

COS'È L'ASTRONOMIA MODERNA

L'astronomia antica

- L'astronomia antica è caratterizzata dalla sostanziale ignoranza della fisica.
- Aristotele divide l'universo in due parti:
- **Sublunare** – cioè **la Terra**: il luogo dei fenomeni della natura e dei cambiamenti non necessariamente periodici.
- **Mondo celeste** – cioè il luogo dei fenomeni del cielo che sono **immutabili** o **periodici**.
- Le comete, fenomeno non periodico, sono intese come fenomeno sublunare. Attribuirlo al mondo celeste metterebbe in discussione l'assoluta regolarità dei fenomeni dei pianeti e delle stelle.

GALILEO ED IL TELESCOPIO

- Galileo (1564-1642), con l'osservazione, constata che la natura della Luna è simile a quella della Terra.
- Le macchie del Sole non sono fenomeni periodici.
- L'osservazione si sviluppa nel tempo con nuovi e più evoluti strumenti e si comincia a capire che anche nel mondo celeste esistono fenomeni di cambiamenti non solo periodici.
- La Terra è una semplice componente dell'intero universo.

Keplero

- Keplero (1571 – 1630) scopre le leggi dei moti planetari.
- Tecniche di osservazione e calcolo cominciano a dare una dimensione alle orbite ed ai corpi del sistema solare.
- Ovviamente siamo ben lontani dal conoscere le caratteristiche fisiche dei pianeti ma vengono attribuiti ad essi una sostanziale similarità con quelle della Terra.
- Le grandi domande che sorgono a questo punto sono:
 1. Cosa sono le stelle, le nebulose e le galassie?
 2. Quali distanze ci separano da questi corpi che illuminano il cielo notturno?
 3. Il Sole appartiene al mondo delle stelle?

La natura ed i fenomeni del Cosmo

- Le domande sono ovvie:
- Il Sole cosa brucia per riscaldarci?
- Le stelle sono della stessa natura del Sole?
- Perché ci sono stelle di colore diverso?
- Cosa sono le comete e le stelle cadenti?
- Quali sono le dimensioni dell'Universo?
- Le galassie sono ammassi di stelle?
- Quanto sono distanti da noi?

Le basi del lavoro di ricerca

- Ogni forma di ricerca chiede il rispetto di una certa procedura:
 1. Classificazione degli oggetti della ricerca;
 2. Individuazione delle cause che ne determinano le caratteristiche;
 3. Osservazione dell'evoluzione degli oggetti e delle contestuali caratteristiche;
 4. Sviluppo di teorie che permettano di spiegare i fenomeni osservati in oggetti diversi od in tempi diversi.

Classificazione delle stelle

- La prima classificazione delle stelle è stata quella della loro **luminosità** o **magnitudine**.
- L'autore di una prima classificazione delle stelle in base alla loro luminosità fu fatta da Ipparco da Nicea (150 a.C. – 120 a.C.).
- Egli definì come stelle di 1^a grandezza le più luminose, di 6^a quelle appena percepibili.
- Ovviamente questa classificazione era molto imprecisa.

Classificazione delle stelle

- Oggi esiste una scala precisa determinata da criteri scientifici di luminosità.
- Praticamente definita la luminosità corrispondente alla 1^a grandezza (o **magnitudine**) le stelle di 2^a grandezza sono 2, 512 volte meno luminose, così quelle di 3^a grandezza sono 2, 512 volte meno luminose di quelle di 2^a e così via.
- In pratica 100 stelle di 6^a grandezza, messe assieme, fanno la luminosità di una stella di 1^a grandezza.
- Ovviamente si sono dovuti inventare strumenti atti a misurare la **luminosità** e quindi la **magnitudine**.
- Corpi più luminosi avranno una scala negativa (Venere può raggiungere la luminosità di grandezza -4.)

Come si misura la luce delle stelle?

- I sensori usati oggi nella fotometria astronomica sono dei rilevatori elettronici basati sul silicio, chiamati CCD che significa **Charge-Coupled Device** (dispositivi ad accoppiamento di carica).
- Questi sensori vengono montati su apposite camere fotografiche e integrati con i circuiti elettronici necessari al loro funzionamento.
- Le camere CCD per uso astronomico dispongono di un sistema di raffreddamento e sono costruite in modo che possano essere facilmente integrate nelle ottiche di un telescopio.
- E' chiaro che inizialmente la misura della magnitudine delle stelle procedeva in maniera molto più elementare.

Ma bisogna conoscere anche le distanze delle stelle

- Per confrontare le stelle non basta conoscere la loro **luminosità (magnitudine)**, ma serve anche la loro distanza.
- Una stella molto luminosa può essere molto lontana e sembrare più piccola.
- Le tecniche di misura della distanza delle stelle ha subito una sensibile evoluzione ed hanno sfruttato l'evoluzione delle nostre conoscenze delle stelle stesse.

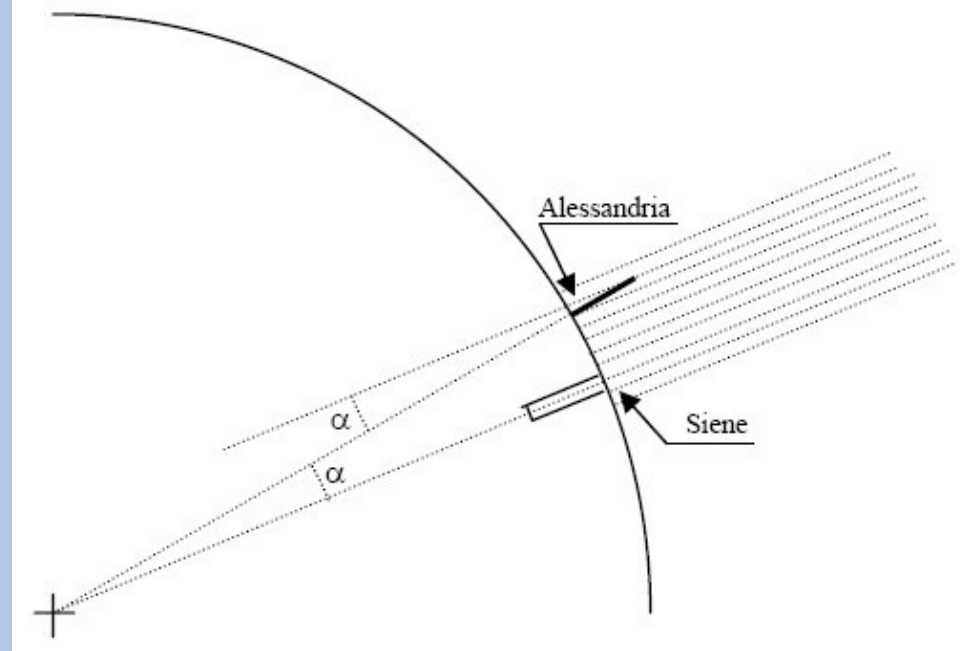
Le leggi fisiche, le misure e l'errore

- Le misure che noi facciamo sono inevitabilmente soggette ad errori dovuti a fattori diversi:
 - errori sistematici (per lo più legati alle tecniche ed agli strumenti usati per l'esecuzione delle misure),
 - errori accidentali (per lo più dovuti alle condizioni del momento in cui vengono eseguite le misure od all'operatore).
- Le misure effettuate con metodi indiretti comportano la sovrapposizione degli errori connessi nelle misure delle grandezze che poi convergono nel dato finale.

