

Premio SAIt 'G. V. Schiaparelli' 2018

Si è concluso anche quest'anno il concorso al Premio nazionale "Giovanni Virginio Schiaparelli", indetto dall'Osservatorio Astronomico di Brera (INAF/OA-Brera), in collaborazione con il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) - Direzione Generale per gli Ordinamenti Scolastici e la Valutazione del Sistema Nazionale d'Istruzione. Il premio, giunto alla sua VIII edizione, vuole ricordare la figura di G. V. Schiaparelli, astronomo e storico della scienza.

Hanno partecipato al concorso studentesse e studenti delle scuole secondarie di primo e secondo grado (a.s. 2017-2018), impegnandosi alla redazione di un breve elaborato sul tema "La spettroscopia: l'eredità scientifica di padre Angelo Secchi":

La spettroscopia è una branca della fisica che si è affermata sempre più in campo astronomico, dalle prime osservazioni del XIX secolo di cui fu pioniere l'italiano padre Angelo Secchi, alle misure ad alta precisione degli spettroscopi di nuova generazione utilizzati con telescopi di grandi dimensioni. In che modo questa preziosissima tecnica osservativa ha contribuito alle conquiste scientifiche dell'astrofisica?

L'argomento è stato scelto nella ricorrenza del secondo centenario della nascita di Secchi, per stimolare gli studenti a documentarsi e a riflettere sul ruolo della spettroscopia in astrofisica, come una delle tecniche per lo studio dei fenomeni fisici che governano il nostro universo.

Come già per alcune delle edizioni precedenti, il *Giornale di Astronomia* pubblica molto volentieri (senza alcuna correzione né intervento sul testo) i temi dei vincitori delle due sezioni della scuola secondaria, rispettivamente, di primo e di secondo grado.

La commissione esaminatrice ha ritenuto di assegnare, a pari merito, il primo premio per la scuola di primo grado a tre elaborati che sono qui presentati (in ordine alfabetico) assieme a quello del vincitore del primo premio per la scuola di secondo grado.

Elena Bettonte (2004)

Classe III · Scuola Secondaria di Primo Grado "G. Bressadola"

Istituto Comprensivo "Trento 5", Trento

Docente referente: prof. Vittorio Caratuzzolo

ONESTAMENTE io non ho ancora una conoscenza approfondita per comprendere a fondo l'argomento, ma posso facilmente intuire quanto importante sia per il genere umano aver messo a punto la tecnica chiamata spettroscopia stellare.

Ciò che non era neanche lontanamente immaginabile per me, è che un giorno saremmo riusciti a vedere l'invisibile. Un fatto ancora più sorprendente è che questo invisibile potesse contenere moltissime informazioni utili per la ricerca scientifica.

Ho avuto modo di "approfondire" l'argomento e ho compreso che dallo spazio infinito intorno a noi le stelle possono manifestarsi irradiando onde radio, luce visibile e luce invisibile. Ed è studiando tutte queste che la spettroscopia stellare può spiegarci cose come l'età di una stella, la velocità con cui la galassia si allontana o addirittura l'esistenza di stelle invisibili.

In passato diverse culture hanno attribuito ad esse un'importanza straordinaria: nella cultura cinese antica, ad esempio, si credeva che le costellazioni presenti nella volta celeste formassero il carattere dei nascituri; altre volte venivano inventati miti su di esse.

Fino ad un recente passato le stelle erano considerate solo come una meravigliosa manifestazione di bellezza della natura. Come poteva qualcuno

immaginare che gli esseri umani, un giorno, sarebbero riusciti a studiarne la formazione e molto più?

In epoche più recenti si è cominciato ad utilizzare un metodo di osservazione scientifica che ci ha permesso di ampliare la nostra conoscenza dell'universo circostante.

La spettroscopia stellare si serve delle radiazioni emesse dalle stelle per trarre informazioni attraverso le proprietà della luce. Si può così ottenere un'impronta (spettro) che ci permette di conoscere la stella mittente e gli eventuali elementi chimici incontrati dalla luce nel percorso fino a noi.

La spettroscopia stellare esplora lo spettro visibile, l'infrarosso, le onde radio e i raggi X (che comprendono anche l'ultravioletto).

Lo spettro visibile è la parte che mi è più comprensibile, in quanto posso percepirla con la vista: esso comprende le onde tra rosso e violetto e include tutti i colori percepibili dall'occhio umano, dando vita al fenomeno della luce. Anche l'arcobaleno ci fornisce uno spettro visibile "spezzando", attraverso le goccioline d'acqua, i raggi del Sole e mostrandoci come sono nel loro "intimo".

