazioni di Lorentz furono scoperte e pubblicate per la prima volta.

È un' iniziale ipotesi introdotta per rimuovere le contraddizioni esistenti tra elettromagnetismo e meccanica classica. È stata accettata come un' ipotesi per spiegare l'esperimento di Michelson

Le trasformazioni che rendono invarianti le equazioni di Maxwell, sono indicate con l'espressione [trasformazioni di Lorentz](#) (TL) e si ottengono in modo concettualmente semplice applicando la costanza della velocità della luce. Rimandando alla voce specifica per i dettagli, è importante comunque osservare che:

le TL non trattano separatamente il tempo e lo spazio, ma che questi vengono invece correlati tra loro; tali nuovi effetti dipendono da un termine  $\beta$  definito come  $\beta^2 = v^2 / c^2$  (dove  $v$  è la velocità del corpo e  $c$  è la velocità della luce). Tale termine diventa trascurabile per velocità non confrontabili con quelle della luce; Viene anche definito per comodità il termine

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \text{ detto } \text{fattore di Lorentz};$$

Al limite di piccole velocità, le TL si riducono alle già note di Galileo, spiegando perché negli esperimenti di meccanica classica non si possano misurare differenze.

$$\lim_{v \rightarrow 0} \gamma = 1 \qquad \lim_{v \rightarrow c} \gamma = \infty$$

Come diretta conseguenza, le TL portano a due importanti modifiche, poiché introducono il concetto di relatività in grandezze normalmente considerate assolute.

## Albert Einstein(1879-1955)

1879 nacque in Germania, di origine Ebraica.

Fino a 3-4, anni non riusciva parlare. Da piccolo mostrava curiosità. Approfondiva da solo i vari saperi. Tutta la sua famiglia si è trasferita in Italia(Pavia)1894. Ma Albert rimane da solo Monaco per finire i suoi studi. Ottenne il certificato del medico per venire dalla famiglia in Italia. Tentò di iscriversi al politecnico In Svizzera, ma non superò l'esame, fece un anno di ripetizione. Entrò al Politecnico 1895. Non essendo soddisfatto dei corsi, Albert approfondiva da solo quello che gli interessava. Per motivi economici della famiglia, cominciò a lavorare ma continuando le ricerche secondo i suoi interessi personali.

**1905:** pubblicò "Relatività speciale". O "Relatività ristretta". (la luce ha velocità costante) Nella relatività speciale, si spiega contemporaneità, contraddizione della lunghezza, contrazione dei tempi, senza nominare le trasformazioni di Lorenz,

**Relatività speciale:** si riferisce al fatto che vengono considerate trasformazioni solo tra sistemi di riferimento inerziali, escludendo quindi i sistemi accelerati, come, per esempio, quelli sotto l'azione della forza gravitazionale. Il primo postulato stabilisce la covarianza delle leggi della fisica in tutti i sistemi di riferimento, mentre il secondo stabilisce che la velocità della luce è costante in tutti i sistemi di riferimento.

**Contrazione delle lunghezze** La lunghezza  $L$  di un corpo in movimento non è invariante, ma subisce una *contrazione* nella direzione del moto, data dalla formula

$$L = \gamma^{-1} L_0 = L_0 \times \sqrt{1 - \beta^2}$$

La lunghezza massima del corpo  $L_0$  è misurata nel sistema in cui il corpo è in quiete e viene chiamata *lunghezza propria*.

**Dilatazione dei tempi** L'intervallo di tempo  $\Delta t$  tra due eventi non è invariante, ma subisce una dilatazione se misurato da un orologio in moto rispetto agli eventi. Tale dilatazione è data dalla formula

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

La durata minima dell'intervallo di tempo è misurata da un orologio solidale con gli eventi; tale intervallo  $\Delta t_0$  viene chiamato *tempo proprio*.

1911:Praga

**1916: pubblicò la teoria della Relatività Generale**( movimento nei sistemi accelerati)

Collaboratori Minkowski ( per l' aiuto in tecnica della matematica ) e Gregorio?

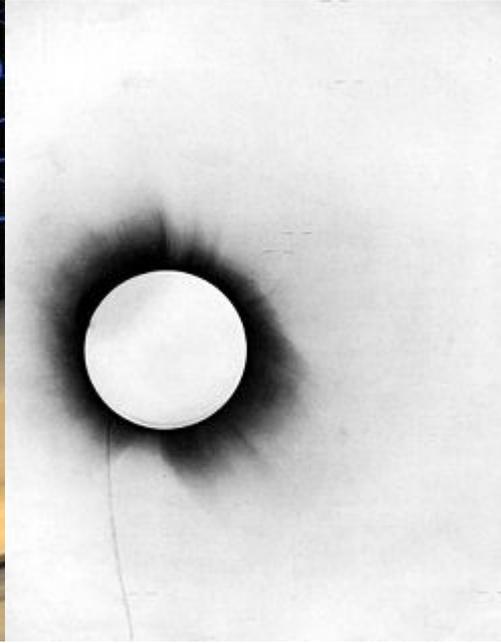
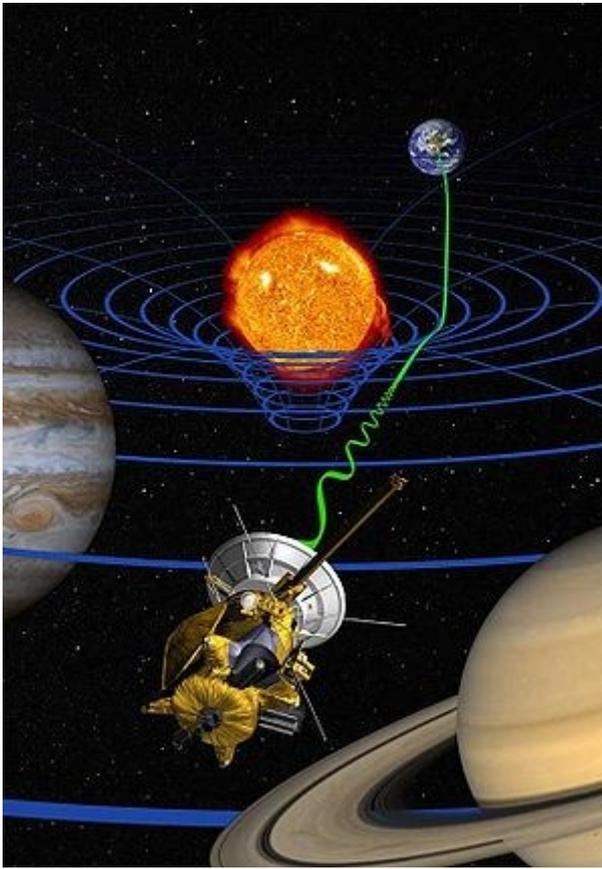
Applicato il Calcolo tensoriale in tutti i sistemi accelerati come in campo gravitazionale.

$\vec{X} = (ct, x, y, z)$ : il quadrivettore

$$\eta_{\mu\nu} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & +1 \end{bmatrix} \text{ Introdotta la matematica dei tensori, vettori covarianti e controvarianti, completa la trattazione dell'elemento } ds:$$

1919(29,maggio): sono stati osservati due posti, Sobral, Isola principe.

La predizione fatta dalla teoria fu confermata dalla misurazione di "Arthur Eddington" durante un'eclissi solare. Una stella visibile in prossimità del sole sarebbe dovuta apparire in una posizione leggermente più lontana verso l'esterno.



1919: è stato invitato a Berlino presso il Centro Ricerche? A condizione di non prendere la cittadinanza

1921: ha ricevuto il premio Nobel per fisica per la sua scoperta della legge dell'effetto fotoelettrico .

1933 è stato ospitato da Princeton, da un professore ospite all'università di Princeton.

1955: muore all'ospedale di Princeton.

### Opera d'Einstein

1. La relatività speciale e generale

2. Spiegazione effetto Browniano: fornisce una valutazione quantitativa del moto browniano

3. Spiegazione effetto fotoelettrico: propose che la radiazione stessa consistesse di quanti d'energia detti fotoni, che l'energia d'ogni quanto fosse legata alla frequenza della radiazione tramite la legge  $E = h\nu$ ,  $h$  è una nuova costante fondamentale. Dimostra la validità della teoria dei quanti di Planck

⇒ con questo si considera Einstein come il padre della meccanica quantistica.  
quantizzazione dell'Energia.

## Struttura della materia

Come è fatto l'Atomo

Carica esiste nella materia ipotesi atomica 18

Materia è costituita da atomi, nel campo della chimica andava l'ipotesi della teoria degli atomi.

Si Pensava che dentro gli atomi ci dovessero essere cariche apposte.

Fine 18° secolo : si è cominciato studiare la struttura della materia?