La Terra e le sue dimensioni

- A prima vista la Terra appare piatta.
- Il nostro orizzonte sembra estendersi attorno a noi in modo da apparire limitato solo dalla nostra capacità di guardare più lontano.
- Se la Terra fosse piatta per conoscerne le dimensioni dovremmo estendere le nostre triangolazioni fino ai suoi confini (se li troviamo).
- Ma Aristotele, osservando l'ombra proiettata dalla Terra sulla Luna durante le eclissi, osservò che essa presentava sempre dei bordi circolari.
- Così concluse che la Terra è di forma sferica perché l'unico solido che, comunque orientato, presenta sempre l'ombra la forma circolare è la sfera.
- Il modello fisico della Terra è diventato fondamentale per progettare la tecnica adatta alla sua misura.

- Eratostene osservò che al solstizio d'estate, a mezzogiorno, la luce del Sole illuminava il fondo dei pozzi a Syene (Assuan) mentre ad Alessandria un obelisco proiettava la sua ombra.
- Egli **stimò** che le due città si trovavano sullo stesso meridiano e che la loro distanza era di circa 5.000 stadi (poco meno di 800 km).
- Misurato l'angolo formato fra i raggi del Sole e l'obelisco di Alessandria (angolo uguale a quello fra i raggi terrestri passanti per le due città), Eratostene ottenne il valore di 1/50 dell'angolo giro.
- Pertanto l'intera circonferenza terrestre è risultata di 39.400 km.

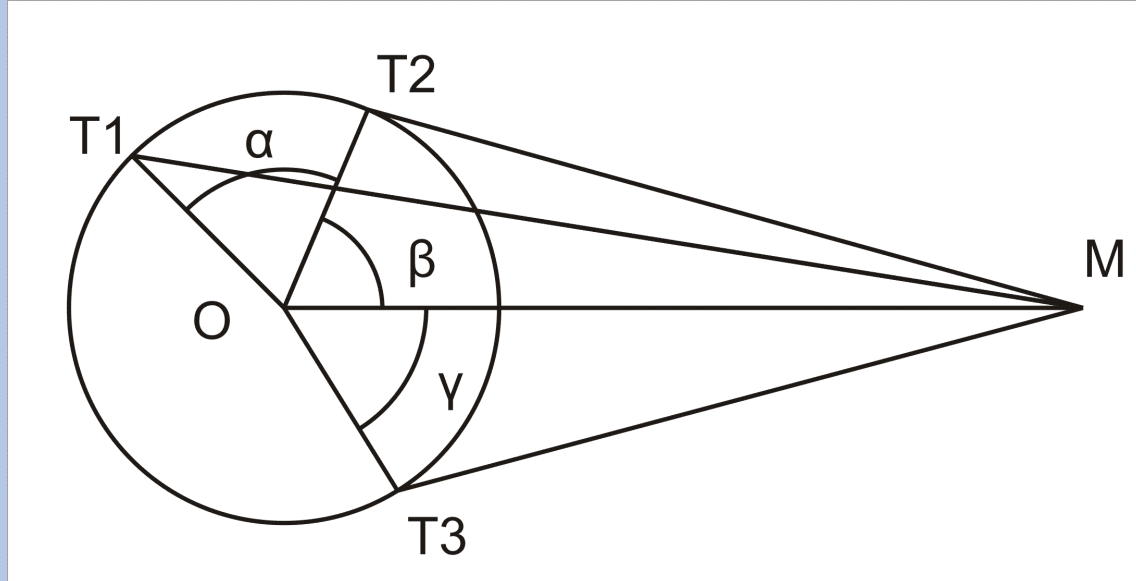


Eratostene

(Cirene, 276 – Alessandria 195 a.C.)

La misura del meridiano terrestre

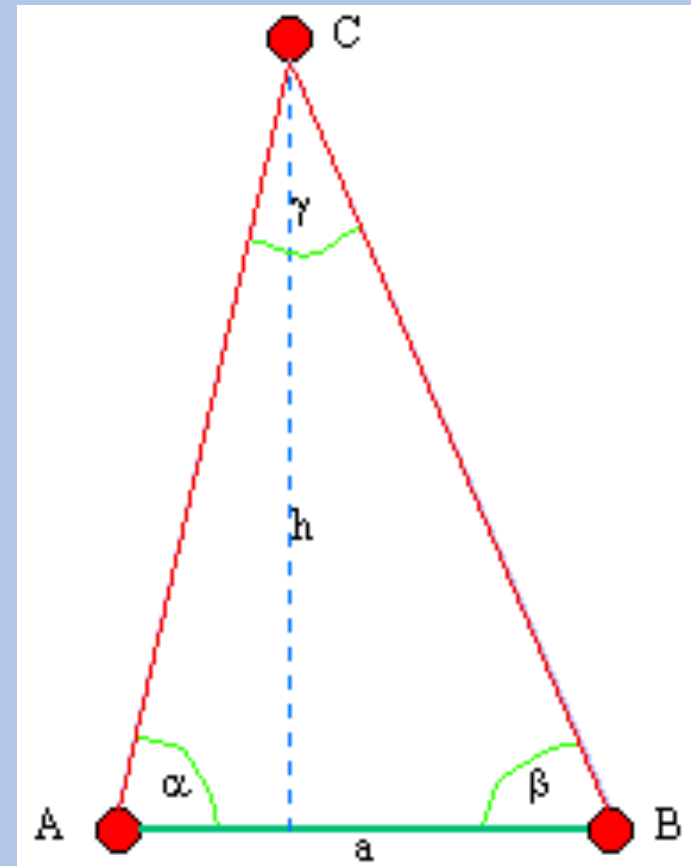
Le distanze all'interno del Sistema Solare