Per analizzare una radiazione luminosa, sia visibile che invisibile, occorre uno specifico strumento: lo spettroscopio. Esso è uno strumento in grado di scomporre la radiazione nelle sue componenti a diverse lunghezze d'onda, dividendoli per colori.

In Italia, figura di spicco è stato l'astronomo Angelo Secchi che, tra i primi, utilizzò uno spettroscopio unitamente ad un cannocchiale per esplorare la composizione chimica delle stelle.

I primi studi riguardanti lo spettro solare sono stati svolti agli inizi del 1800 dal fisico e astronomo tedesco J. Fraunhofer (1787-1826). Egli perfezionò lo spettroscopio e fu il primo ad analizzare correttamente le righe di assorbimento nello spettro del Sole.

Queste ultime sono le lunghezze d'onda che vengono "rubate" durante il loro percorso nel giungere fino a noi da diversi elementi chimici.

Per fare un esempio, se lo spettro di emissione di una pasticceria fosse composto da un vassoio di dolci con gusti diversi e io chiedessi al mio gruppo di amici (ognuno goloso di un dolce diverso) di portarmelo, ciascuno di loro mangerebbe il proprio dolce preferito. Il vassoio che mi verrebbe poi consegnato, dimostrerebbe quali "elementi" erano presenti durante il viaggio. Per esempio, se dovesse mancare il dolce al cioccolato e quello alla vaniglia, capirei che in quel gruppo erano sicuramente presenti la mia amica Giulia e quel goloso di Paolo.

FONTI:

Wikipedia, studenti.it, www.coelum.com, www.uai.it, www.inaf.it/it

Lezione laboratoriale della prof.ssa ROBERTA GUARDINI (scuola "G. Bresadola" - Trento)

STEPHEN HAWKING, *Dal big bang ai buchi neri*, Milano, Rizzoli, 1988, pp. 54-55.

AA.VV., *Enciclopedia della scienza*, vol. I, Milano, Motta, 2005

AA.VV., *La Scienza*, vol. I, Torino, UTET, 2005

Motivazione della commissione esaminatrice

La candidata dimostra di aver ben colto il significato fisico della spettroscopia stellare ed è stata in grado di tradurlo in termini semplici ma chiari. L'elaborato è senz'altro molto originale e sufficientemente ricco di informazioni.

Alessandro Samuelli (2004)

Classe III · Scuola Secondaria di Primo Grado "G. Bresadola"

Istituto Comprensivo "Trento 5", Trento

Docente referente: prof. Vittorio Caratozzolo

Quando noi pensiamo alla luce, pensiamo a quella cosa che i nostri occhi percepiscono, distinguendo i colori. In realtà "luce" è un concetto molto più ampio e i colori sono le diverse lunghezze d'onda dello spettro visibile, che il nostro cervello interpreta. Il visibile non è tutto, e l'intuito non permette di capire cose "non appartenenti alle nostre esperienze".

La luce non viaggia dritta come una linea, partendo da un punto e arrivando a un altro, ma si propaga in onde in tutte le direzioni, in modo sferico, esattamente come tutte le altre onde elettromagnetiche.

L'onda ha due caratteristiche fondamentali: la lunghezza d'onda, cioè il segmento che si ripete costantemente ed ugualmente, e la frequenza. Dato

che l'onda si propaga, oscilla. La frequenza è data dal numero di oscillazioni di un'onda in un secondo. Queste due misure sono strettamente collegate e proporzionali. Più è grande la lunghezza d'onda, meno grande sarà la frequenza, e viceversa. La lunghezza d'onda viene comunemente rappresentata dalla lettera greca λ , mentre ν (nu, lettera dell'alfabeto greco) rappresenta la frequenza.

I nostri occhi percepiscono solo una minuscola parte di tutto lo spettro, ovvero quella con una frequenza tra i 400 e i 790 terahertz (THz). Tutte le altre frequenze noi non le vediamo, ma esistono. Esse sono state e sono di grande aiuto in molti campi scientifici, rendendo possibili studi inimmaginabili prima che fossero realizzati.

Più è lunga la lunghezza d'onda meno energetica è l'onda in sé. Le onde radio possono avere una lunghezza d'onda pari ad intere costruzioni, mentre le microonde (quelle usate appunto dal microonde) hanno lunghezze d'onda grandi quanto una farfalla. Gli infrarossi hanno una lunghezza d'onda pari ad una punta di ago. La luce visibile ce l'ha molto più piccola (0,0000005 m). Queste, secondo me, sono informazioni importanti per immaginarsi le grandezze e le differenze, rendendoci conto di quanto insignificanti e piccoli noi siamo rispetto all'universo.

