

Indice

Indice	i
1 Introduzione	1
1.1 Le difficoltà dell'Astrofisica	1
1.2 Scopi dell'astrofisica	2
1.3 La misura delle grandezze astronomiche	2
2 Telescopi	3
2.1 Acquisizione dei dati	3
2.2 Storia dei telescopi	4
2.3 Proprietà geometriche del telescopio	4
2.4 Telescopi rifrattori e riflettori	4
2.5 Metodi costruttivi e montature	4
2.6 Ottica adattiva	4
3 Fotometria	5
3.1 Intensità, flusso, magnitudini	5

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Le difficoltà dell'Astrofisica

L'Astrofisica è il ramo della Fisica che studia le proprietà fisiche dei corpi celesti. Essa si deve frequentemente confrontare con distanze di molti ordini di grandezza superiori a quelle della vita di tutti i giorni e per questo deve affrontare alcuni problemi che le altre branche della fisica non hanno.

Mentre un fisico può andare in laboratorio e cambiare le condizioni a contorno del proprio esperimento, l'astrofisico non ha questa possibilità: egli deve dedurre le proprietà dell'oggetto di studio solo tramite osservazioni. Questa differenza richiede che vengano fatte delle ipotesi preliminari senza le quali lo studio dei corpi celesti potrebbe risultare illegittimato.

L'ipotesi su cui si fonda tutta l'Astrofisica è quella che le leggi della fisica siano le stesse ovunque nell'universo—anche ad anni luce di distanza—, cosa che naturalmente non è possibile verificare a meno di, per esempio, di inviare tanti piccoli esploratori in tutti i punti dell'universo per verificare che ciò sia vero.

Una delle principali difficoltà di questa ipotesi è il fatto che le stesse leggi che applichiamo sulla Terra sono solo modelli che in prima approssimazione descrivono e prevedono sufficientemente bene il mondo che ci circonda e non sono necessariamente corrette. Basti pensare alla Teoria della Gravitazione di Newton che spiega bene l'orbita della Luna intorno alla Terra, ma basta allontanarsi di poco da noi per scoprire che l'orbita di Mercurio ha un comportamento inspiegabile secondo la teoria di Newton ma meglio descritto dalla Relatività Generale.

L'Astrofisica di conseguenza non può che partire da ipotesi simili—ad esempio assumendo che la Relatività Generale sia vera anche nella galassia di Andromeda—per poi eventualmente confrontarsi con i risultati osservativi e proporre correzioni ai modelli.

In modo del tutto simile, anche le scale temporali sono enormemente

più grandi rispetto a quelle della vita dell'uomo. Immaginiamo di guardare diverse foto di una famiglia scattate a distanza di dieci anni l'una dall'altra: in una singola foto saremmo in grado di distinguere le persone anziane da quelle giovani, quelle di sesso maschile da quelle di sesso femminile *et cetera*, così come confrontando due foto consecutive siamo in grado di riconoscere i cambiamenti nella fisionomia degli individui. Invece immaginiamo di scattare una foto al cielo oggi e un'altra tra dieci anni. Quante differenze saremmo in grado di riconoscere? Quanto cambia una stella nel corso di dieci anni se la sua vita media è dell'ordine di grandezza di miliardi di anni? Si tratta di fenomeni che avvengono su tempi scala troppo lunghi rispetto alla vita umana.

Il problema dell'Astrofisica è proprio questo: è come tentare di comprendere tutto quello che sappiamo sulla razza umana da una sola foto, di decidere come funzionano le cose semplicemente con uno sguardo attento a un'istantanea, ma non finisce qui! L'informazione infatti si trasferisce con una velocità finita, quindi il segnale proveniente da un oggetto lontano impiegherà più tempo ad arrivare e l'oggetto ci apparirà più giovane. È un po' come se ci venisse chiesto di riconoscere la nonna nella foto di famiglia nonostante appaia come la persona più giovane nella foto.

Quello che quindi si tenta di fare in Astrofisica è proprio cercare di osservare gli oggetti nel modo più dettagliato possibile per poi cercare di risalire al quadro più generale e estrapolare un modello dell'evoluzione dei corpi celesti.

1.2 Scopi dell'astrofisica

1.3 La misura delle grandezze astronomiche

L'Astrofisica trova la sua

Capitolo 2

Telescopi

C'è una forchetta conficcata nel terreno.

F. Pinguino

SOME SAPPIAMO, la radiazione elettromagnetica è una delle principali fonti di informazioni sugli eventi astronomici e dallo studio della radiazione che giunge sulla Terra dallo spazio è possibile a volte risalire ad alcune proprietà degli eventi astronomici che l'hanno generata.

