

ATTI  
DELLA  
REALE ACCADEMIA NAZIONALE  
DEI LINCEI

ANNO CCCXXI

1924

---

SERIE QUINTA

---

RENDICONTI

---

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

---

VOLUME XXXIII.

2° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI  
PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

---

1924

**Ottica.** — *Il fenomeno Doppler ed il principio balistico sulla velocità della luce* (risposta ad una Nota del prof. W. De Sitter). Nota del Corrisp. M. LA ROSA <sup>(1)</sup>.

Nell'ultimo numero del « Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands <sup>(2)</sup> » il prof. De Sitter si occupa delle mie prove astronomiche <sup>(3)</sup> in favore dell'applicabilità alla luce, della regola di composizione delle velocità della meccanica classica e della spiegazione generale del fenomeno della « variabilità delle stelle » che ne ho dedotto.

Pur riconoscendo l'esattezza e la novità delle mie deduzioni, egli ritiene che esse non portino nessun argomento in favore, ma che ne aggiungano uno nuovo contro l'ipotesi balistica.

Osserva egli, che se la *variabilità* delle stelle fosse dovuta all'effetto da me previsto — cioè ai cambiamenti dell'intensità luminosa dipendenti dal moto periodico della sorgente — dovrebbe essere accompagnata da spostamenti delle righe spettrali (per effetto Doppler), enormemente più grandi di quelli sinora misurati, perchè *effetto fotometrico* (come chiamerò quello da me previsto) ed effetto Doppler dipenderebbero allo *stesso modo*, da una *stessa grandezza*.

Se ciò fosse esatto, è naturale che l'ipotesi balistica sarebbe in piena contraddizione con i risultati delle osservazioni astronomiche, le quali ci mostrano spostamenti di righe sempre assai piccoli (frazione dell'unità Angstrom) e cambiamenti di intensità che possono toccare il rapporto di 60.000:1; quali sono quelli corrispondenti a salti di circa 10 gradini nella scala della grandezza apparente delle stelle.

Pertanto incombe a me il doveroso compito di esaminare le basi dell'affermazione del prof. De Sitter, e di cercare quegli elementi di giudizio che valgono a confortarla o a contestarla. La chiave essenziale del ragionamento del De Sitter trovasi espressa nelle seguenti righe:

« Se le onde emesse dalla sorgente durante l'intervallo di tempo  $dt$  giungono all'osservatore durante l'intervallo  $dt' = dt(1 + q)$  allora l'osservatore ascriverà alla stella mobile, da un lato l'intensità  $i = i_0/1 + q$ ,

<sup>(1)</sup> Pervenuta all'Accademia il 4 luglio 1924

<sup>(2)</sup> Vol. II, n. 57, pag. 121, 31 maggio 1924.

<sup>(3)</sup> Rend. Acc. Lincei, vol. XXIII, pag. 118 (1923); Zeitsch. für phys., Bd. XX (1924); per una relazione più ampia, Nuovo Cimento, nuova serie, ann. I, num. 1<sup>o</sup>, 1924.

essendo  $i_0$  l'intensità vera, e d'altro lato, le ascriverà la velocità radiale  $v = cq$  in conformità del principio di Doppler . . . Entrambi gli effetti dipendono, dunque, dallo stesso fattore  $q$  <sup>(1)</sup>.

Ora qui, ci si pone subito un'importante domanda: È possibile calcolare la misura dell'effetto Doppler sul terreno della teoria balistica, servendosi del semplice rapporto  $dt'/dt$ , di cui si serve la teoria classica (e quella della relatività)?

Nessuna influenza, cioè, ha nel modo di calcolare questo effetto il profondo cambiamento che porta con sé l'ipotesi balistica, per il fatto della variabilità della velocità della luce che essa mette come fondamento?

Ora che un'influenza vi debba essere è facile intuire.

Nel caso della teoria classica il legame fra il tempo  $\Delta t$  di partenza di un certo gruppo di onde dalla sorgente, ed il tempo  $\Delta t'$  di arrivo all'osservatore, non può contenere altri elementi, all'infuori della velocità relativa della sorgente e dell'osservatore, per il fatto della supposta *costanza della velocità della luce*. Nel caso invece della ipotesi balistica, lo stesso legame deve contenere i cambiamenti successivi di questa velocità, e la distanza  $d$  fra sorgente ed osservatore.