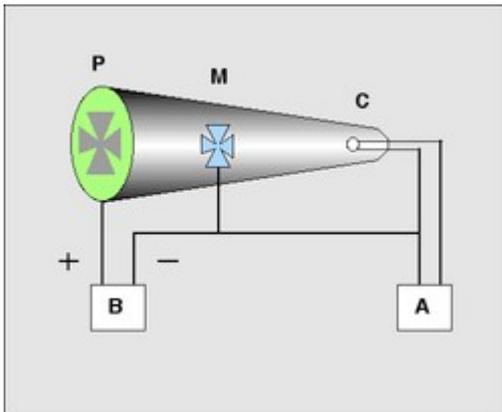
Inizio 19°: nascita della Fisica Quantistica. Perché nascevano tante osservazioni che non si potevano spiegare con la fisica classica. Come il fenomeno elettrone.

**J.J Thomson(1856-1940)** : Ha ricevuto il Premio Nobel per la fisica

1897: struttura degli atomi, corpuscolo carico- è la prima scoperta degli elettroni.

L'Elettricità veniva da gas rarefatti

la scoperta dei raggi catodici(1895): i caratteri dei raggi catodici sono ①propagazione in linea retta (Fanno ombra dietro l'ostacolo)②deviata calamità, sensibile campo magnetico, elettronico.



I raggi prodotti da catodi. Corpuscoli di radiazione.(= (Raggi X= oggi noti come elettroni)  
È riuscito a costruire le apparecchiature. Ed ha cominciato vedere la realizzazione del l'EQ Maxwelliano.

Lo scopo dell'esperienza: misurare il rapporto, la carica e massa e carica se fosse negativa

**Milican:** nel 1907 misurò  $\frac{q}{m}$

A quell'epoca, già conosceva bene la massa idrogeno.

Confrontando la massa Idrogeno, riuscì a scoprire che questi raggi hanno massa molto piccola a confronto della massa Idrogeno.

Tutti i materiali usati emettono gli stessi raggi

= raggi catodici sono comuni a tutti materiali, particelle subatomiche.

Fa nascere la struttura dell'atomo: modello planetario e modello panettone con uvette.

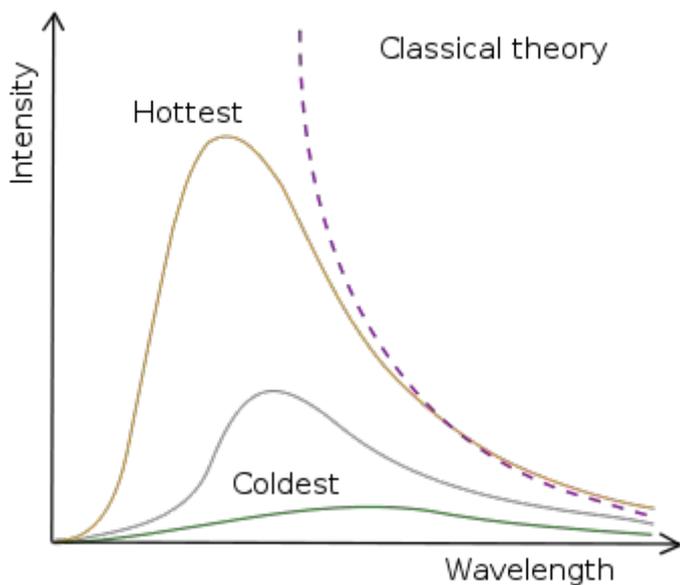
**Corpo nero:** è un oggetto (ideale) che assorbe tutta la radiazione elettromagnetica incidente per la conservazione dell' energia, ri- irradia tutta la quantità d'energia. Lo spettro di un corpo nero è uno spettro caratteristico a 'campana'. La differenza tra lo spettro di un oggetto e quello di un corpo nero ideale permette di individuare la composizione chimica di tale oggetto.

Una cavità dentro metallo riflettente, interpolato da qualsiasi radiazione; la temperatura di un corpo nero rimane sempre in equilibrio.

**Gustav Kirchhoff:**1862 il termine "corpo nero" venne introdotto per la prima volta da lui

**Qualsiasi corpo nero ha lo stesso fenomeno**

**Spettro corpo nero:** intensità o densità della radiazione emessa in funzione della lunghezza d'onda.



**Leggi Stefan Boltzman:** l'Intensità d'emissione di un corpo nero va con la temperatura  
4

alla quarta potenza.  $\Rightarrow$

$$E \propto T^4$$

**Rayleigh-jeans** : un corpo nero ideale in equilibrio termico, emetterebbe radiazione con potenza infinita  $\Rightarrow$  uno dei problemi con la fisica classica.

$$I_{tot} = \int_0^{\infty} d\nu I(\nu) \rightarrow \infty : \text{catastrofe ultravioletta (catastrofe Rayleigh-Jeans)}$$

**Legge Wien (empirica):** variare della temperatura del corpo, varia il colore!. Introduciamo il concetto di temperature di colori, quale è la temperatura cui corrisponde un ben determinato massimo di emissione.

$$I(\nu) = e^{-\beta \frac{\nu}{T}} \quad \lambda_{max} T = \text{costante} = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

**1901: Max Plank:** interpretò correttamente spettro corpo nero per la prima volta, passò dall'ipotesi alla teoria quantistica, secondo la quale gli atomi assorbono ed emettono radiazione in modo discontinuo. I quanti sono appunto come granuli i energia invisibile perciò finite e discrete.  $\Rightarrow E_0 = h\nu$

$$\text{Energia media } \langle E \rangle = \sum_{n=0}^{\infty} E_n W(E_n) \leftarrow E_n = nE_0$$

Max Plance (1858-1947): professore Fisica Teorica.

In seguito Einstein conferma il fenomeno del fotoelettrone, che è energia non continua, ma quantizzata.

5.11.2009

## Energia Radiazione

**Introduzione due nature. (dualità)** : dualismo onda-particella (o dualismo onda-corpuscolo) si riferisce al fatto che le particelle elementari, come gli elettroni o i fotoni mostrano una duplice natura, sia corpuscolare sia ondulatoria.

1.corpuscolare : descrive e spiega la propagazione di un fascio luminoso come lo spostamento di un gruppo di particelle d'energia (chiamate generalmente *quanti di energia* o [fotoni](#))

Secondo la teoria corpuscolare della luce, i fotoni nel loro percorso "rimbalzano" contro gli [elettroni](#) atomici, provocandone l'espulsione, oppure vengono assorbiti (in determinate condizioni), cedendo in un sol colpo tutta l'energia che trasportano. L'[atomo](#) che ha assorbito l'energia associata a tale fotone si dice che è "eccitato", e si trova ad un livello energetico superiore rispetto alla condizione che precedeva l'assorbimento, ovvero i suoi elettroni si spostano verso gli orbitali più esterni. In alcuni casi un materiale può assorbire così tanta energia tramite questo meccanismo che gli elettroni vengono emessi dal materiale stesso: questo fenomeno viene chiamato [effetto fotoelettrico](#).

2. ondulatoria:

**Balmer(1825-1898):** fisico Svizzero

1885: un'ulteriore osservazione, lo spettrometro, una certa banda visibile dello spettro dell'idrogeno, ha trovato mancanza del qualche lunghezza onda( righe nero-assorbimento)⇒non riusciva spiegarlo con la fisica classica.

Per frequenze dei mancanti dello spettro, potevano essere rappresentati con gran precisione.



$$\frac{1}{\lambda_{n_1, n_2}} = B \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad \begin{matrix} n_2 \\ \downarrow 1 \\ n_1 = 1, 2, 3 \end{matrix}$$

⇒perfetta coincidenza spettro assorbimento e spettro ammissione.(non poteva spiegarlo con la fisica classica)

→ha portato allo sviluppo della Cristallografia

Studi di Cristallografia: dalle parole [greche](#) "krystallos", ghiaccio, con un significato che si estende a tutti i solidi con qualche grado di trasparenza, e "graphein" = "scrivere") è la scienza sperimentale che si occupa di determinare la disposizione degli [atomi](#) nei [solidi](#). In passato, era lo studio scientifico dei [cristalli](#).

## Struttura d'atomo:

Modello planetario: 1904 proposto dal Giapponese Nagaoka .

⇒gli Elettroni emettendo radiazione, diminuiscono loro orbita e crollano sul nucleo.

Modello panettone con uvette: proposto da J.J Thomson con elettroni che oscillano dentro l'atomo .

**Rutherford(1871-1937):** Fisico Nuovo Zelandese. Si trasferì in Inghilterra presso il laboratorio Cavendish.

Radiazione  $\alpha$ (1911-1912): un nucleo  ${}^4\text{He}^{++}$ ( Carica positiva)

1911-1912: Ha messo sorgente radioattiva □ davanti molto sottile Al, ha studiato come agisce □ con Al. Poche particelle alfa vengono deflesse dal campo elettrico del nucleo, la maggior parte di esse attraversa lo spazio vuoto dell' atomo.

$$N_{\alpha}(\theta) = K \frac{1}{\sin^4 \theta} \quad R_a = 10^{-16} \text{ m} : \text{dimensione}$$

$$R_N = 10^{-14} \text{ m} : \text{dimensione nucleare del modello Rutherford.}$$

**Niels Bohr (Copenaghen 1885-1962):** Fisico e matematico Danese. Si laureò all'Università Copenaghen (1911) venne in Inghilterra per lo studio e lavorò con Rutherford. Dopo il successo del suo modello dell'atomo, tornò al suo paese, prese la cattedra della fisica teorica e diventò direttore dell'Istituto Ricerca Atomica che prese nome di Istituto Niels Bohr dopo sua morte.