Ma oltre a questi esempi, c'è una costante radiazione di fondo. Essa venne scoperta nel 1964, ma pensarono che fossero interferenze sui cavi. Allora hanno fatto più prove e l'hanno scoperta, ed è considerata prova del Big Bang, che dovrebbe aver prodotto così tanta energia che è percepibile ancora adesso, anche se molto debole. Potrebbe essere paragonata all'energia emessa da un oggetto a -200°C (dato che più un oggetto è freddo meno energia emette). Quando essa viene rilevata dagli strumenti, sembra provenire da tutte le direzioni, dato che all'inizio l'universo era un punto unidimensionale, e l'energia si propaga sfericamente.

Esistono due tipi di spettro: lo spettro a righe e quello a bande. Quello a righe mostra le linee di emissione degli elementi atomici, mentre quello a bande usa uno spettro continuo (tutte le frequenze), lasciando vedere, in nero, le linee di assorbimento degli elementi chimici. Questo succede perché, quando la luce passa attraverso un gas, le sostanze che lo compongono "rubano" le frequenze che le servono lasciando passare il resto.

La principale applicazione della spettroscopia è relativa allo studio delle stelle. Dato che esse sono fatte di gas, lo spettroscopio riceve la luce passata tra il gas, identificandone gli elementi che la costituiscono. Inoltre ogni onda elettromagnetica rivela un profilo, avendo più informazioni diverse. Questo metodo di "scansionare" le stelle è molto comodo, dato che si pratica stando sulla Terra (invece di mandare una sonda). Se ne ricavano moltissime informazioni utili per capire meglio l'universo e la sua storia, ma la cosa più utile è secondo me che si possa riuscire a localizzare cose invisibili, applicando le

conoscenze che si hanno a questi nuovi oggetti. Un importante elemento localizzabile è, ad esempio, un buco nero. Quando un oggetto viene risucchiato da un buco nero, appena oltrepassa un certo limite emette un'onda elettromagnetica: è l'ultima cosa che un oggetto emette prima di essere risucchiato.

In futuro spero di potermi occupare di spettroscopia più nel dettaglio, dato che mi interessa molto. Vorrei capirne di più ed imparare ad applicare la teoria alla pratica, contribuendo alla realizzazione di scoperte scientifiche utili.

Motivazione della commissione esaminatrice

L'elaborato risulta piuttosto ricco di contenuti, sebbene non sempre perfettamente attinenti al tema proposto. Il candidato mostra di essersi impegnato, e di aver approfondito con passione la tematica proposta.

Emma Tomasi (2004)

Classe III · Scuola Secondaria di Primo Grado "G. Bressadola"

Istituto Comprensivo "Trento 5", Trento

Docente referente: prof. Vittorio Caratozzolo

La spettroscopia è lo studio degli spettri, ne misura le dimensioni e ciò da cui sono composti. Uno spettro è una striscia luminosa con colori varianti dal rosso all'arancione, per poi passare al giallo, il verde, il blu e il viola. Ognuno di questi rappresenta un componente chimico differente e inoltre contiene tutti i colori visibili all'occhio umano. Lo spettro cosiddetto visibile, attraverso questi colori dà vita al fenomeno della luce. Oltre allo spettro visibile, esistono altri tipi di spettro, ovvero:

- lo spettro elettromagnetico, che indica tutte le possibili frequenze delle radiazioni elettromagnetiche;
- lo spettro atomico, che si può studiare basandosi sul fatto che gli atomi assorbono la stessa radiazione che sono in grado di emettere, prendendo l'energia dal Sole. Ogni spettro di assorbimento atomico è diverso;
- lo spettro solare, che è stato scoperto nel 1802 da William Hyde Wollaston, un chimico e fisico inglese. Egli, osservando la luce del Sole attraverso un prisma, si accorse che veniva scomposta in sette diversi colori (FIG. A2). Così venne scoperto lo spettro solare.

L'ultimo spettro è dunque quello visibile, che comprende la gamma di colori visibile dall'occhio umano (quella che varia al rosso al violetto) e che, come spiegato, rende possibile la visione della luce.