- Keplero, stabilito il principio dell'eliocentrismo, cercò di stabilire il sistema di distanze all'interno del Sistema Solare.
- Il suo ragionamento fu semplice quanto efficace:
 - Ogni pianeta ritorna allo stesso punto della sua orbita ad ogni rivoluzione (Marte ogni 687 giorni circa);
 - Alla fine di ciascun intervallo di tempo, la Terra si troverà in posizioni diverse sulla sua orbita;
 - Siccome conosciamo gli angoli al centro dell'orbita terrestre, e possiamo misurare gli angoli in T1, T2, T3, possiamo ricostruire in scala la forma dell'orbita terrestre, **ponendo come nota la distanza MO = Sole - Marte.**

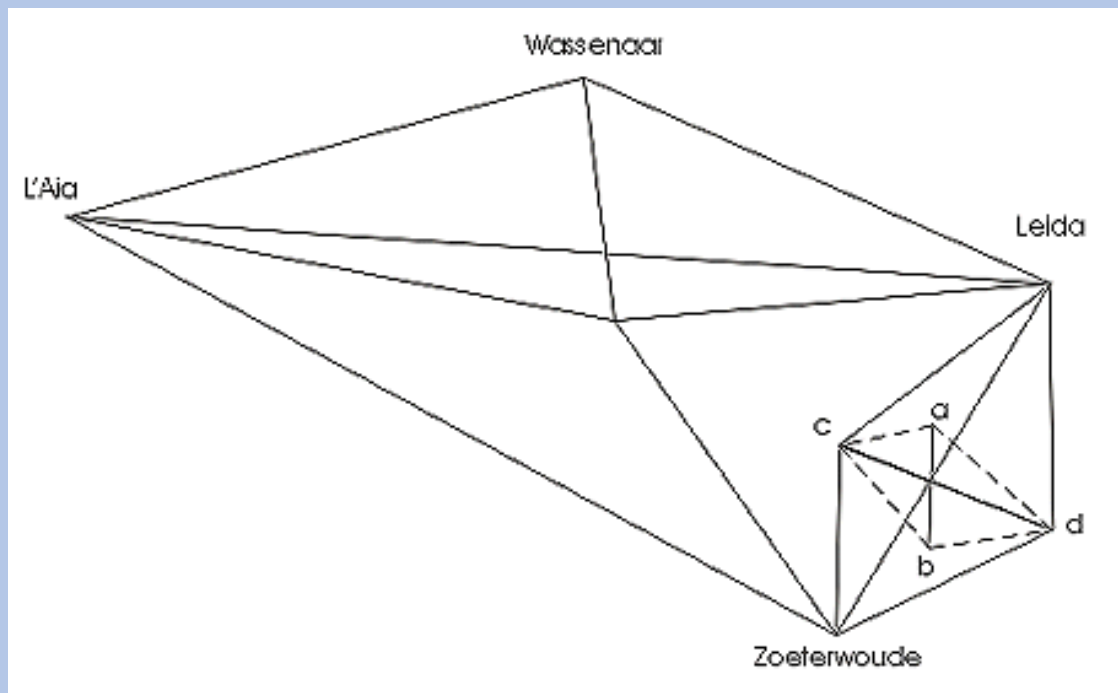
La tecnica delle triangolazioni

- Questo metodo viene usato quando da due punti (**A** e **B**) raggiungibili e posti a distanza nota (**a**) vogliamo misurare la distanza da **C**, punto non raggiungibile.
- Misurati da A l'angolo α e da B l'angolo β , si risolve il triangolo ABC applicando i teoremi della trigonometria.
- Risulta evidente che gli errori possibili sono connessi con le misure utilizzate.
- In particolare si noti che l'angolo γ tende a 0° quando la somma degli angoli α e β tende a 180° e quindi si avvicina sempre più ad un valore pari od inferiore al suo margine d'errore.



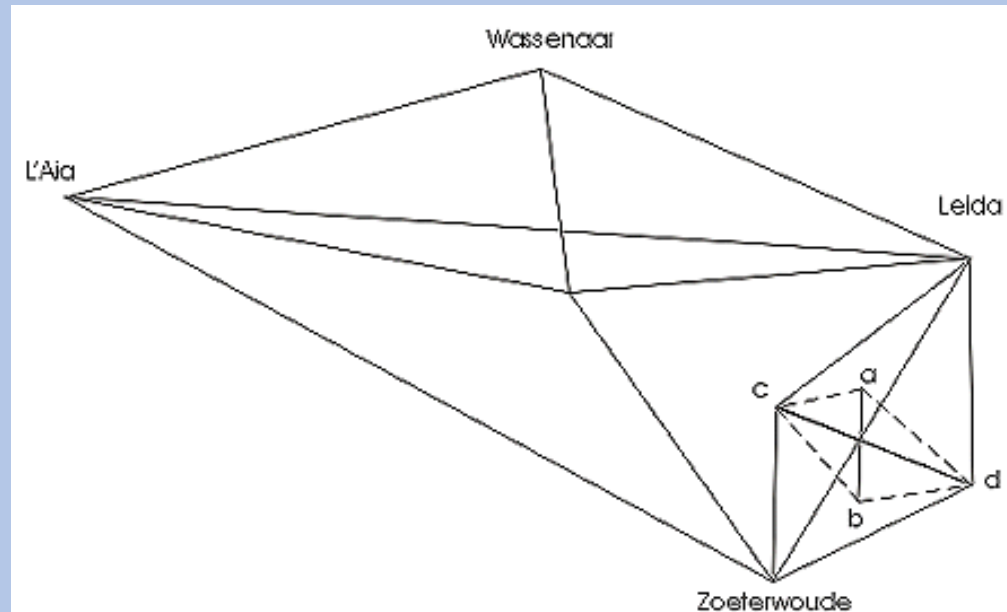
Snellius e la misura del meridiano terrestre

- L'era delle triangolazioni fu inaugurata **Willebrord Snellius** (1580-1626), in Olanda, nel 1614.
- Snellius mediante un'asta metallica di 3,768 metri (1 ruta olandese) misurò nei pressi di Leiden una base di 328 metri; traguardando poi dagli estremi a e b di questa base, mediante un quadrante di ottone di 60 cm di raggio, due punti di riferimento c e d sul terreno e risolvendo i due triangoli così ottenuti ricavò la distanza tra c e d e poi via via le altre misure.



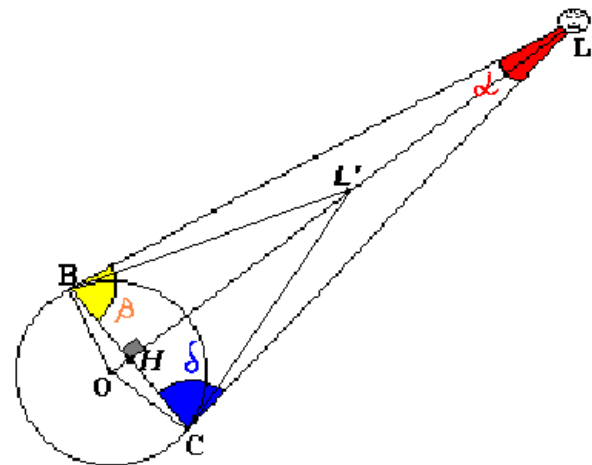
- Alla fine, comparando:
 - misure di longitudine e latitudine dei punti estremi delle sue misure,
 - misura lineare della congiungente,
- **coloro** che portarono a termine l'elaborazione delle nuove misure (Snellius morì prima del termine della revisione dei dati) trovarono per la circonferenza terrestre un valore di **40.370 km**, risultato ammirevole per gli strumenti di cui disponeva Snellius.