Occorre, dunque, che sia studiata esattamente la parte che questi nuovi fattori — cioè la legge di variazione della velocità di propagazione della luce, e la distanza  $d$  — possono avere sull'effetto Doppler; così come è stata già da me analizzata la parte che essi hanno sull'effetto fotometrico.

Rifarò, perciò, dalle fondamenta il ragionamento che conduce a prevedere l'effetto Doppler ed a stabilirne le leggi, sia nella teoria classica, sia in quella balistica; e seguirò la via puramente cinematica, non solo perchè più elementare e perciò più limpida e facile, ma perchè — essa sola — fa a meno dell'ausilio di ipotesi estranee, più o meno artificiose.

Cominciamo dalla classica:

Supponiamo che la sorgente possieda la velocità radiale  $v$  rispetto all'osservatore. Se  $n$  è il numero di onde emesse in un secondo dalla sorgente, allora lungo il raggio visuale le  $n$  onde vengono a distribuirsi sopra una lunghezza  $c + v$  ( $v$  velocità di allontanamento della sorgente dall'osservatore) invece che sulla lunghezza  $c$ , e però essendo  $c$  la velocità di propagazione delle onde, l'osservatore riceve in un secondo tante onde quante ve ne sono sopra una lunghezza  $c$ , cioè un numero  $n'$  dato dalla relazione:

$$\frac{n}{n'} = \frac{c + v}{c}$$

(1) Lo stesso ragionamento era stato fatto dal dott. Zurhellen, come gentilmente mi aveva fatto conoscere il prof. Kobold, al quale porgo qui i più vivi ringraziamenti (Zurhellen A. N., vol. 198, pag. 4739, 1914).

che, dentro il 1° ordine di rapporto  $\frac{v}{c}$ , dà:

$$(1) \quad n' = n \left( 1 - \frac{v}{c} \right).$$

Possiamo anche dire che l'osservatore riceve in un secondo le onde che la sorgente emette nel tempo  $c/(c+v)$ , ossia, con la solita approssimazione nel tempo,  $\left( 1 - \frac{v}{c} \right)$ .

Ma questo riferimento *al tempo*, anziché al numero delle onde, non è essenziale: esso è giustificato solo dall'*ipotesi della costanza* della velocità di propagazione delle onde; perchè questo solo ci può garantire l'*intatta conservazione dell'ordine di successione*, nel tempo e nello spazio, delle onde viaggianti; che è condizione indispensabilmente richiesta e per poter passare dalla condizione relativa al numero di onde, a quella relativa ai tempi.

Questa ipotesi *della intatta conservazione della successione delle onde* è, dunque, *implicitamente ammessa* quando si assume come *norma generale* di valutazione dell'effetto Doppler, il rapporto fra i due tempi (finiti o infinitesimi) di partenza e di arrivo di un certo numero di onde.

Veniamo ora alla *teoria balistica*.

Se  $n$  è il numero di onde date dalla sorgente in un secondo (non occorre dichiarare che non è più possibile parlare qui di « onde » nel senso stesso in cui se ne parla nella teoria elastica, ma bisognerebbe parlare di impulsi proiettili, ecc. . . .) e se  $c$  è la velocità con la quale vengono espulse dalla sorgente, mentre questa retrocede (rispetto all'osservatore) con la velocità  $v$  <sup>(1)</sup>, le  $n$  onde si distribuiranno sempre sopra una lunghezza  $c$ , indipendente da  $v$ , e correranno verso l'osservatore con la velocità  $c - v$ . Questo, perciò, può riceverne, in un secondo, tante quante ve ne sono sulla lunghezza  $c - v$ , e perciò un numero  $n'$  dato da:

$$(1') \quad n' = n \frac{c - v}{c} = n \left( 1 - \frac{v}{c} \right)$$

risultato che *coincide* (dentro il solito ordine) *con quello stesso previsto nella teoria classica*.

L'ipotesi balistica conserva, dunque, inalterata la legge di dipendenza dell'effetto Doppler dalle condizioni dell'osservazione; cioè conserva la *sua indipendenza* dalla relazione fra velocità della sorgente e tempo, e dalla

(<sup>1</sup>) Data la piccolezza estrema dei *periodi* delle vibrazioni luminose rispetto al periodo di rotazione dell'astro (qualunque esso sia) si può sempre fare l'ipotesi che nel tempo in cui vengono emesse le  $n$  onde considerate — e p. es. in un secondo — la velocità radiale dell'astro non cambi.

distanza fra sorgente ed osservatore; conserva lo stesso legame (1) fra le  $n$  e la  $v$ . Ma il passaggio dal rapporto dei numeri  $n$  al rapporto dei tempi, in questo caso, non è più legittimo.