Ad esempio, la luce che nel suo tragitto viene riflessa può risultare polarizzata, quella che attraversa gas e polveri può partecipare a fenomeni di scattering e cambiare la propria lunghezza d'onda, così come anche le particelle cariche possono produrre ulteriore radiazione tramite effetto Cherenkov o radiazione di sincrotrone.

Studiando la radiazione che incide sui nostri strumenti tentiamo quindi di ricostruire il processo fisico che l'ha generata per dedurre le condizioni al contorno che hanno permesso a quel processo di verificarsi.

Naturalmente questa tecnica ha delle difficoltà legate al fatto che diversi fenomeni possono generare radiazione elettromagnetica simile, e alla limitatezza degli strumenti utilizzati.

2.1 Acquisizione dei dati

Per studiare un oggetto nel cielo, la prassi è quella di puntare gli strumenti nella sua direzione e ad un certo istante di tempo misurare l'intensità specifica¹. Per un attimo, immaginiamo di trascurare tutti i fenomeni che alterano

¹Densità di energia al variare di tutto, vedi Sez xx?

la radiazione nel percorso dalla sorgente al rivelatore e concentriamoci sul solo processo di misura.

Per cominciare, il modo in cui l'osservatore usa lo strumento—che sia consapevole o no delle conseguenze delle proprie scelte—può falsare la misura o causare la perdita di informazioni: se misuro la luminosità di una stella tutti i giorni alla stessa ora e leggo sempre lo stesso valore, potrei essere indotto a pensare che la stella abbia luminosità costante, ma che succede nelle 24 ore di tempo in cui non effettuo misure? La luminosità potrebbe cambiare periodicamente e io potrei aver avuto la “(s)fortuna” di aver effettuato le misure in momenti in cui la luminosità assume lo stesso valore, senza pensare che a un orario diverso la luminosità possa essere diversa.

Assumendo che l'osservatore prenda le misure in modo impeccabile, dovrà comunque scontrarsi con i limiti tecnici dell'apparecchio che ha davanti: il potere risolutivo dell'apparato utilizzato potrebbe non essere sufficiente a risolvere due stelle vicine, inoltre non è detto che esso sia sensibile a tutte le lunghezze d'onda allo stesso modo, così come potrebbe non distinguere lunghezze d'onda vicine. Dovrebbe inoltre essere in grado di misurare la polarizzazione della luce incidente e l'esatto numero di fotoni che incidono sul rivelatore *et cetera*. Purtroppo uno strumento così versatile ed efficiente non esiste.

2.2 Storia dei telescopi

2.3 Proprietà geometriche del telescopio

2.3.1 La distribuzione di Poisson

2.4 Telescopi rifrattori e riflettori

2.5 Metodi costruttivi e montature

2.6 Ottica adattiva

2.6.1 Seeing

Capitolo 3

Fotometria

La fotometria

ciao



A FOTOMETRIA è lo studio della radiazione elettromagnetica come detto prima bla bla bla. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

3.1 Intensità, flusso, magnitudini

. Introduciamo le grandezze più importanti della fotometria. Come sappiamo, la radiazione elettromagnetica trasporta un'energia; supponiamo di avere quindi della radiazione che attraversa una superficie dA il cui vettore normale forma un angolo ϑ con la direzione di propagazione. Essa, lasciando la superficie “alle sue spalle”, si manterrà all'interno di un angolo solido $d\Omega$ che stacca dalla normale alla superficie lo stesso angolo $d\vartheta$. In generale la radiazione può contenere qualsiasi lunghezza d'onda: consideriamo inizialmente la radiazione nelle frequenze comprese nell'intervallo

$[\nu, \nu + d\nu]$. L'energia infinitesima che la radiazione trasporta nella regione $d\Omega$ sarà quindi $dE_\nu \propto dt d\nu \cos \vartheta dA$. Chiamiamo *intensità specifica* la costante di proporzionalità, I_ν , e scriviamo:

$$(3.1) \quad d^4 E_\nu = I_\nu d\nu dt \cos \vartheta dA d\Omega .$$

In modo del tutto analogo possiamo fare lo stesso ragionamento decomponendo lo spettro in lunghezza d'onda anziché in frequenza e avremo:

$$(3.2) \quad d^4 E_\lambda = I_\lambda d\lambda dt \cos \vartheta dA d\Omega .$$

Integrando su tutte le frequenze otteniamo l'*intensità totale* denotata dalla lettera I e data da

$$d^3 E = \int_0^\infty I_\nu d\nu dt \cos \vartheta dA d\Omega = I dt \cos \vartheta dA d\Omega .$$