Snellius



- Nel 1752 gli astronomi **Lalande e Lacaille**, per misurare la distanza Terra - Luna, si stabilirono rispettivamente a **Berlino (B)** e al **Capo di Buona Speranza (C)** (*per una migliore osservazione da due punti posti quasi sullo stesso meridiano*).
- Da lì puntarono punti convenuti della superficie lunare (L) nel medesimo istante e registrarono indirettamente la misura dell'angolo BLC attraverso gli spostamenti del punto L sulla volta celeste.
- Il 1° Maggio 2006 degli studenti di Iran, Thailandia, India e Stati Uniti hanno adottato la stessa tecnica a titolo di esercitazione con risultati ottimali.

La distanza Terra - Luna



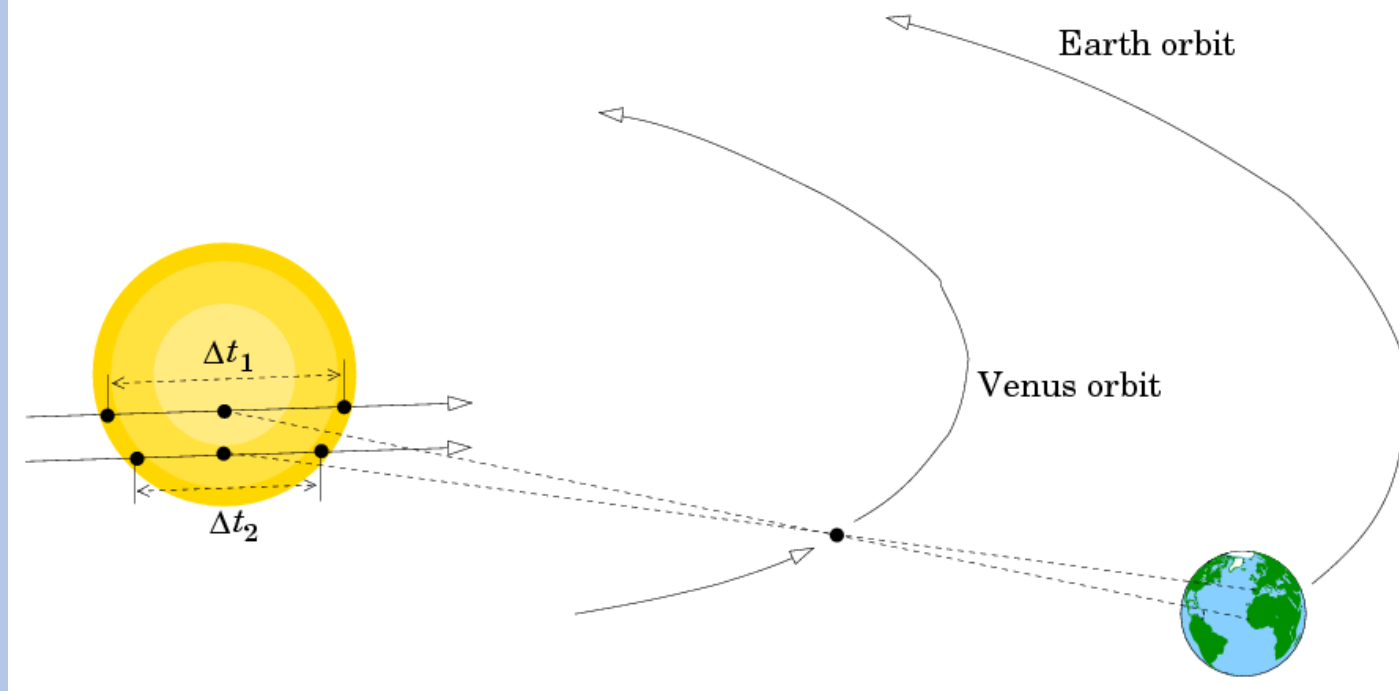
La distanza Terra - Marte

- Giovanni Domenico Cassini (1626 – 1712) misurò, con il metodo della triangolazione, la distanza fra la Terra e Marte durante un'opposizione del pianeta rosso.
- Due osservatori misurarono contemporaneamente la posizione di Marte rispetto alle stelle “fisse” da due osservatori (quello di Parigi e quello della Cayenne nella Guyana Francese).
- Nelle due osservazioni Marte apparve leggermente spostato rispetto alle stelle di fondo, e da questo spostamento, conoscendo la distanza fra i due osservatori, si poté calcolare la distanza Terra – Marte.

La distanza Terra – Sole con il transito di Venere

- La distanza misurata da Cassini era abbastanza vicina al valore vero.
- Misura più precisa della distanza Terra-Sole si ottenne comunque un secolo più tardi utilizzando il metodo proposto dall'astronomo inglese Edmund Halley (1656-1742).
- Durante il soggiorno sull'isola di Sant'Elena osservò Mercurio che passava davanti al Sole e pensò che un passaggio di Venere (pianeta più vicino alla Terra di Mercurio e che sarebbe passato nel 1761) sul disco solare, avrebbe consentito di misurarne la parallasse.