La luce è infatti la parte dello spettro elettromagnetico visibile dall'occhio umano, ed è composta da onde, di cui si può misurare la frequenza. Questo è stato scoperto grazie allo studio della spettroscopia che studia ciò che viene chiamato «lunghezza d'onda» e «frequenza» degli spettri.

La luce è quindi composta da energia, ovvero una parte di uno spettro elettromagnetico che si può misurare in onde, calcolando la frequenza e la



FIG. A1. Spettri a righe.



FIG. A2. Un prisma e la scomposizione della luce.

lunghezza d'onda. Basandosi su queste informazioni, l'onda può essere di vari tipi, (FIG. A3) ovvero (in ordine):

- le onde radio o radioonde, che sono delle onde elettromagnetiche con una lunghezza d'onda che varia dai 10 centimetri ai 10 metri;
- le microonde, quelle che sono trasmesse dal microonde, da cui appunto prende il nome. Hanno una lunghezza d'onda minore di 10 centimetri;
- gli infrarossi, la radiazione è invisibile ed è associata al rosso, ovvero al colore con la frequenza più bassa. Quasi ogni oggetto reale emette radiazioni come queste, a causa della temperatura;
- il visibile, ovvero quello che contiene lo spettro dei colori che compongono l'arcobaleno. La lunghezza d'onda varia tra i 390 e i 700 nanometri;
- l'ultravioletto, che prende il nome dal colore con la lunghezza d'onda più bassa. Questa radiazione elettromagnetica può essere considerata un intervallo tra il visibile e i raggi X. Il Sole è da dove provengono i raggi ultravioletti presenti sulla Terra, quelli che possono causare eritemi solari, tumori alla pelle e l'abbronzatura;
- i raggi X hanno invece una lunghezza d'onda molto bassa, e vengono usati soprattutto per scopi medici, ovvero i raggi X per riuscire a vedere le ossa;
- i raggi gamma sono le radiazioni elettromagnetiche con la frequenza maggiore e provengono spesso dalla radioattività dei nuclei.

La spettroscopia stellare capta le onde emesse da grandi masse situate principalmente nello spazio e, calcolando i valori e analizzando lo spettro, riesce a raccogliere informazioni su ciò da cui le onde provengono.

Ci sono tre tipi di spettri, quello a bande o a righe (FIG. A1), quello ad assorbimento e quello ad emissione continua.

Un'analisi basata sugli spettri si fonda sulla teoria dell'assorbimento, che consiste nello studio dello

spettro che si è captato, in cui si può notare dell'assenza di alcune parti di precisi colori. Questo quindi mostra quali componenti chimici sono stati catturati dallo spettro, definendo così la materia cui è relativo tale spettro (FIG. A1). Da questi spettri si può quindi capire anche l'intensità con cui le frequenze vengono assorbite e tutto questo dimostra che la spettroscopia non è solo utile per lo studio delle stelle, ma anche per qualunque corpo che assorba e rifletta la luce.

Tutto questo è possibile vedere grazie allo spettroscopio (FIG. A4), uno strumento usato nella fisica, nella chimica e nell'astronomia che, attraverso un prisma, analizza le radiazioni elettromagnetiche rivelandone lo spettro. Si può anche fabbricare in casa, per osservare gli spettri di oggetti che emettono radiazioni elettromagnetiche come ad esempio un neon.

Si utilizza un CD senza alluminio, e attraverso questo oggetto che funge da reticolo è possibile rilevare uno spettro a righe che mostra i vari colori, ossia i suoi componenti; per questo la spettroscopia stellare è utilizzata principalmente dagli astronomi per rilevare gli spettri delle stelle e definire gli elementi di cui sono composte, grazie alle radiazioni che vengono emesse dalle stelle.

Con questo studio è stata scoperta la cosiddetta radiazione di fondo del Big Bang, ovvero le radiazioni "fossili" emesse dal Big Bang all'origine dell'universo, che si diffondono ancora oggi, anche se molto deboli, in tutti i suoi "angoli". Tramite un radiotelescopio si possono captare queste ormai deboli radiazioni, che non si possono associare ad un punto preciso dell'universo e questo starebbe a significare che provengono dal Big Bang.

Questa scoperta venne fatta da Arno Penzias e Robert Woodrow Wilson nel 1964, anche se era stata formulata già nel 1948 da George Gamow, Ralph Alpher, e Robert Herman. Arno Penzias e Robert Woodrow erano due giovani ricercatori che, intenti ad aggiustare un'antenna, rilevarono delle interferenze. Inizialmente pensavano si trattasse di alcuni piccioni che avevano fatto il nido sull'apparecchiatura, ma, una volta ripulito il luogo, quella che pensavano fosse un'interferenza non scomparve. Continuando la ricerca, scoprirono allora che si trattava delle radiazioni di fondo del Big Bang. Questo li portò successivamente a vincere il premio Nobel per la Fisica.