**Modello Atomo di Bohr (1913):** propose una modifica concettuale al modello di Rutherford. Ipotesi :1. Il modello deve essere planetario 2. Gli elettroni aver a disposizione orbite fisse e permesse.

$$E_1 = -\frac{(Ze^2)^2}{2R_1} \quad : \text{Energia al più basso livello}$$

$$\vec{L}_n = \vec{r} \times \vec{v}_m = nh \quad : \text{momento angolare di n livello.}$$

Energia Scambiata attraverso cambio livelli

$$E = E_{n1} - E_{n2} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad : \text{per coincidere con l'espressione di Balmer.}$$

9.11.2009

**Frank Herze (1914)** La totale affermazione della meccanica quantistica si ebbe grazie all'esperimento di Frank-Herz, due fisici tedeschi che dimostrarono la validità del *principio di quantizzazione dell'energia*. Questo esperimento ha fornito i dati sperimentali che hanno confermato il modello di Bohr; Gli elettroni atomici percorrono orbite di tipo planetario i cui parametri sono quantizzati secondo la legge:  $L = nh$  (n = 1,2,...) .Nel loro esperimento, dimostra che effettivamente esistono dei livelli energetici atomici quantizzati anche negli atomi pesanti.

**Sommerfeld (1868-1951):** introdusse la costanza di struttura fine in meccanica quantistica (1916). *La costante di struttura fine*, come misura della deviazione relativistica nelle linee spettrali rispetto al [modello di Bohr](#), indicata con  $\alpha$ , è un parametro che mette in relazione le principali [costanti fisiche](#) dell'[elettromagnetismo](#).

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c 4\pi\epsilon_0} = \frac{e^2}{2\epsilon_0 \hbar c}$$

## Meccanica Quantistica

Scuole importanti della fisica Quantistica in Germania.  
 Gottingen, Hidenberg, Monaco, Vienna, Berlino ( Centro Max Plank)  
 Nascono due interpretazione della Meccanica Quantistica. (Meccanica Matrici, Meccanica ondulatoria.)

**Scuola Gottingen: Max Bon e suoi collaboratori. Uso del prodotto Matriciale**

È nata la Meccanica matriciana (1927): operazioni misura espressa come operatori matriciale.

Trattando elementi matrice, quantità fisica degli elettroni nelle doppie fenditure, si può spiegare da ondulatorio a corpuscolo

**De Broglie (1923):** Invenì un'ipotesi nella sua tesi dottorato.

$$E_r = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{un fotone è un quanto di luce})$$

: impulso di fotone.

$$P = mv$$

$$E = \left( p^2 c^2 + m_b^2 c^4 \right)^{1/2}$$

$$E_r(m_b=0) = \left( p^2 c^2 \right)^{1/2} = pc$$

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

$$\frac{hc}{\lambda} = pc$$

$$\lambda = \frac{h}{p} \Rightarrow \lambda = 10^{-20} \frac{m}{m} \quad \text{qualsiasi corpuscolo ha lo stesso valore}$$

fornisce una spiegazione che un corpuscolo non può osservato a causa della sua dimensione. Confrontabile raggi x con elettrone.

**Schrödinger (1924-25):** un modo di spiegare un modello di Bohr con equazione d'onde : derivata secondo ordine  $\psi(x, t)$  : funzione di onde spazio e tempo.

$$E = \frac{p^2}{2m}$$

$$p = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$$

$$P^2 \propto \nu^2$$

$$P^2 \propto E^2$$

$$\frac{d\psi(x, t)}{dt} \propto E, \quad \frac{d\psi}{dx} \propto P \quad : \text{Schrödinger equazione stazionaria.}$$

Può spiegare il movimento di un fotone come onde stazionarie (con analisi furie)  
Il Corpuscolo si può considerare un pacchetto d'onde

Ottica ondulatoria

↔

Meccanica ondulatoria

$$\downarrow \lambda \rightarrow 0$$

$$\lambda \rightarrow 0 \quad \downarrow \hbar \rightarrow 0$$

Ottica geometrica

↔

Meccanica classica

$$\vec{\nabla} S = \vec{k} n$$

$$E_g = H - J$$

10.11.2009

## Due grandi linee della Meccanica Quantistica

Bohr

L.de Broglie (onde corpuscolo)

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

↓

Schrödinger  
(meccanica ondulatoria)

→ indipendente dal tempo (causa della simmetria di tempo e spazio)

Non si accorda con la relativistica specialistica.

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \left( -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(x) \right) \psi(x,t)$$

$$\psi(x,t) = U(x) e^{i\frac{E}{\hbar}t}$$

→ →

$$HU(x) = EU(x)$$

$$\psi(\vec{r}) = \Psi_{n_i m}(r, \theta, \phi) : \text{Espressione}$$

Matriciale

della struttura matematica del moto dell'elettrone per il modello di Bohr.

Quale significato ha l'equazione di Schrödinger confronto all'agire degli elettroni:

$$\rho(\vec{r}, t) = |\psi(\vec{r}, t)|^2 : \text{Densità, Probabilità di trovare un elettrone.}$$

Può affermare Solo la probabilità

⇒ Ha indebolito la caratteristica fisica che è determinata, come paradosso del gatto di Schrodinger, le due probabilità (morto, vivo) si sovrappongono.

Alla fine l'osservazione oggettiva dipende dalla mente dell'osservatore. Einstein che non era d'accordo con la visione Meccanica quantistica, ha proposto variabili nascoste (variabili che possono dare spiegazione oggettiva, e determinata) per risolvere l'indeterminismo della quantistica.

**Heisenberg:** un fisico di Monaco (Fisica sperimentale)

il Suo studio erano le righe spettrali. È rimasto nella sua patria

$$\lambda^{-1}_{n,m} = R_h \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

durante la seconda guerra mondiale, Dopo la guerra è stata portata al Tribunale di Londra.

$$n, m = 1, 2, 3, \dots$$

**Wolfgang Pauli (1900-1958):** Un fisico Austriaco.

definizione dello Spine (Pauli): 1922- esperimento degli elettroni liberi nel campo per spiegare tale fenomeno, ha inventato il momento angolare intrinseco.

$$|l| = \hbar l$$

$$l_z = \hbar m \quad (\Delta m = \hbar)$$

$$-l \leq m \leq l$$

2l+1: possibili valori di m (se 2l+1=2, l=S=1/2, ipotesi che il momento angolare ha semi valore)

Momento magnetico elettrone:  $\vec{\mu}_e = g_e \vec{e}$

**Principio d'esclusione di Pauli:** Due fermioni identici, non possono occupare simultaneamente lo stesso quantico. Il Proposito di Pauli non è stato molto accettato nel mondo accademico di quello periodo.

**Principio indeterminazione(1927-Heisenberg)**

Non è possibile conoscere simultaneamente la quantità di moto e la posizione di una particella con certezza.

Possiamo sapere come **era** l'elettrone, ma dopo l'interazione dei raggi con l'elettrone, esso cambia il suo cammino, quindi non possiamo sapere l'attuale situazione (posizione, quantità

di moto)  $\Delta X \cdot \Delta P_x = i \hbar$      $\Delta P \equiv \varepsilon$      $\Delta X = i \frac{\hbar}{\varepsilon}$

onda Piana  $e^{i \frac{P}{\hbar} x}$  ,  $|e^{i \frac{P}{\hbar} x}|^2 = 1$

12.11.2009

$qp - pq = i \hbar$  ,  $\Delta p \cdot \Delta q = i \frac{\hbar}{2}$  →  $\Delta E \cdot \Delta t = i \frac{\hbar}{2}$

$\lambda = \frac{h}{p}$  ( $\lambda \rightarrow 0, P \rightarrow \infty$ , condizione di osservare oggetti più piccoli)  
 $\psi = a_1 \Psi_1 + a_2 \Psi_2$  ,  $|a_1|^2 = p |\Psi_1|$  ,  $|a_2|^2 = p |\Psi_2|$

**Principio della complementarità: Bohr(1927)**

Ad Alcuni sistemi fisici conviene spiegare con la teoria ondulatoria ad altri con la corpuscolare, ma non si può fare contemporaneamente, non potranno mai essere osservati contemporaneamente nello stesso esperimento.

Solvei (1930):Durante un convegno Einstein suggerì a Bohr un esperimento ideale. Per metter prova

Ex) Una scatola con quantità energia ben precisa emette un fotone. Si può calcolare il cambiamento Energia della scatola o no?

**Caratteristica dell'Entità microscopico**

Le particelle si dividono secondo il principio d'esclusione di Pauli

Bosoni: interi spini, sono liberi di affollare in gran numero uno stesso stato quantico.

Bose-Einstein statistica: particelle microscopiche hanno momento angolare spine intrinseco (↑, ↓)

Fermion: metta : ½ spin, hanno sempre massa. Comportamento statistico molto diverso.