Invertendo queste relazioni si trova subito:

$$(3.3) \quad I_\nu = \frac{1}{\cos \vartheta} \frac{d^4 E_\nu}{d\nu dt dA d\Omega} ,$$

$$(3.4) \quad I_\lambda = \frac{1}{\cos \vartheta} \frac{d^4 E_\lambda}{d\lambda dt dA d\Omega} ,$$

$$(3.5) \quad I = \frac{1}{\cos \vartheta} \frac{d^3 E}{dt dA d\Omega} .$$

Un'altra grandezza utile nell'Astrofisica è il *flusso di energia*, detto altrimenti *flusso* o *luminosità* che coincide con la potenza. Risulta utile inoltre introdurre la *densità di flusso*—che, purtroppo, viene spesso detta *flusso* creando non poca confusione—ovvero la grandezza che integrata su una superficie restituisce il flusso. In questo modo si ha:

$$(3.6) \quad L = \frac{dE}{dt} = \oint_S F dS ,$$

$$(3.7) \quad L = 4\pi r^2 F \quad \implies \quad F = \frac{L}{4\pi r^2} ,$$

dove l'ultima uguaglianza è ottenuta integrando su una superficie sferica S di raggio r e supponendo F ivi costante.

Possiamo dedurre che, se la luminosità è una proprietà intrinseca del corpo che emette radiazione—si pensi alla conservazione della potenza nel vuoto, la densità di flusso allora è una grandezza che decresce con r^2 . Volendo fare un'analogia con l'elettrostatica, L gioca il ruolo della carica¹ netta di

¹A rigore, la carica divisa per ϵ_0 .

una distribuzione contenuta all'interno di una superficie chiusa ed F quello del campo elettrico da essa generata.

Se un corpo è esteso e non approssimabile come puntiforme, la luminosità e la densità di flusso saranno funzione delle coordinate di ciascun punto del corpo esteso che le genera. Si definisce *brillanza superficiale* la somma (l'integrale) di tutti i contributi di densità di flusso al variare delle sorgenti elementari.

3.1.1 Magnitudine apparente

Un primo tentativo di classificazione delle stelle fu fatto da un astronomo di nome Ipparco nel 129 a.C. Egli divise le stelle in sei classi a seconda di quanto apparissero “brillanti” a occhio nudo e chiamò queste classi *magnitudini*. Secondo la sua classificazione le stelle più brillanti andavano collocate nella *prima magnitudine*, seguite da quelle di *seconda magnitudine et cetera*, fino a quelle appena visibili che appartenevano alla *sesta magnitudine*.

Nel 1956, l'astronomo britannico Norman Pogson formalizzò ed estese questa classificazione matematicamente. Pogson si rese conto che il legame tra la densità di flusso di una stella e la sua appartenenza a una certa classe di magnitudine di Ipparco era tutt'altro che lineare. Supponendo infatti di avere tre stelle i cui *flussi*² siano in rapporto 1 : 10 : 100, la differenza di magnitudine tra la prima e la seconda e tra la seconda e la stessa appare la stessa: se la prima stella è di prima magnitudine e la seconda è di terza magnitudine, la terza apparirà di quinta magnitudine. Pogson in particolare notò che a due stelle i cui i flussi sono in un rapporto di 1 : 100 corrisponde una differenza di magnitudine pari a 5; questo vuol dire che a due classi consecutive di magnitudine deve corrispondere un incremento—o decremento—del flusso un fattore $\sqrt[5]{100} \approx 2.512$. Pogson stabilì quindi che la differenza di magnitudine tra due stelle dovesse essere data dalla relazione

$$(3.8) \quad m_2 - m_1 = -2.5 \operatorname{Log} \left(\frac{F_2}{F_1} \right),$$

dove il -2.5 al posto del -2.512 è intenzionale e $\operatorname{Log} \equiv \log_{10}$. Naturalmente la (3.8) non permette di definire univocamente la magnitudine apparente di una stella ma solo di valutare la differenza di magnitudine tra due di esse.³ Si usa quindi scegliere una certa stella che abbia un certo flusso F_0 noto a cui viene imposto $m_0 = 0$; per convenzione questa scelta ricade sulla stella

²Qui si fa riferimento alla *densità di flusso*. Per brevità anche in questo testo da adesso si userà l'espressione abbreviata. Per non fare confusione, l'usuale *flusso* verrà chiamato sempre *luminosità*.

³Un po' come il potenziale di una forza che è definito a meno di una costante ma la d.d.p. è univocamente determinata.

Vega. In questo modo la (3.8) diventa

$$m_2 = -2.5 \operatorname{Log} \left(\frac{F}{F_0} \right).$$