George Gamow, Ralph Alpher, e Robert Herman invece nel 1948 iniziarono a ipotizzare la temperatura della radiazione di fondo, ma purtroppo Arno Penzias e Robert Wilson presentarono la ricerca prima di loro, precedendoli nell'ottenimento del premio Nobel.

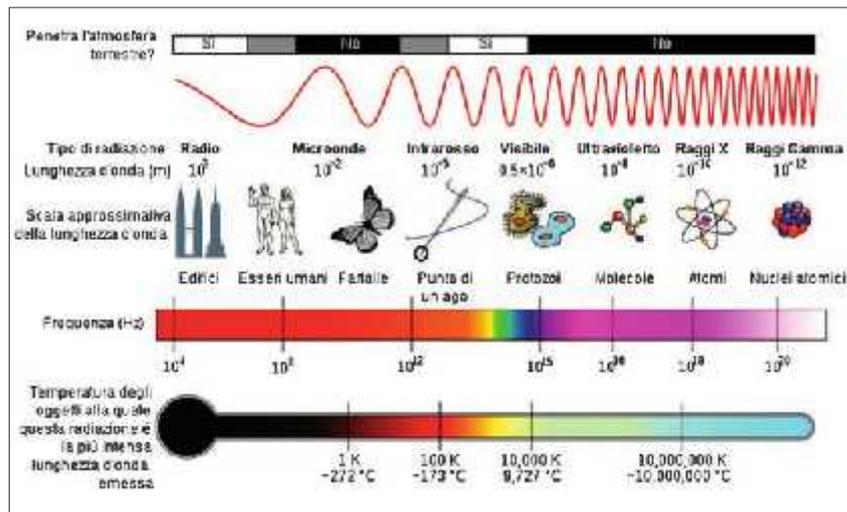


FIG. A3. Le varie onde.



FIG. A4. Uno spettroscopio.

Per tutte queste informazioni è servita la spettroscopia, e questo ne dimostra l'importanza, così come dell'astronomia e di tutti gli scienziati, i fisici, i chimici e gli astronomi che lavorano ogni giorno per poter fare nuove scoperte.

FONTI:

- Wikipedia, studenti.it, www.coelum.com, www.uai.it, www.inaf.it/it, www.sait.it
- Lezione laboratoriale della prof.ssa ROBERTA GUARDINI (scuola «G. Bresadola» - Trento)
- STEPHEN HAWKING, *Dal big bang ai buchi neri*, Milano, Rizzoli, 1988, pp. 54-55.
- AA.VV., *Enciclopedia della scienza*, vol. I, Milano, Motta, 2005
- AA.VV., *La Scienza*, vol. I, Torino, UTET, 2005

Motivazione della commissione esaminatrice

La candidata ha svolto il tema in maniera sufficientemente dettagliata in relazione alla sua giovane età. Le poche imprecisioni presenti sono state senz'altro bilanciate dal suo impegno, essendo ad esempio l'unica tra i candidati di questa categoria ad aver completato il tema con l'aggiunta di alcune immagini esplicative.

Flavio Salvati (1999)

Classe v · Liceo Scientifico

Istituto di Istruzione Superiore “Leonardo da Vinci”

Maccarese - Fiumicino (RM)

Docente referente: prof.ssa Irene Santo

Introduzione

Per secoli l'uomo non si è limitato a guardare il cielo ma, affascinato dal sublime della volta celeste, mosso dalla meraviglia e dalla necessità, ha cercato, passando inizialmente per miti e leggende universali, di trovare costanti immutabili nel mondo che osservava, giungendo, con il suo ingegno, a spiegazioni sul funzionamento della natura.

La luce, che da sempre ha giocato un ruolo fondamentale in tutte le attività umane, è l'unico mezzo di comunicazione tra la volta celeste e l'uomo; dunque, una comprensione esaustiva del cielo, ne esige l'approfondimento. Sebbene lo studio della radiazione elettromagnetica sia nato come una scienza puramente empirica e inizialmente se ne sia dato poco conto, nel corso del tempo ha acquisito sempre più consenso, fino a diventare una delle branche più importanti dell'astrofisica.

Togli la luce alle stelle e brancoleremmo nel buio.