Transito di Venere

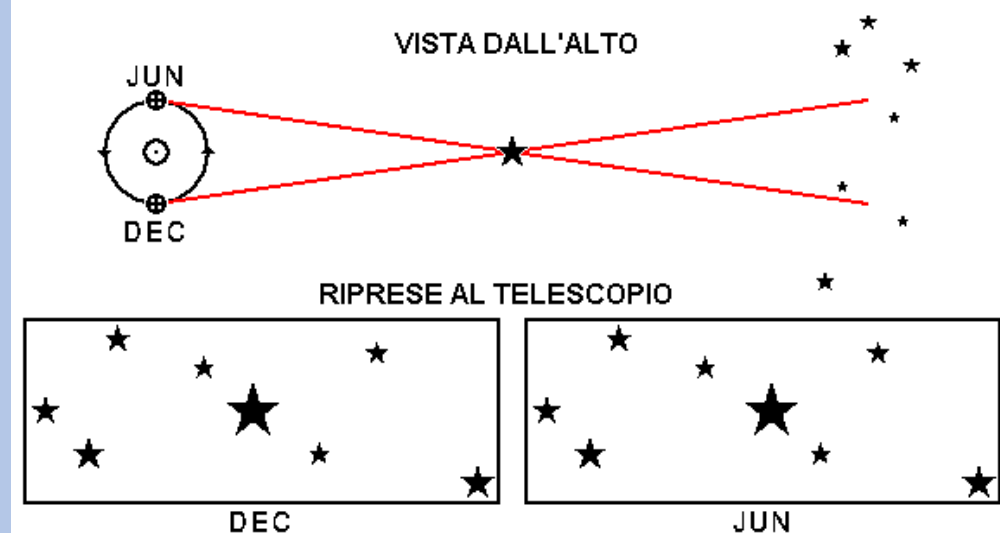


- Osservando Venere da due posizioni, si misura la differenza angolare fra i due percorsi osservati sul Sole;
- Noi conosciamo il rapporto fra le distanze Terra – Venere e Venere - Sole; possiamo conoscere l'angolo sotto il quale da Venere si vedono i nostri due punti di osservazione (parallasse)
- Conoscendo il valore assoluto della parallasse di Venere possiamo stabilire la distanza dalla Terra.

La distanza Terra – Sole con il transito di Venere

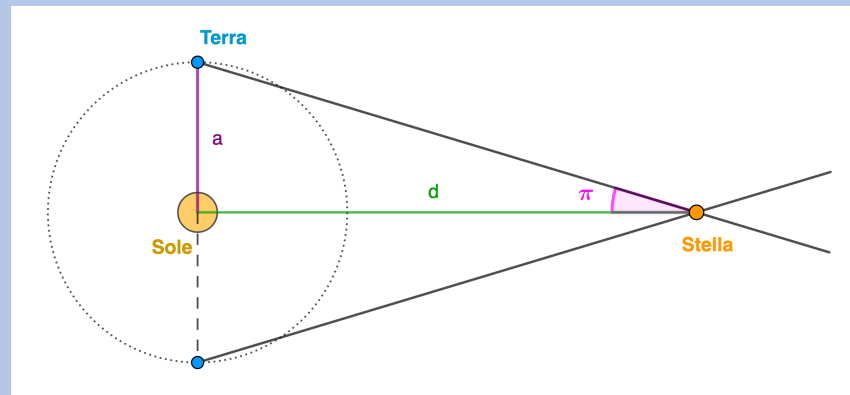
- Nota la distanza Terra – Marte o Terra - Venere, la scala delle distanze di Keplero diventa efficace per conoscere tutte le distanze del Sistema Solare.
- Alla fine del 1700 era nota quindi con sufficiente precisione la distanza della Terra dal Sole, valutata in circa 150 milioni di chilometri detta «unità astronomica» (U.A.), unità di misura delle distanze dei pianeti dal Sole.
- Oggi si usano metodi più raffinati (**per es., con l'impiego del radar per misurare la distanza fra la Terra e Venere quando si trova in quadratura cioè nel momento della massima elongazione dal Sole**) e si ottiene un valore molto più preciso

Dalla triangolazione alla parallasse



- La tecnica della parallasse stellare è l'estensione di quello della triangolazione.
- L'osservazione dell'oggetto lontano viene effettuata da due posizioni distanti fra di loro (due posizioni opposte sulla Terra o due posizioni della Terra opposte sull'orbita).
- Data la distanza fra i punti di osservazione e l'oggetto, si può ritenere
 - la distanza fra le posizioni assunte dalla Terra a Giugno ed a Dicembre come un arco di circonferenza di raggio Stella – Terra e
 - corrispondente ad un angolo al centro uguale alla misura dell'angolo rilevato sulla volta celeste fra le due proiezioni della stella.

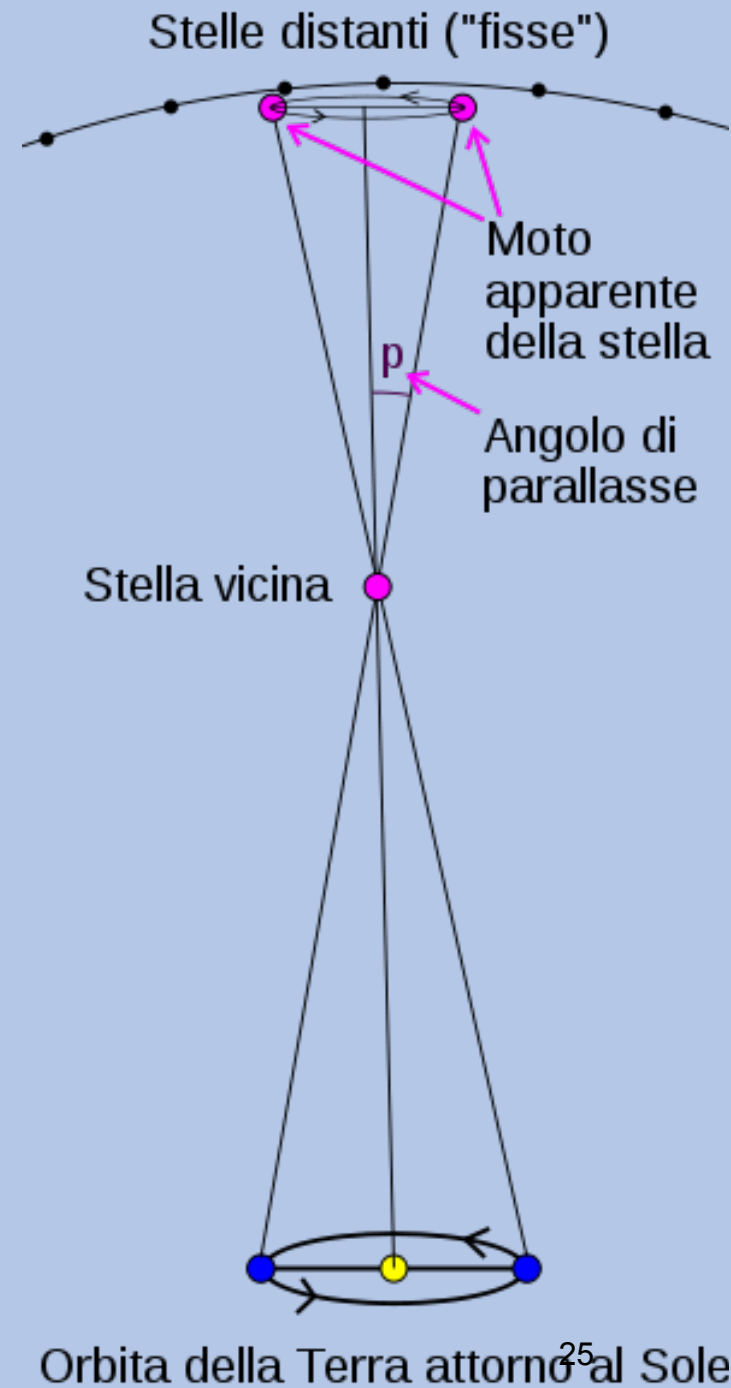
Le distanze delle stelle



- La Terra come base di misura della distanza delle stelle è insufficiente.
- Si è pensato così di adottare come base le posizioni estreme che la Terra assume sulla propria orbita.
- In questo caso la base del triangolo usato nelle misure è l'asse dell'orbita terrestre che corrisponde a 2 volte l'U.A.
- Il metodo più immediato per misurare le distanze celesti è quello della parallasse.
- Il *parsec* è la distanza alla quale la parallasse annua è esattamente di un secondo d'arco, ed equivale a 3,26 anni luce.