Fermi-Dirac statistica: si applica ai Fermioni.

Entrambe le statistiche si confondono con la statistica di Maxwell-Boltzman: statistica nel caso in cui sono coinvolte alte temperature e basse concentrazioni.

Fermi -Dirac statistico →(classico)→MaX Boltzman statistico.

Dirac: Quantistica relativistica

Trasformazione, Hamiltoniano definisce modo quantistico relativistico.

$$E_e = \left( p^2 c^2 + m^2 c^2 \right)^{1/2} = mc^2 \sqrt{\frac{p^2}{m^2 c^2} + 1}$$

|                  |                         |
|------------------|-------------------------|
| $mc^2$           | 1                       |
| $i$              | $i$                     |
| $i$              | $i$                     |
| $\frac{p^2}{2m}$ | $\frac{p^2}{m^2 c^2} i$ |
| $i$              | $i$                     |

17.11.200

$E_e = mc^2 \sqrt{\frac{p^2}{m^2 c^2} + 1} \simeq mc^2 \left( 1 + \frac{p^2}{2m^2 c^2} \right) \simeq mc^2 + \frac{p^2}{2m}$     relativistica  $E_k = PC$

ex)  $E_k \approx 50 eV$ ,  $mc^2 \approx 500000 eV$

1950: forza forte( ipotesi Yukawa) : due ordini più grandi di quella forza magnetica.  
Bosoni(=Pioni) : ha poca vita media, si possono osservare solo raggi cosmici.

## Scoperta Radioattività

**Becquerel(1852-1908)**: è nato in una famiglia di scienziati.

E' Già conosciuto Uranio che prende la luce del sole per emettere radiazione(Fluorescenza)

!896: Becquerel ha trovato una pellicola da film in una cassetta che conteneva insieme solfato di potassio-uranile la pellicola era tutta impressionata.

→ ha capito che l'Uranio è capace di irradiare anche senza la luce.

**Marie Curie (Maria Skłodowska 1867-1934)**: è nata in una famiglia benestante che in Polonia, ha frequentato varie lezioni di cultura divulgativa ( era popolare questo nella scuola Polacca di quel periodo), ma non poteva accedere all'Università perché donna. Venne a Parigi con la sorella( se l'avesse aiutata a finire lo studio della medicina, la sorella a sua volta avrebbe aiutato Marie a finire di studiare fisica, come tanto desiderava) infine si laureò in chimica e fisica all'Università della Sorbona a Parigi. Maria fu la prima donna ad insegnare nell'università parigina. Alla Sorbona incontrò un altro docente, Pierre Curie che poi sposò. Fu Maria a proporre il termine radioattività per indicare la capacità dell'uranio di produrre radiazioni e dimostrò la presenza di tale radioattività anche in un altro elemento

Hanno cominciato ad individuare le sostanze radioattive. Hanno scoperto due sostanze nuove; radio e polonio

- piezoelettricità: Cristallo sotto pressione produce corrente.
- Temperatura Curie: Quel valore di temperatura per cui un materiale ferromagnetico perde alcune delle sue proprietà

Dopo aver ricevuto il premio Nobel (1903) con marito, rifiutò di brevettare la sua scoperta; favorì l' utilizzo delle sue ricerche in campo medico, esempio cobalto terapia ect..)

1912: ha ricevuto il secondo premio Nobel in chimica

Irene Curie: figlia di Curie ha seguito come la madre lo studio della Radioattività.  
Fece la scoperta della radioattività artificiale: certi materiali eccitati da materia radioattiva, a loro volta possono diventare materiali radioattivi. Si era provato con raggi  $\alpha$  a bombardare gli atomi , ma fu poco efficace a causa della forza respingente del nucleo(+ ↔ +)

### Tipi di Radiazione

- $\alpha$ :  $He^{++}$
- $\beta$ :  $\beta^+$ ,  $\beta^-$
- $\gamma$ : sono radiazioni elettromagnetiche, molto cariche di energia, più dei raggi X  
Nucleo legato instabile emette radioattività, diventa nucleo più stabile.

### Enrico Fermi(1901- 1954 )

Nasce a Roma. Mostrò già da piccolo intelligenza non comune, cominciò ad occuparsi di Scienza.

Frequentò la Scuola Normale di Pisa, quando si Laureò, prese la prima cattedra di fisica teorica a Roma, ma nello stesso tempo fu ottimo sperimentatore. Aveva capacità d'approssimazione.

Prima di Pauli intuisce lo spin d'elettrone.

Ha dedicato il suo studio alla radioattività artificiale→ha utilizzato neutroni per attivare materiale radioattivo artificiale. Perché i neutroni rallentati agiscono meglio col nucleo.

1938 : ricevette il Premio Nobel per la fisica.

Decadimento  $\beta$  : Un processo radioattiva naturale. Non riusciva a spiegare la mancanza dell'energia impulso.

→spiegava la causa un materiale esistente non scoperto prima ( il neutrino), così nasce anche la spiegazione di interazioni deboli. (interazione Fermi)

Fermi dimostrò che così come l'interazione elettromagnetica produce la conversione di un fotone in una coppia elettrone-positrone, così l'interazione di Fermi(Interazione dei deboli) produce la trasformazione di un neutrone in un protone (o viceversa), accompagnato dalla creazione di un elettrone e di un neutrino.

20.11.2009

## Teoria cosmica

1917: Relatività generale

1. La covalianza (fra sistemi accelerati e sistemi inerziali)
2. Principio equivalenza( equivalenza locale)
3. lo spazio-tempo si incurva.  
Una metrica costante, tensore metrico.  
Forma

**Equazione di Einstein.(Equazione dell' universo )**

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

R: curvatura spazio tempo, T: tensore energia-impulso

Einstein formò un'equazione universo statica (indipendente del tempo)

Universo determinato dalla massa totale,

Se la soluzione dell'equazione è indipendente dal tempo→universo finito, stazionario.

Non trovava una soluzione per soddisfare la sua ipotesi, così aggiungendo una costante alla parte destra ottiene il suo risultato.

Dopo **un fisico** risolve l'equazione solo con la costante d'Einstein, ottiene una soluzione che dice che l'universo è espansione infinita.

Attraverso l'osservazione dell'universo(Hubble ) risultava un universo che si allontana.

**Firgman(1922)**: ottiene una soluzione che dice instabile.

Trova una singolarità nel tempo passato infinito.

1932: Einstein propone un'equazione senza la sua costante,

Si ottiene un universo indefinitamente in espansione.

Principio cosmologico: Universo distribuito densità omogenea, i corpi hanno caduta libera.

1925-1929: Hubble e un suo collega

Hanno scoperto il rapporto luminosità e periodo attraverso le stelle cefeide.

1929: legge di Hubble:

$$v = Hd$$

→un universo in espansione

Big Bang

Temperatura bassa, radiazione fossile. Densità materia dell'universo.

Densità critica: Dipendono da questo valore tre possibilità

1. Big Crash
2. Espansione che si ferma.
3. Continua espansione.

## Approfondimento della storia dell' Astronomia

# Introduzione

Astronomia è la scienza che studia la struttura, la dinamica e l'evoluzione degli oggetti che si osservano in cielo, è la scienza più antica, ma agli inizi della civiltà assume una valenza di "magia" estendendosi impropriamente alla predizione di fenomeni celesti ( susseguirsi della stagioni, moto del Sole attraverso le costellazioni, eclissi, comparsa di comete, ecc) a quella d'eventi umani. La degenerazione di questa funzione portò all'astrologia, che ancora oggi vanta indebitamente un'importante funzione di raccolta di dati osservativi sui moti planetari, che permisero agli astronomi ( che spesso per sopravvivere si dovettero anche vestire da astrologi) di formulare le leggi fisiche della gravitazione.

**Importanti funzioni dell'Astronomia** furono quelle pratiche di ①**predire l'evoluzione delle stagioni, fondamentale per le civiltà agricole**, e ②**definire un sistema di riferimento "universale"** in grado di guidare naviganti e nomadi in terra sconosciute.

## L'astronomia Antica.

**Antichi Greci:** Aristarco, Eratostene, Eudosso, Ipparco, Tolomeo: Astronomia come scienza quantitativa, svilupparono una completa interpretazione dei moti celesti a carattere geocentrico, già basata sulla conclusione scientifica che Terra fosse sferica e non piatta e furono in grado di misurare con grande approssimazione le dimensioni della Terra e le distanze planetarie.

**Eratostene:** si rese conto che il Sole culmina a tempi diversi in luoghi a longitudini diverse(ad esempio Alessandria ed Assuan in Egitto) considerando la terra sferica, ne calcolò il raggio con una notevole approssimazione rispetto al valore oggi noto.