La variabilità della velocità di propagazione trae evidentemente con sé la conseguenza che *l'ordine di successione con cui le onde arrivano all'osservatore non è lo stesso di quelle di emissione.*

Le onde partite in un certo istante raggiungono e scavalcano onde partite prima; sono raggiunte e scavalcate da onde partite dopo.

D'altra parte la posizione della riga nello spettro non dipende dal numero totale di onde che giunge sull'apparecchio spettrale in un brevissimo intervallo  $\Delta T$  (1), ma dipende dal ritmo con cui esse si succedono. Il cambiamento delle velocità di propagazione genera addensamenti e diradamenti di onde, e perciò fa crescere e diminuire la densità con cui esse vanno ad affollarsi avanti all'apparecchio spettrale, ma la funzione di questo è proprio quella di dipanare il groviglio, di analizzare e di isolare le singole componenti sovrapposte, per ordinarle secondo la grandezza del loro ritmo; secondo quella grandezza « intervallo di tempo fra due successivi impulsi » che caratterizza ciascuna radiazione elementare. E questa grandezza dell'intervallo non può subire che i mutamenti dovuti al movimento della sorgente sopra calcolati e rappresentati dalla formula (1) o (1').

In altre parole: gli addensamenti e diradamenti di luce da me previsti e che nascono a causa della variabilità col tempo della velocità radiale della stella, sono in tutto analoghi a quelli che potremmo artificialmente produrre occultando p. es. con una legge periodica qualunque parte della superficie di un corpo luminoso posto a distanza dell'apparato spettrale. A misura che la superficie scoperta va crescendo, va indubbiamente crescendo l'intensità del flusso luminoso. Anche in questo caso sull'apparecchio spettrale si sovrappongono e si accavallano onde partite da punti diversi del corpo emittente, ma nessuno ha mai pensato che a tale addensamento debba far seguito uno spostamento delle righe spettrali. La posizione della riga non cambia, poichè il ritmo delle onde non cambia, malgrado l'aumento innegabile del numero totale di onde giunte in un secondo.

Resta così completamente chiarita l'inesattezza in cui si incorre nel calcolare l'effetto Doppler in base al rapporto  $\Delta T/\Delta t$  sul terreno delle teorie balistiche, e cadono perciò completamente le obiezioni sollevate dal dottor Zurlhellen prima, e dal prof. De Sitter ora.

Potrei qui fermarmi, se non credessi opportuno di profittare di questa occasione per manifestare la mia opinione — che ho già espressa in altra

(1) Usiamo il simbolo  $\Delta T$ , invece dell'altro  $\Delta t'$  precedentemente adoperato, per mettere in maggiore rilievo il legame interamente diverso che rilega queste due grandezze all'intervallo  $\Delta t$ , di partenza delle onde.

occasione — sopra un'obiezione, manifestamente più fondata, che alle teorie balistiche si suole fare, prendendo come base pure l'effetto Doppler.

Abbiamo visto avanti che nell'ipotesi balistica (essendo la velocità delle « onde » rispetto alla sorgente indipendente dal moto di questa) dobbiamo avere che le  $n$  onde emesse in un secondo si distribuiscono sopra una lunghezza  $c$ , tanto nel caso della sorgente ferma, quanto in quello della sorgente in moto rispetto all'osservatore. Ciò ci dice che la *lunghezza dell'onda* — secondo l'ipotesi balistica — *resta indipendente dalla velocità* della sorgente, ossia — concludono gli oppositori — che l'effetto Doppler dovrebbe mancare. Ma questa obiezione suppone che la posizione delle righe spettrali dipenda appunto dalla *lunghezza d'onda*, mentre — come è noto — fino al momento attuale, le teorie classiche non hanno saputo decidere se tale posizione dipenda dalla lunghezza d'onda o dal numero delle vibrazioni. Ed intanto, importa molto constatarlo, tanto nello studio del fenomeno della dispersione, quanto nel *calcolo dell'effetto Doppler*, la teoria elastica e la teoria elettro-magnetica sono costrette a riferirsi sempre al *numero delle vibrazioni* e non alla lunghezza dell'onda.