Le distanze delle stelle

- La stella a noi più vicina, Proxima Centauri, presenta una parallasse di $0,750''$.
- La sua distanza è $1 / 0,750 = 1,33$ parsec, ovvero 4,3 anni luce.
- La prima misura di parallasse stellare fu fatta nel 1838 da Friedrich Wilhelm Bessel su 61 Cygni.



La distanza delle stelle

- Il problema pertanto è quello di stabilire la massima distanza misurabile con risultati affidabili.
- Prima dell'invio del satellite **Hipparchos**, con tecniche di elaborazione che utilizzavano dati di più osservatori, eravamo arrivati a **0,005''** pari ad una distanza misurabile di **200 parsec**.
- Con il satellite **Hipparchos**, siamo arrivati a circa **0,001''** pari a **1.000 parsec**.
- Con il satellite **Gaia** si è arrivati a **0,000001''** pari a **10.000 parsec**.

La luce delle stelle

- Un fattore importante nello studio delle stelle è la loro comparazione in base ai fenomeni che presentano.
- Logica vuole che stelle simili per diversi fattori ma con magnitudini diverse siano semplicemente collocate a distanze diverse.
- Talvolta una stella con caratteristiche particolari può trovarsi inserita in un complesso (galassia) troppo lontano per misurare con adeguata precisione la sua distanza e quella delle altre stelle ad essa vicine.
- Ora se compariamo le magnitudini di stelle caratteristiche con distanza nota con quelle di loro simili, anche collocate anche in complessi lontani, saremo anche in grado di stabilire le distanze di quest'ultime e del complesso in cui si trovano.

La luce delle stelle

- La luminosità delle stelle appare all'osservatore in base a due fattori.
 1. Sua intensità in base alle dimensioni e caratteristiche della stella;
 2. Distanza della stella.
- La magnitudine è l'unità che esprime la misura della luminosità, come abbiamo visto.
- La magnitudine di una stella si dice **relativa** quando consideriamo la magnitudine che essa presenta così come la osserviamo.
- La magnitudine di una stella si dice **assoluta** quando consideriamo la sua magnitudine quale essa presenterebbe quando la si collocasse alla distanza standard di 10 parsec da noi osservato.
- Per studiare e comparare i fenomeni delle stelle abbiamo bisogno di convertire la loro magnitudine **relativa** in **assoluta**, per far ciò dobbiamo calcolare quale sarebbe la sua magnitudine alla distanza standard.

La luce delle stelle

- Ora se una stella caratteristica per noi ha una certa **magnitudine assoluta (nota o calcolata conoscendone la distanza)** ed osserviamo una stella simile ma con diversa **magnitudine apparente (che misuriamo)** possiamo **ottenere la distanza di quest'ultima in quanto unica causa della diversità di magnitudine.**
- Con questo metodo si cerca di valutare distanze che superano di molto quelle ottenibili con i metodi geometrici.
- Le stelle dalle caratteristiche fisiche note e di luminosità e distanza note assumono così la funzione di stelle campione per le stelle loro simili.
- Il metodo delle grandezze campione si basa sul principio secondo il quale è possibile mettere in **relazione alcuni fenomeni presentati da un corpo celeste e la sua magnitudine assoluta.**

Metodo della grandezze campione

- Dato un **flusso luminoso (F)** che parte da una stella, questo va in tutte le direzioni e si distribuisce su una **superficie sferica di raggio pari alla distanza percorsa**.
- Chiamiamo **Luminosità di una stella (L)** ad **una certa distanza (d)** da essa la quantità di flusso che giunge all'unità di superficie.
- $L_1 = F / (4\pi d_1^2)$
- $L_1 * d_1^2 = F / (4\pi)$

Metodo della grandezze campione

- Se una stella
- a **distanza d_1** appare di **Luminosità L_1**
- alla **distanza d_2** che **Luminosità L_2** mostrerà?
- Applichiamo la formula già ottenuta:
- $L_1 * d_1^2 = F / (4\pi)$; allora
- $L_2 * d_2^2 = F / (4\pi)$
- Quindi
- $L_1 * d_1^2 = L_2 * d_2^2$
- $L_1 / L_2 = d_2^2 / d_1^2$
- Possiamo dire che la **Luminosità di una stella** (flusso luminoso che arriva a noi) è **inversamente proporzionale al quadrato della sua distanza** da noi.

Metodo della grandezze campione

- Esiste una relazione tra **Luminosità delle stelle** (flusso luminoso che ci arriva dalle stelle) e la loro **Magnitudine** (relativa od assoluta);
- **La Luminosità è lo stimolo** che colpisce il nostro occhio e gli apparecchi di misura.
- **Se lo stimolo aumenta di 2,512 volte, la magnitudine diminuisce di una unità, per cui:**
- $M_2 - M_1 = - 2,512 * \log_{10} (L_2 / L_1)$
- infatti
- $0,4 = \log_{10} (L_2 / L_1)$ quando $(L_2 / L_1) = 2,512$
- $M_2 - M_1 = - 2,512 * (- 0,4) = 1$

Metodo della grandezze campione

- Assegnata la M = magnitudine assoluta;
- Misurata la magnitudine relativa m :
- Troviamo la distanza della stella (d).
- $M = m + 5 - 5 * \log_{10}(d)$

Ma esistono queste grandezze campione?

- Oggi conosciamo diversi astri che presentano delle caratteristiche che permettono di utilizzarli come astri campione ovvero come **candele standard**:
 - Le stelle variabili dette Cefeidi;
 - Le stelle variabili dette RR Lyrae;
 - La 25^a stella di un ammasso globulare;
 - Gli ammassi globulari;
 - Le parallassi spettroscopiche;
 - Le “Novae tipiche”.

I limiti del metodo

- Ovviamente il metodo ha un limite
 - Sia nel valore della magnitudine assoluta attribuito per il tipo di astro (la magnitudine assoluta è legata ad un fenomeno che sarà verosimilmente prossimo a quello dell'astro standard, ma mai identico);
 - Sia nel valore della magnitudine relativa misurata, perché esiste un problema di assorbimento interstellare difficilmente valutabile con precisione adeguata.