**Valore Eratostene:**

**Valore Oggi:**

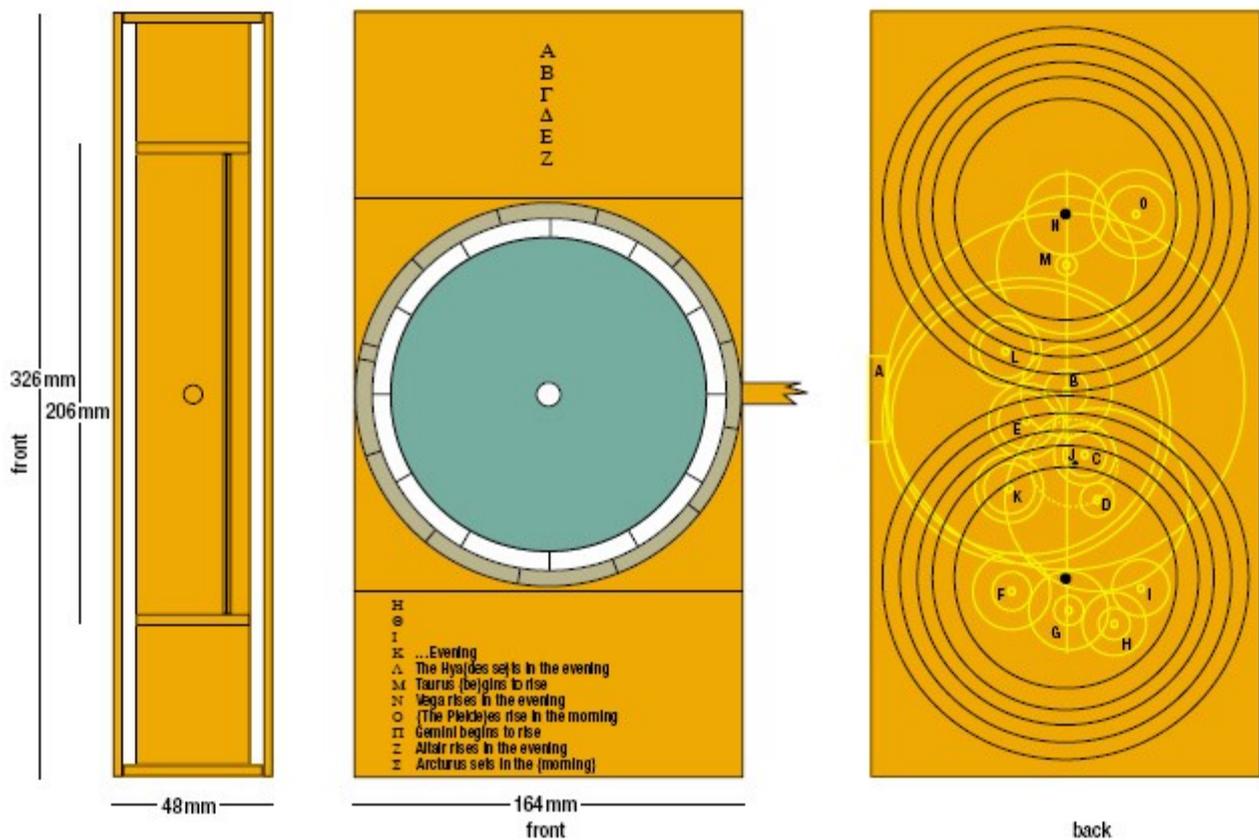
**Eudosso di Cnido:** fu allievo di Platone, interpretò il moto retrogrado dei pianeti rispetto alle stelle fisse, il suo pensiero fu organizzato geometricamente da Ipparco intorno al 150 a.c e ulteriormente precisato da Claudio Tolomeo nell'età ellenistica

**Ipparco:** rivelò anche la precessione delle equinozi, un fenomeno molto sottile che porta il Polo celeste a compiere sulla volta celeste un'orbita circolare di raggio circa 17 gradi, in un tempo di 26 mila anni. Anche le prime classificazioni della luminosità delle stelle introdussero una scala in sei classi di grandezze o magnitudini per le stelle osservate ad occhio nudo.

**Lo schema del meccanismo di Antikythera:** il relitto di una nave mercantile romana del I° secolo, che nel 1900 alcuni pescatori scoprirono al largo della costa dell' isola di Antikythera nell' Egeo.

Una scatoletta di bronzo della dimensione di  $326 \times 164 \times 48 \text{ mm}$  conteneva un meccanismo basato su 30 ruote dentate, un raffinato meccanismo per calcolare i moti del Sole, della Luna e dei pianeti noti e della visibilità delle principali stelle e costellazioni.

**Lo schema del meccanismo d'Antikythera**

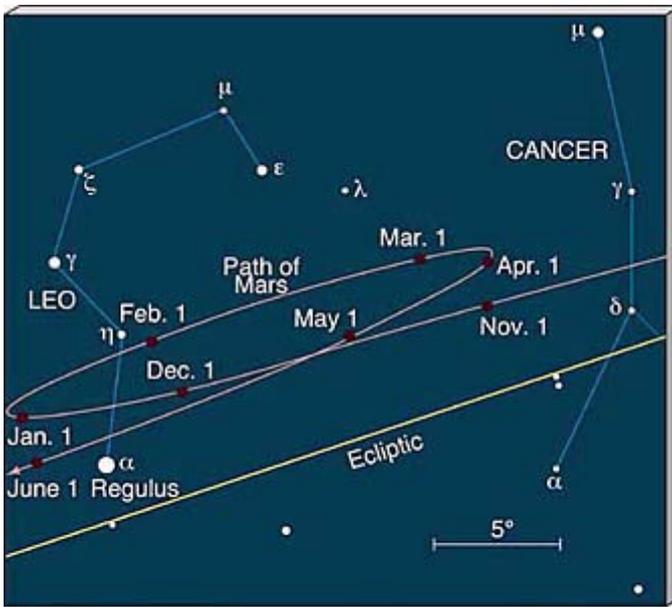


**Tolomeo(127-150 d.c.):** classificazione e interpretazione dei moti degli “astri”, le stelle compiono nel cielo traiettorie regolari, i Pianeti compiono i moti irregolari, retrogradi. Presentò una teoria cinematica dei moti planetari nel suo testo **“Megale Syntaxis”**( “Grande Trattato”)dagli arabi chiamato **Almagesto** . In tal cosmologia la Terra è una sfera immobile al centro dello spazio, la volta celeste con le stelle fisse che ruotano intorno ad essa e i pianeti, il Sole e la Luna ruotano su un complesso sistema di sfere deferenti ed epicicliche. Ogni particolare deviazione del moto dei pianeti da quello della sfera delle stelle fisse, veniva interpretato aggiungendo un’ulteriore sfera con un suo moto proprio: questo sistema i matematici lo chiamerebbero sviluppo in funzioni armoniche sferiche. Il cerchio e la sfera erano considerati curve e figure perfette; in accordo con le teorie filosofiche di Aristotele, il cielo fu concepito come un sistema perfetto, incorruttibile, e quindi infinito nello spazio e nel tempo.

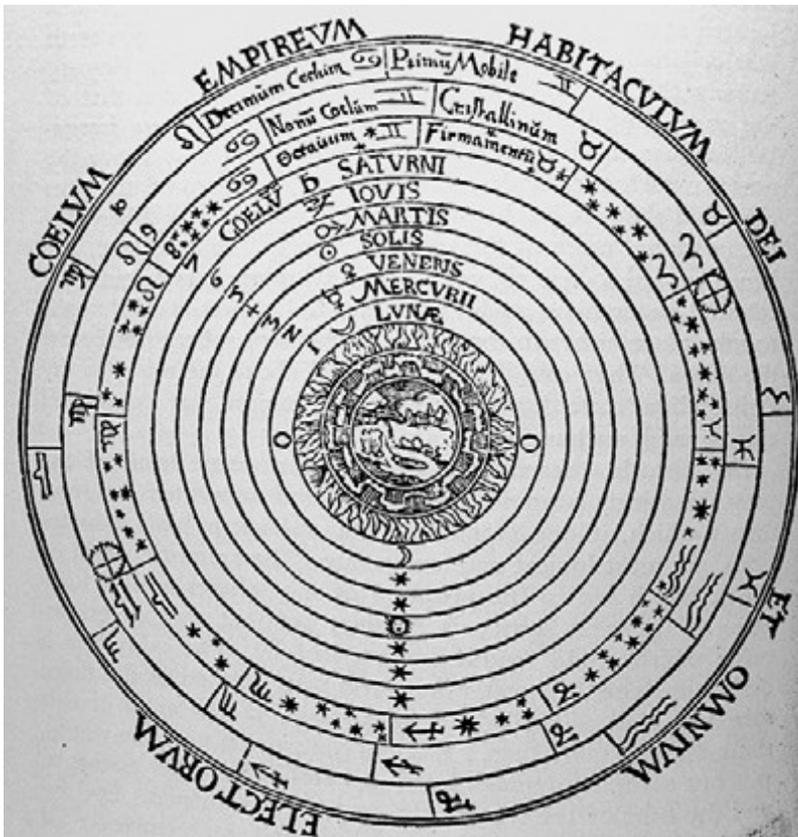
→un modello soddisfacente in grado di prevedere eclissi e occultazioni, e anche effetti su lunghi tempi come la precessione degli equinozi già citata.