Ma a parte questo importante rilievo, dobbiamo tenere presente che il *concetto di lunghezza d'onda* non è un elemento primitivo del fenomeno luminoso, quale esso ci viene fatto conoscere da tutto il complesso delle esperienze acquisite. Queste ci insegnano solo che la luce ha proprietà periodiche; cioè che i fenomeni presentati da un fascio di luce monocromatica sono tutti collegati con un *certo tempo*: il *periodo* della particolare radiazione.

La lunghezza dell'onda è una sovrastruttura nostra, una finzione interamente legata alla immagine, allo schema mentale *arbitrario*, che del fenomeno ci siamo formati, e cade non appena questa immagine abbandoniamo.

Parlare, dunque, di costanza della lunghezza d'onda nel terreno delle *teorie balistiche non ha senso*; e non può avere senso l'obiezione relativa all'effetto Doppler, è giocoforza convenirne: a meno che non si voglia *ricoscendere a priori ad un particolare schema arbitrario* valore e forza di « verità » indiscutibile.

Prima di chiudere mi sia permesso di rispondere con poche parole ad un'altra piccola contestazione mossami dal prof. De Sitter. Egli non crede legittima l'affermazione che io ho fatto, che le sole stelle per le quali le leggi di Keplero sono state attualmente verificate sono le doppie ottiche; e mi ricorda che anche per le doppie *spettroscopiche* quelle leggi possono *ritenersi verificate*, dato che *esse leggi sono ammesse nella determinazione delle orbite* fatta per mezzo delle misure delle velocità radiali.

A mia volta osserverò che per potere ritenere come *verificate* queste leggi anche per le spettroscopiche, bisognerebbe che quelle orbite fossero conosciute per altra via interamente indipendente dall'impiego delle leggi di

Keplero. Ora ciò non è: l'unico modo con cui quelle orbite sono state calcolate è basato sulle misure di velocità *ed ammette come vere le leggi di Keplero*. Ma senza insistere su questo punto ricorderò ancora che nel mio lavoro è scritto: le doppie per le quali le leggi di Keplero sono state *direttamente verificate* sono le *doppie* telescopiche; e questo solo interessava a me di stabilire, per potere dare come dimostrato che nel caso *dell'osservazioni telescopiche* (le sole che potrebbero subire quei disturbi temuti dal prof. De Sitter nella sua Nota del 1914) la condizione *Kb* minore di  $1/30$ , indicata nel mio lavoro fosse più che soddisfatta.

Concludendo: sono convintissimo che queste mie spiegazioni basteranno a chiarire ogni dubbio ed a provare l'insostenibilità delle obiezioni fattemi. Ma vorrei di più; vorrei che esse dessero occasione a qualche valente astronomo di conoscere le mie idee e di *occuparsene*, per sottoporle a rigoroso esame. Mette conto, infatti, che il mio audace tentativo di opporre *solidi argomenti di fatto alle astrazioni della « relatività »* e di dare una coordinazione ai grandiosi e oscuri fenomeni delle *« stelle variabili »*, sia o abbattuto, o confermato.

#### Chimica. — *A proposito della costituzione della santonina* <sup>(1)</sup>.

Nota del Socio A. ANGELI <sup>(2)</sup>.

Ancora nell'anno 1907, assieme con L. Marino, ho pubblicati i risultati di alcune ricerche eseguite allo scopo di studiare i prodotti di demolizione graduale della santonina operata per mezzo degli ossidanti; trattandosi di una sostanza che facilmente fornisce un acido (acido santoninico), ho preferito naturalmente di far reagire la soluzione diluita di permanganato sopra la soluzione acquosa dell'acido stesso.

La Memoria, che contiene la descrizione dettagliata delle esperienze e tutte le conseguenze che ne abbiamo ricavate, è stata pubblicata negli Atti di questa Accademia <sup>(3)</sup>; ma forse, per il fatto che il lavoro è comparso nelle Memorie e non nei Rendiconti, esso non è stato riassunto dai soliti periodici scientifici e, così, non se ne trova cenno nella letteratura chimica.

Sebbene io non avessi allora mancato di inviare copia del lavoro a coloro che si occupano di tale argomento, in questi ultimi tempi, vale a dire a molti anni di distanza, sono comparse all'estero diverse pubblicazioni nelle quali non solo non si fa menzione dei risultati da noi ottenuti, ma (quello

<sup>(1)</sup> Lavoro eseguito nel laboratorio di chimica organica dell'Istituto superiore di Firenze.

<sup>(2)</sup> Presentata nella seduta del 18 maggio 1924.

<sup>(3)</sup> Memorie Accademia dei Lincei, 6, 5<sup>a</sup> (1907), pag. 385.