- La stella δ Cephei è stata la capostipite di stelle soggette ad un ciclo di variabilità: dallo stadio di minima luminosità la stella passa in poco tempo a una luminosità doppia e poi torna allo stato iniziale; il ciclo si ripete con regolarità.
- Si trovò che molte stelle si comportano in maniera analoga, e furono chiamate, dal nome della capostipite, **variabili cefeidi** o, semplicemente, **cefeidi**.

Le stelle variabili dette Cefeidi



- I cicli di variabilità delle cefeidi vanno da meno di 1 giorno a quasi 2 mesi. Il periodo di δ Cephei, ad esempio, è di 5,3 giorni.
- Nel 1912 Henriette Leavitt scoprì nella piccola Nube di Magellano 25 cefeidi e ne determinò i periodi di variabilità.

Le stelle variabili dette Cefeidi



- La Piccola Nube di Magellano è una galassia nana irregolare in orbita attorno alla Via Lattea.
- Situata ad una distanza di circa 200.000 anni luce, è una delle compagne della Via Lattea più vicine.
- Le magnitudini delle stelle della Nube di Magellano possono essere considerate come magnitudini assolute diminuite di un fattore costante (ignoto).

Le stelle variabili dette Cefeidi



- La Leavitt riuscì così a stabilire una relazione fra **durata del periodo** e **magnitudine assoluta** della stella.
- Prima questo non era stato possibile perché non si potevano comparare le distanze delle cefeidi note.

Le stelle variabili dette Cefeidi



Le stelle variabili dette Cefeidi

- Infatti la maggior parte delle Cefeidi era fuori portata del sistema di misura con parallasse.
- A questo punto il problema fu quello di stabilire la distanza di un numero di Cefeidi sufficiente a tarare il sistema.
- Al problema si applicarono efficacemente diversi astronomi: Ejnar Hertzsprung, Harold Shapley, Edwin Hubble, tanto per dire alcuni.

Le stelle variabili dette Cefeidi

- Nel 1942 Baade scoprì nella galassia di Andromeda una differenza tra le stelle delle zone più interne e quelle più esterne, e giunse alla **divisione delle stelle in due popolazioni stellari, la popolazione I e la popolazione II**;
- In seguito, dal confronto fra le cefeidi di **popolazione II**, situate negli ammassi globulari, con quelle del nostro braccio di spirale (**popolazione I**), risultò che quelle di **popolazione II** seguivano la curva stabilita dalla Leavitt, mentre quelle di **popolazione I** hanno una luminosità tra 4 e 5 volte maggiore di una di **popolazione II** dallo stesso periodo.

- Le variabili di tipo RR Lyrae (questo è il nome della capostipite) sono stelle pulsanti come le Cefeidi;
- hanno una massa molto più ridotta di quella delle Cefeidi ed un periodo molto breve (meno di 1 giorno).
- vengono individuate negli **ammassi globulari**, e sembrano avere tutte la stessa magnitudine assoluta, che al minimo si situa attorno a 0,6.

Distanze delle RR lyrae



- Si tratta di due metodi statistici.
- La magnitudine della 25^a stella in ordine di grandezza viene assunta come determinata e sulla base di questa si valuta la distanza dell'ammasso.
- Per quanto concerne gli ammassi stellari si esegue una doppia comparazione: luminosità ed estensione.
- Supposta una certa luminosità se ne valuta la distanza e si valuta se questa è compatibile con le dimensioni angolari presentate dall'ammasso. In tal modo si ha una correzione del semplice calcolo statistico.

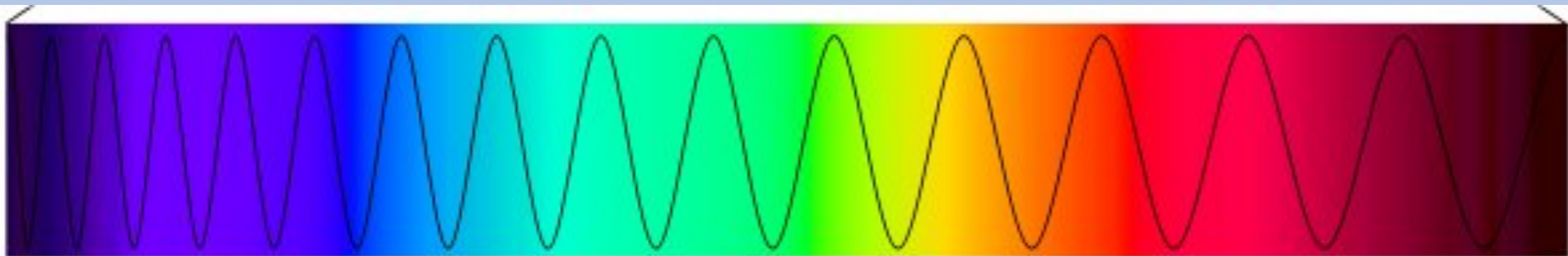
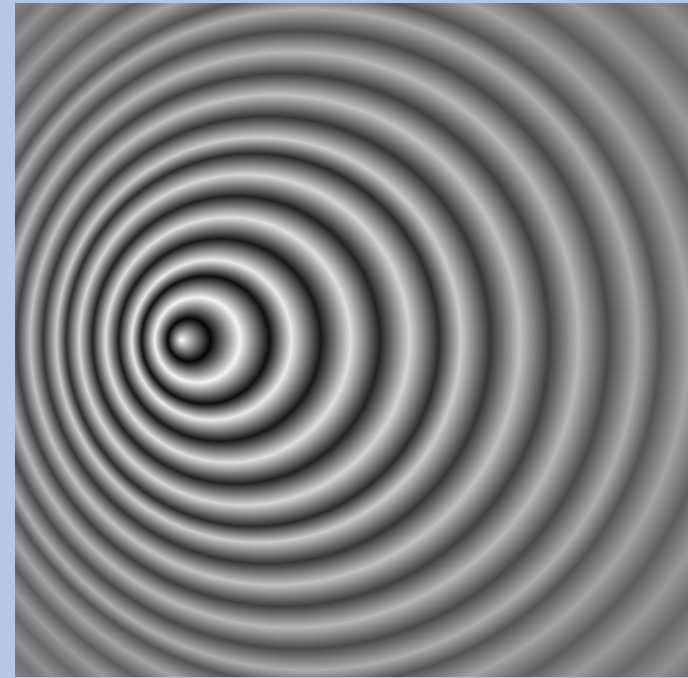
La luminosità della 25^a stella di un ammasso globulare