⇒la Sua caratteristica puramente geometrica tanto cara ai greci ,non affrontava la spiegazione della ragione dei moti sferici ma rimandava genericamente il loro controllo ad un Demiurgo, onnipotente ed eterno.

I Babilonesi: raggiunsero precisioni molto elevate nelle osservazioni astronomiche ,con lenti naturali di quarzo reperibili in natura. Avevano uniche forme di gnomoni, quadranti e sestanti per derivare le distanze angolari degli oggetti celesti.



Moto retrogrado di Marte



Il sistema tolemaico

## Medioevo in Europa

La lentezza negli sviluppi tecnologici della civiltà di altre parti del mondo non permisero per lungo tempo di superare questo eliocentrico tolemaico. Anzi in Europa l'Astronomia diventò più vicina all'astrologia, un puro strumento d'irrazionale approccio alla natura.

## Copernico, Keplero e Galileo

L'Astronomia Copernicana nasce a metà del 14° secolo, dalla raccolta di una maggior quantità di dati e su tempi lunghi di quelli utilizzati dagli antichi. Dalle osservazioni di Copernico e Tycho Brahe si evidenzia sempre più la difficoltà di spiegare i moti planetari in termini di sfere su sfere, secondo lo schema tolemaico. Tale schema diventa troppo complicato da risultare inutilizzabile.

Inoltre le previsioni del **modello tolemaico** ① **sul succedersi delle stagioni diventano sempre più contraddette** ② **entra in crisi il calendario.**

**Copernico(1473-1543):** che propone di trasferire il centro dell'Universo sul **Sole**: facendo ruotare pianeti e stelle, e anche la Terra, intorno al Sole, i moti dei pianeti si semplificano enormemente. Inoltre Copernico suggerisce che le stelle stesse non siano altro che dei Soli posti a gran distanza. **Il centro dell'Universo copernicano è una stella, il Sole**, la sfera celeste lo racchiude, con tante altre stelle gli ruota intorno; nel mezzo i pianeti girovagano a velocità variabili. A questo punto **la Terra è essa stessa un pianeta.**

Il gran contributo di Copernico sta nel fatto di essere riuscito a "vedere" i moti orbitali dei pianeti, sottraendovi il moto della Terra intorno al Sole. Ma va anche detto che Copernico non andò oltre a Tolomeo, per quanto riguarda l'interpretazione del perché dei moti. La teoria copernicana sarebbe quindi rimasta un argomento di "geografia celeste" se non fossero intervenuti i contributi osservativi di Keplero e Galileo.

**Tycho Brahe(1546-1601):** Fu in grado di migliorare ed ampliare gli strumenti esistenti e di crearne di nuovi. Le sue misurazioni ad occhio nudo della [parallasse](#) planetaria erano accurate al [minuto d'arco](#). Queste misurazioni, dopo la morte di Brahe, divennero possesso di Keplero. Nel novembre(1572) Brahe osservò una stella molto luminosa che era improvvisamente apparsa nella costellazione Cassiopea( supernova), Sua l'osservazione delle comete del 1577 e del 1585

**Keplero(1571-1630):** le leggi dei moti planetari.

1. Le orbite dei pianeti sono ellissi di cui il Sole occupa uno dei fuochi; a parte la forma, quel che bisogna notare è che si tratta di orbite piane.
  2. La velocità lungo i vari punti dell'orbita è inversamente proporzionale alla distanza dal Sole.
  3. Il quadrato del periodo orbitale (l'anno) è proporzionale al cubo del semiasse maggiore dell'ellisse.
- ⇒Keplero aveva finalmente individuato le regole che governano i moti dei pianeti in modo quantitativo

**Galileo(1564-1642):** Il contributo di Galileo fu duplice. Da un lato, con **l'utilizzo del Cannocchiale, rivelò** che tutti i pianeti possono avere fasi come la Luna, il che indica che si tratta proprio di corpi sferici illuminati dal Sole, distinti dalle stelle. Scoprì i satelliti di Giove, mostrando che non tutti i corpi celesti ruotano intorno al Sole, e tanto meno intorno alla Terra; osservò le macchie solari, cancellando il concetto che i corpi celesti fossero perfetti e immutabili.

Inoltre con i suoi esperimenti sulla caduta dei gravi, sul piano inclinato e sul pendolo **fondò il metodo scientifico**, detto appunto metodo galileiano. Introdusse il principio d'inerzia: i corpi non soggetti ad alcun agente esterno rimangono in quiete o si muovono di moto rettilineo uniforme. In tal modo divenne chiaro il fatto che i moti planetari, tutt'altro che rettilinei e uniformi, rimandavano ad un agente esterno.

Il punto che lo mise in difficoltà con la Chiesa: le leggi di Keplero avrebbero permesso di ricavare le caratteristiche dell'agente esterno, quindi del Demiurgo; Dio invece doveva essere conoscibile solo attraverso le Scritture secondo la mentalità dell'epoca.

## La gravitazione Universale

**Isaac Newton(1642-1727):**Newton raccolse l'eredità di Galileo e con le sue grandi capacità Matematiche ricavò la legge che "muove il Sole e l'altre stelle". →Pubblicò **La legge di gravitazione universale** nel "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica"(1687) : **Inizia il primo periodo dell'Astronomia teorica.**

$$F = -G \frac{M_1 M_2}{R^2}$$

∞∇○∫]∫∫∫→ Huyghens, Euler, D'Alembert, Laplace e Lagrange furono i più grandi esponenti dello studio della meccanica celeste ;

- ① Interpretazione dinamica delle orbite dei pianeti e dei loro satelliti
- ② Predizione dell'esistenza di pianeti ignoti agli antichi.

**Lagrange:** mostrò l'importanza del moto dei singoli pianeti tenendo conto non solo dell'azione del Sole, ma di tutti gli altri pianeti.

**Planna:** allievo di Lagrange a Torino. Impostò lo studio del problema a molti corpi con l'applicazione del metodo perturbativo e lo applicò al calcolo del moto della Luna.

### **Il grande sviluppo delle tecniche osservative(17,18° secolo):**

Si perfezionò il cannocchiale di Galileo e Newton e si costruirono telescopi sempre più grandi.

Cassini: Giove e gli anelli di Saturno

Halley: Sulle comete e Sulla catalogazione delle stelle

Bradley e Mayer : sui moti propri stellari.

Römer(1701): studiando i ritardi nel succedersi delle eclissi dei satelliti di Giove, aveva misurato che i segnali luminosi viaggiano ad una velocità grande ,ma finita.

Messier(1771): il primo gran catalogo d'oggetti nebulari.

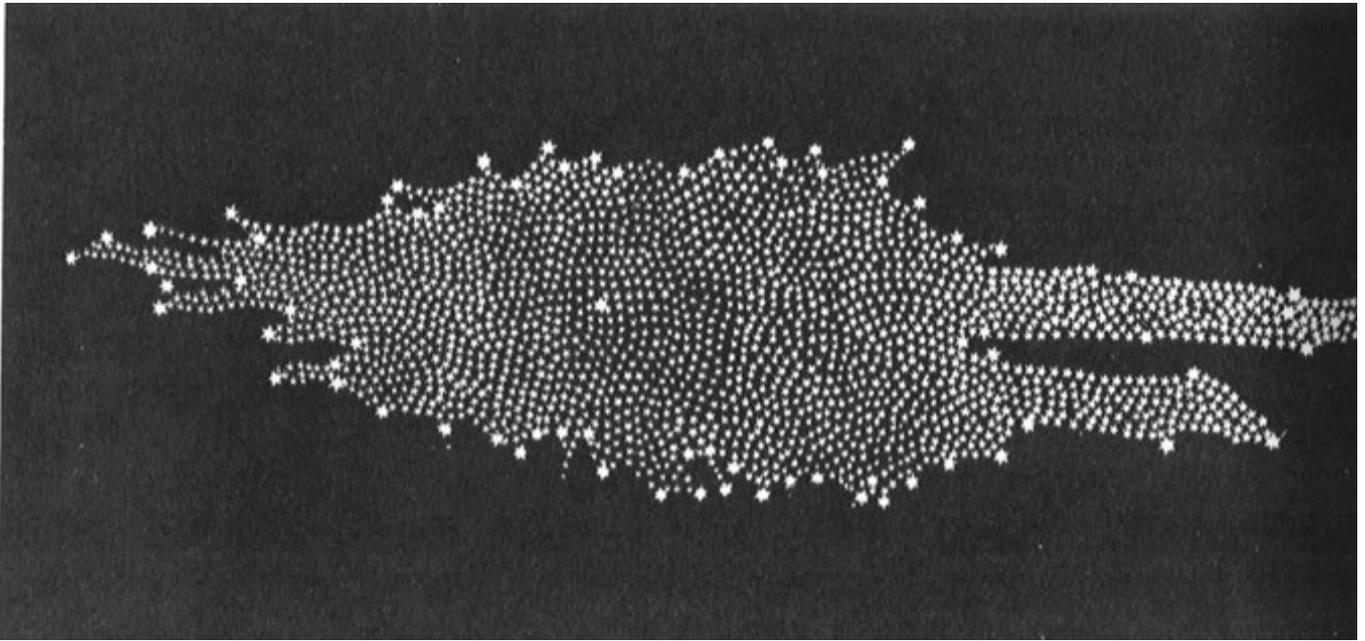
William Herschel(1781):originario di Hannover, trasferitosi in Inghilterra

Scoprì il primo pianeta (Urano)non conosciuto agli antichi.