La luminosità degli ammassi stellari

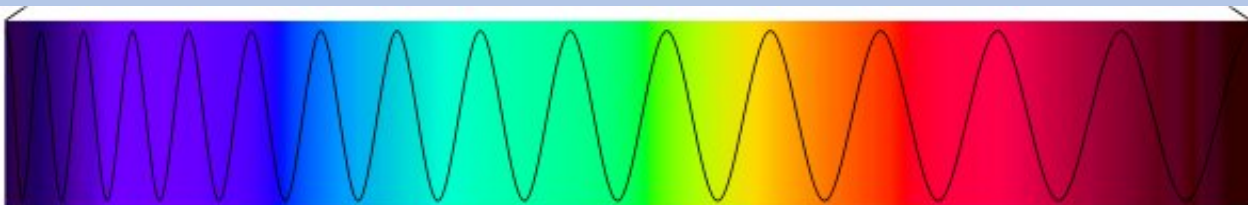


- Fra gli strumenti d'indagine nella determinazione delle distanze celesti, come vedremo, ha il suo peso l'effetto Doppler.
- Il movimento della fonte di un segnale (o del punto di ricezione) determina una variazione della lunghezza d'onda.
- Questo avviene sia per il suono sia per i segnali elettromagnetici (luce, radio, ecc.)

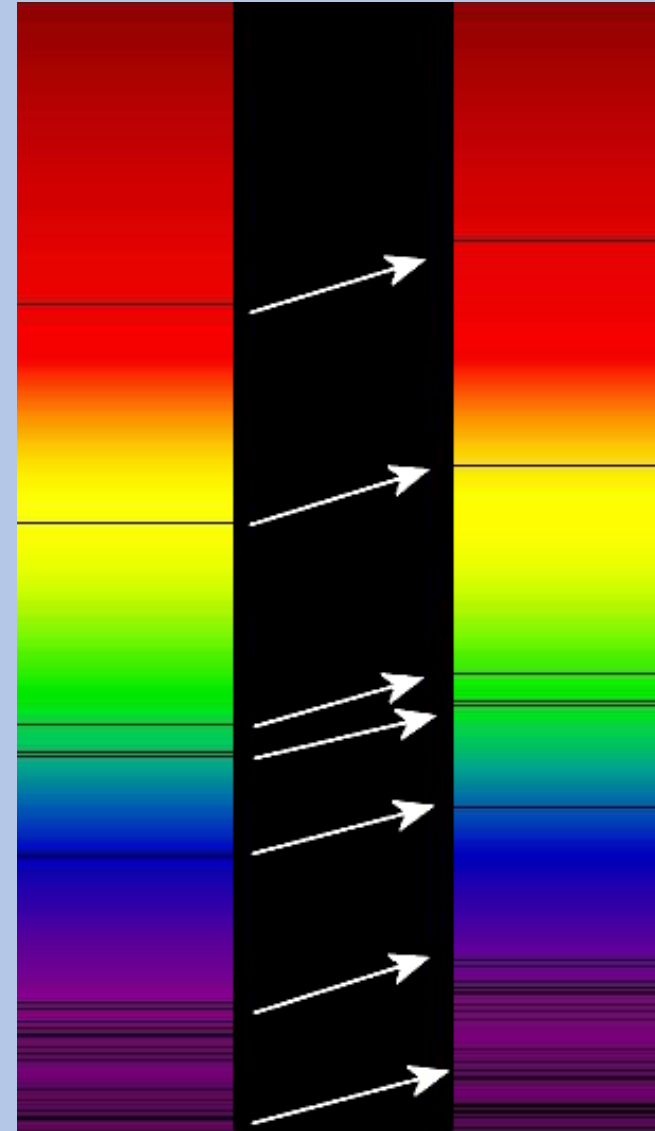
Effetto Doppler



- Nel caso dei segnali elettromagnetici il movimento si rivela con uno spostamento delle righe di Fraunhofer che si spostano verso il rosso se la fonte si allontana, verso il violetto se si avvicina.
- L'entità dello spostamento permette di calcolare la velocità del movimento.



Effetto Doppler



- **Le stelle Novae tipiche** sono stelle che, al termine del loro ciclo evolutivo, presentano delle grandi variazioni di luminosità.

- Si è constatato che esiste una relazione fra alcune caratteristiche rilevabili negli spettri di queste stelle e la loro magnitudine.

Le Novae tipiche
Le supernovae



- Le stelle supernove esplodendo espandono la loro materia in tutte le direzioni.
- Misurando
 - la loro dimensione angolare, **otticamente**, e
 - la loro velocità di espansione, **spettroscopicamente**, con l'effetto Doppler,
- possiamo stabilirne la distanza.

Le Novae tipiche
Le supernovae



- La localizzazione di una stella Supernova su una galassia permette di valutare la distanza della stella e della galassia di appartenenza.
- Poi la distanza verrà comparata con il **redshift** della galassia.
- I metodi statistici sono utilizzati, per quanto possibile, in combinazione con altre tecniche ed a supporto e convalida di altri tipi di misurazioni.

Le Novae tipiche
Le supernovae



- La legge di Hubble
 - L'astronomo Edwin Hubble ha accertato che l'universo si sta espandendo per cui le galassie si stanno allontanando da noi ad una velocità proporzionale alla loro distanza;
- La determinazione del fattore di proporzionalità (la **incostante di Hubble**, cosiddetta scherzosamente per i numerosi aggiustamenti che ha subito negli ultimi anni) è uno dei punti centrali dell'astrofisica moderna.
- Valutazioni di altri fenomeni espansivi cui sono soggette le stelle degli ammassi aperti (strutture stellari come quella delle Pleiadi) che si dipartono dalla comune area di origine.

Altri metodi



Altri metodi

- La parallasse statistica (se una stella ha una certa velocità radiale, supponiamo che abbia anche certe velocità tangenziali e su queste lavoriamo);
- La distanza cinematica (valutazione basata su velocità radiale e rotazione della Galassia e contemporaneo moto proprio di una stella);
- La parallasse del diametro apparente (basata su una stima del diametro apparente dell'oggetto celeste, galassia od ammasso stellare);
- Distanza dell'eco luminosa (studio degli effetti di lenti relativistiche su immagini di oggetti più lontani);
- Metodo di Baade - Wesselink (valutazione dei raggi di stelle pulsanti);
- Binarie ad eclisse spettroscopiche (la valutazione del raggio dell'orbita viene effettuata sulla base della sommatoria dei movimenti radiali);
- Ecc. ecc. ecc.

Ultimo metodo ma importante

- Un'ultima base di classificazione delle stelle è il loro colore.
- Uno studio a questo proposito ha stabilito che il colore delle stelle è in relazione alla loro temperatura superficiale.
- A questo punto è possibile classificare le stelle e confrontarne i fenomeni e la loro evoluzione.