Dedicò catalogazione di stelle deboli e nebulose con suo figlio John

Mostrò che L'emissione del sole si estendeva al di là del visibile, nella banda infrarossa.

**19° secolo : Si giunse alla definizione dell'Universo** come insieme di stelle e nebulose disposte a grandi distanza dal Sistema Solare, fino a un milione di volte maggiori delle distanze planetarie. Il sole si troverebbe in una posizione centrale nel disco. Perché la Via Lattea non mostra grande differenza lungo l'intera circonferenza, includendo anche l'emisfero sud.



**Il modello della Via Lattea secondo William Herschel, con il sole vicino al centro.**

## La nascita dell'Astrofisica

Il 19° secolo segnò pure l'avvento di una nuova metodologia nell'Astronomia, l'Astrofisica. Dedicata allo studio della struttura fisica degli oggetti celesti, pianeti, stelle e nebulose. Tra l'altro questo periodo vide l'espandersi dell'attività in campo astronomico con la costruzione dei primi grandi osservatori. Poté iniziare lo studio sistematico della distribuzione delle stelle nello spazio, combinato con la classificazione del loro tipo spettrale.

**Spettroscopia:** Disperdere la luce delle stelle nelle varie componenti. Il metodo era già stato utilizzato da Newton per il Sole.

**Legge del corpo nero**(di Kirchhoff): legge che spiega la distribuzione della luminosità delle stelle alle varie frequenze.

**Pader Secchi:** fu tra i primi astronomi a classificare le stelle in base alle proprietà dello spettro.

**Fraunhofer(1814):** le Righe d'assorbimento dello spettro del Sole, permettevano di calcolare la situazione termodinamica dettagliata dell'atmosfera solare e la sua composizione chimica, confrontando lo spettro solare con gli spettri dei gas rarefatti in laboratorio.

→Fino ad allora delle stelle si era soltanto misurato il flusso di radiazione

**Helemhot(metà 19° secolo ):**primi calcoli sulla struttura del Sole, mostrando l'inadeguatezza dei combustibili chimici per sostenere l'esistenza al livello d'irraggiamento attuale( secondo questo calcolo il Sole durerebbe solo centinaia di migliaia di anni , un tempo troppo breve. La Terra- 4.5 miliardi di anni.)

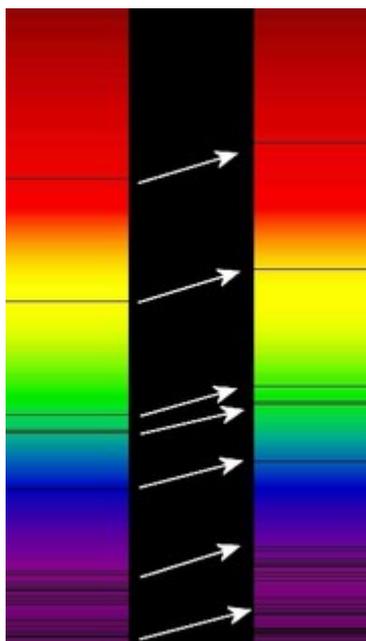
→Nacque l' Astrofisica teorica : dello studio della struttura dell'Universo e della sua origine.

**Fizeau(1848):** mostrò in laboratorio che le onde luminose subiscono **l'effetto Doppler**; se Stelle e osservatore(al telescopio) sono in moto relativo d'allontanamento, le componenti spettrali, in particolare le righe sono spostate verso il rosso,se si avvicinano sono spostate verso il blu.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \pm \frac{v}{C} \quad (+: \text{Allontanamento}, - : \text{avvicinamento})$$

Si può ricavare la velocità del moto relativo alla Terra dall'osservazione della deformazione degli spettri stellari rispetto a quelli di laboratorio. ⇒ L'universo è non immutabile.

→ **Lo spostamento Doppler è il modo più diretto di misurare i moti degli oggetti celesti.**

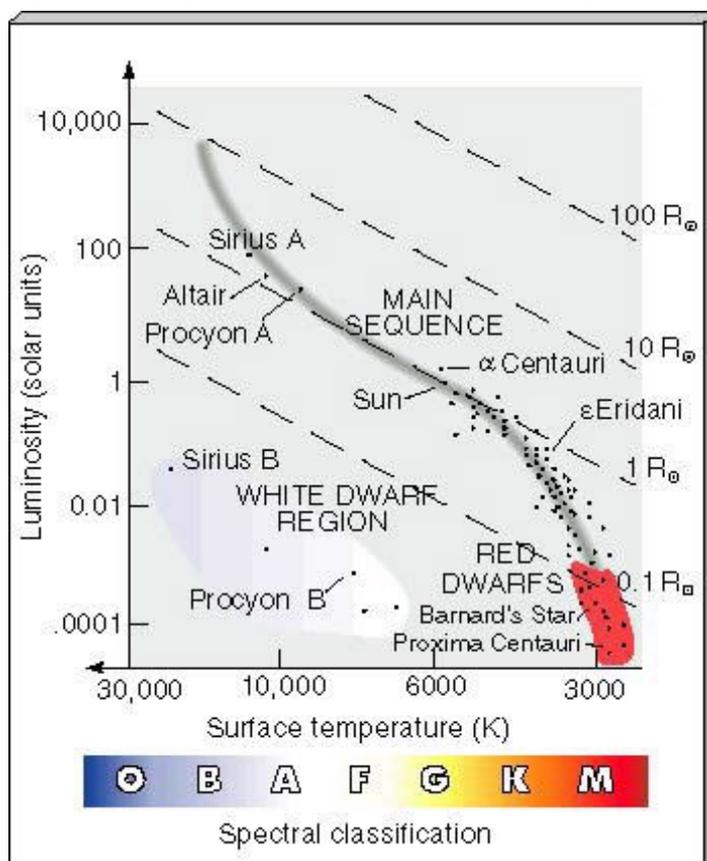


Esempio di [spostamento verso il rosso](#)

## L'evoluzione stellare

**Hertzsprung e Russe: diagramma(1908):** le temperature e le luminosità delle stelle sono strettamente collegate. Questo diagramma osservativo è fondamentale per la comprensione della struttura e dell'evoluzione della stella.

Stelle blue- più calde, più luminose. Stelle rosse- più fredde, meno luminose.



**Stelle binarie:** fu possibile verificare la massa e definire le caratteristiche di una stella (Colore, Luminosità)

**Bethe(1939):** con le reazioni termonucleari spiegò l'origine della potenza delle stelle.

**I modelli stellari:** Helmholtz, Emden, Schwarzschild, Chandrasekhar.

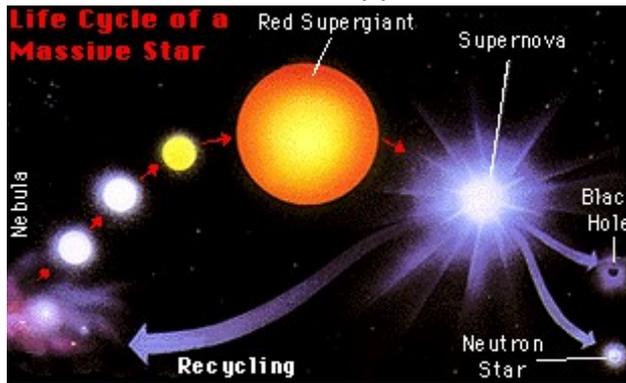
→ Fu possibile produrre modelli stellari che riproducessero le caratteristiche misurabili delle stelle osservate

**I modelli evolutivi:** una progressiva battaglia tra la forza di gravità che tende a ridurre la

massa gassosa ad un punto e la pressione termica sprigionata dalla reazione termonucleare,

fino ad un punto in cui la gravità prevale e il collasso finale è violento e diventa esplosivo, trasformando le stelle in nebulose planetarie o supernovae.

⇒ **L'Universo non è immutabile** neppure infinito nello spazio e nel tempo.

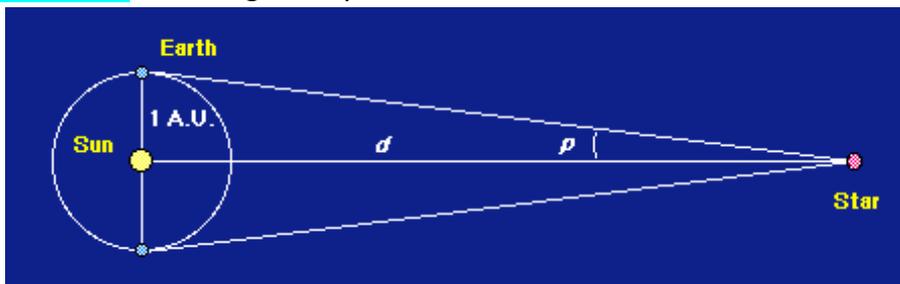


Il ciclo di vita di una stella di gran massa

## Le distanze delle stelle.

La distanza degli oggetti celesti è la grandezza fisica più difficile da misurare, eppure fondamentale per definire tutte le altre, ad esempio per valutare la potenza reale delle stelle non basta misurare il flusso di radiazione perché il flusso è inversamente proporzionale al quadrato della distanza. Di conseguenza tutta la fisica delle stelle, e degli altri corpi celesti, dipende anzitutto dalla distanza. Ci sono tre metodi per misurare la distanza.

**Parallassi:** Un'osservazione dell' oggetto (stelle vicine) a sei mesi di distanza. Attraverso la trigonometria di triangoli è possibile misurare la distanza



Lo schema delle misure di parallasse annuale

$$p = \frac{150 \times 10^6 \text{ km}}{d} = 0,1 \text{ arcsec} = 4.848 \times 10^{-7} \text{ radianti}$$

$$d = 3.086 \times 10^{19} \text{ cm} = 10 \text{ par sec} = 32.6 \text{ anniluce}$$

$$1 \text{ pc} = 2.06 \times 10^5 \text{ AU}$$

**Parallassi spettroscopiche:** Tutte le stelle di una data massa hanno la stessa luminosità e lo stesso colore, individuata una stella con lo stesso spettro, confrontando la luminosità di una stella con quell' assoluta ricavabile dalle caratteristiche spettroscopiche combinate con il diagramma di Hertzsprung-Ruseell, se n'ottiene la distanza.

$$L_{app} = L_{ass} \left( \frac{10 \text{ pc}}{d} \right)^2$$

**Variabile Cefeide** (indicatori di distanza): Nel 1912 l'astronoma Henrietta Leavitt scopre che una classe di stelle variabili mostra una precisa relazione di proporzionalità tra periodo di variabilità e luminosità assoluta. Anche Supernova sono gli indicatori migliori per le grandissime distanze.

$$\log\left(\frac{L_{media}}{L_{sole}}\right) = 1.15 \log p_{giorni} + 2.47$$

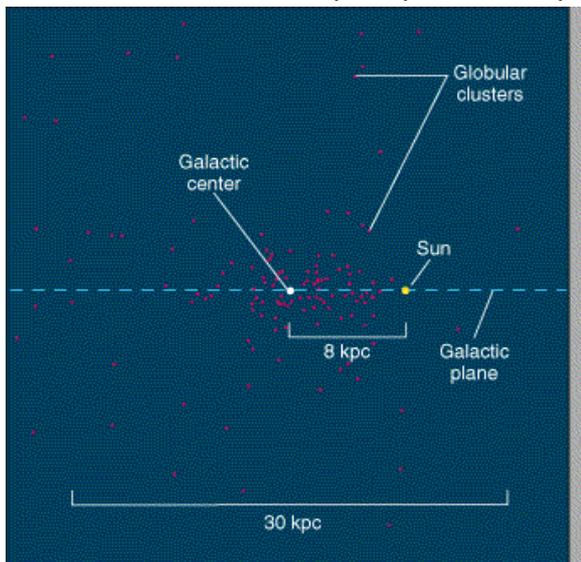
## La Galassia

Agli inizi del 20° secolo il concetto d'Universo era quello di un vasto sistema di stelle e nubi di gas rarefatto a forma di disco in cui il sole occupava una posizione centrale.

**Kapteyn(1912):** sulla base di un'accurata statistica della distribuzione delle stelle, ottenne una prima stima sulla dimensione e struttura ; gli estremi del disco sono **6.000 anni luce**.

**Shapley(1920):** il metodo periodo-luminosità delle stelle variabili osservate in 93 ammassi globulari ne calcolò la dimensione: uno sferoide dell'ordine **150.000anni luce**. Il centro è nella direzione della costellazione del Sagittario. →**10volte più grande di quanto immaginato da Kapteyn**

⇒Kapteyn non aveva potuto tenere conto dell'effetto di assorbimento della luce delle stelle da parte del gas interstellare ;perché la nostra visione del disco galattico è ridotta dalla "nebbia" assorbente del mezzo interstellare. Invece gli ammassi globulari sono presenti anche fuori del disco, per questo Shapley poté vedere più lontano.



Il modello di Shapley della Via Lattea.

## Le Galassie esterne

Le prima metà del 20° secolo rappresenta un periodo di grande sviluppo tecnologico dell'Astronomia ottica; nel 1905 a Monte Wilson fu inaugurato il telescopio riflettore con specchio da 2.5 m e nel 1948 iniziò ad operare lo specchio da 5.1m di Monte Palomar

**Curtis e Shapley:**nel 1920 alla Academy of Sciences a Washington, avvenne un grande dibattito tra Curtis e Shapley sulla natura delle nebulose catalogate da Messier prima e più recentemente da Lord Rosse, che presentavano una chiara struttura a spirale → sono Universo isola ( Galassie esterne) O sono oggetti all' interno della Galassia?

**Hubble(1923):** da una Cefeide della nebulosa di Andromeda ne ottenne la distanza 2.25 milioni di anni luce →**quasi 1000 volte maggior delle dimensioni della nostra Galassia, l'Universo delle galassie.**

**La prima classificazione delle galassie(1925):** fu proposta da Hubble secondo la morfologia delle galassie, classificandole in tre classi ; **spirali e spirali baratte(77%),ellittiche(20%), irregolari(3%)**

**Legge di Hubble(1929):**dalle osservazioni spettroscopiche giunse a concludere che le Galassie tendono ad avere spettri spostati verso il rosso.(doppler dinamico), le Galassie esterne si allontanano dalla nostra Galassia. Inoltre esiste una ben precisa correlazione lineare tra velocità di allontanamento e distanza; le galassie più lontane si allontanano più velocemente.

$$v = Hd$$

→con questa legge si possono misurare le distanze di galassie lontanissime, ma non si può misurare la distanza di stelle a partire dallo studio dello spostamento delle righe spettrali.

**Abell:** le prime mappe globali della distribuzione di galassie

## Le altre Astronomie

Da 1930:gli oggetti cosmici e in particolare proprio le galassie sono forti emettitrici di bande elettromagnetiche diverse dal visibile. →La nascita della radioastronomia.

Da 1960: Astronomia a raggi X →le Astronomie dei raggi ultravioletti, → infrarossi →gamma .

⇒**Contributo di queste Astronomie** non è solo complementare a quanto si osserva nella banda ottica, in queste diverse lunghezze d'onda di **rivelano oggetti ed eventi invisibili nell'ottico o che nell'ottico sono poco appariscenti**(le radiogalassie; esempio i quasar e le pulsar nella banda radio, le regioni di formazione stellare nell' infrarosso, i venti supersonici intorno a stelle calde e le nebulose planetarie nell'ultravioletto, le binarie compatte, i buchi neri e le galassie attive nei raggi X, ecc...

## La Cosmologia Fisica

**Einstein:** tentò un modello d'Universo statico, a partire da effetti dinamici locali, l'insieme delle galassie su grandi scala sarebbe rimasto immutabile

**Friedmann:** calcolò che le soluzioni più coerenti delle equazioni d'Einstein, in cui l'Universo delle galassie si espande o si contrae mantenendo immutati i rapporti di distanze relative tra le galassie, proprio come prevede la legge di Hubble che l'Universo è in espansione.

**Universo aperto:** in cui il fattore scala cresce indefinitamente

**Universo Chiuso:** il cui il fattore di scala cresce fino ad un massimo per trasformarsi arrestarsi e tornare a decrescere verso zero.

**Big Bang(1940):**l'Universo è iniziato da una violenta espansione dello spazio-tempo.

**Radiazione di corpo nero di fondo(1942):** Alpher, Bethe e Gamow proposero che dovesse essere rimasta da quella fase calda una componente di radiazione di corpo nero in fase di raffreddamento.

**Penzias e Wilson(1965):** rivelarono tale radiazione di corpo nero di fondo attraverso le misure delle microonde.

**Materia oscura:** interagisce solo gravitazionalmente e in nessun altro modo con la materia visibile. Può essere valutata dalla dinamica delle galassie e determinata dalla forza gravitazionale: su scale di gruppi e ammassi di galassie è possibile calcolare quanta materia oscura è necessaria per determinare i moti osservati. → La materia oscura può essere in quantità oltre 10 volte superiore alla materia visibile.

**1998: Due gruppi d'osservatori del California**, specializzati nella rivelazione di supernove in galassie lontane, scoprono che le galassie lontane risultano più distanti di quanto rivisto dalla legge di Hubble

Le due ragioni principali sono le supernove in galassie lontane, risultate relative a tempi molto primitivi nella vita dell'Universo, sono diverse da quelle attuali.

L'Universo sta accelerando, le galassie più lontane seguono non la legge di Hubble, ma una legge che richiede un progressivo aumento della velocità d'espansione dell'Universo.

**Energia Oscura:** Un'energia che domina l'Universo che dà origine a tale effetto inspiegabile.

Potrà essere falsificato da future osservazioni.