Storia della spettroscopia

Il primo ad usare la parola “spettro” per descrivere l'insieme dei colori che formano la luce bianca, fu Isaac Newton nel suo trattato *Opticks*, in cui raccolse numerosi esperimenti corredati da spiegazioni teoriche alla base della dispersione della luce.

Nel XIX secolo, William Hyde Wollaston migliorò l'apparato sperimentale di Newton utilizzando una lente per focalizzare la luce su uno schermo e si accorse della presenza di linee nere che separavano i colori dello spettro continuo del Sole. Il prisma, il cui indice di rifrazione dipende dal tipo di vetro utilizzato, rendeva tuttavia difficile paragonare le analisi spettroscopiche derivanti da più esperimenti, non permettendo quindi di procedere ad un'analisi quantitativa di queste linee nere. Il fisico Joseph Fraunhofer, riprendendo gli studi di Thomas Young, sostituì il prisma di Newton con un reticolo di diffrazione, la cui capacità di disperdere la luce dipende solo dalla distanza tra due fenditure successive, e in tal modo riuscì a misurare e classificare con precisione la lunghezza d'onda delle linee osservate da Wollaston.

Partendo dall'osservazione che ogni elemento possiede uno spettro caratteristico, Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen attribuirono sistematicamente gli spettri ai relativi elementi chimici, mostrando così che la spettroscopia poteva essere usata sia per identificare elementi chimici, che per scoprirne di nuovi. Allo stesso tempo, molti scienziati studiarono gli spettri emessi da sorgenti terrestri, come fiamme e scintille. Nel 1848, Foucault osservò che una fiamma contenente sodio assorbiva la luce

gialla emessa da un forte scintilla: questa era la prima dimostrazione in laboratorio dello spettro di assorbimento.

Nel 1851, F. Scott Archer introdusse il processo del collodio umido, metodo alternativo alla dagherrotipia per lo sviluppo delle immagini fotografiche, permettendo per la prima volta di registrare la luce delle stelle e degli altri oggetti celesti.

In questo contesto, fu fondamentale il contributo di Pietro Angelo Secchi, il primo a mettere a frutto, nei suoi studi al telescopio, le recenti scoperte nel campo della fotografia e della spettroscopia, fornendo le basi per le future ricerche scientifiche. A partire dal 1863, iniziò a raccogliere più di 4000 spettri stellari e, analizzando questi dati, scoprì che le stelle risultavano essere divisibili in un numero finito di tipologie. Il suo lavoro fu poi ripreso da Edward C. Pickering e Annie J. Cannon presso l'Harvard College Observatory, i quali svilupparono il sistema di classificazione nelle 10 classi spettrali tutt'ora in uso.

Sebbene la giustificazione teorica della spettroscopia arrivò solo nel XX secolo con l'avvento della meccanica quantistica e molti intellettuali, quali il prominente filosofo Auguste Comte, credevano che l'uomo non sarebbe mai stato in grado di studiare i corpi celesti, la spettroscopia fu presto riconosciuta come una vera e propria disciplina scientifica, pronta ad essere utilizzata per feconde scoperte scientifiche in tutti i campi.

Strumenti nella spettroscopia

Strumento fondamentale nella spettroscopia è senza dubbio il reticolo di diffrazione. Dal 1880, data in cui Henry A. Rowland intraprese per la prima volta la produzione automatizzata di reticoli a diffrazione, ad oggi, il processo di produzione sfrutta tecnologie sempre più avanzate.

Nei reticoli a incisione (*Ruled*), la produzione si attua con una macchina ad elevata precisione, mantenuta nella corretta posizione attraverso tecniche interferometriche, che incide su uno strato sottile di metallo depositato su una superficie piana o concava. I reticoli a incisione *Echelle*, utilizzati con successo nella scoperta di innumerevoli esopianeti, sono caratterizzati da una bassa densità di scanalature, dunque ottimizzati per lavorare ad alti angoli di incidenza, consentendo di ottenere una maggiore differenziazione delle caratteristiche spettrali ad alti ordini di diffrazione.

Nei reticoli olografici, invece, il principio di costruzione si basa sul fenomeno d'interferenza. Da un punto di vista teorico, quando due onde piane di luce coerente monocromatica di uguale intensità e lunghezza d'onda si intersecano, il risultato è un profilo di onda stazionaria nella regione d'intersezione, la cui distribuzione d'intensità è caratterizzata da una serie di frange equidistanti. La successiva incisione chimica sulla speciale resina fotosensibile in questione, forma il reticolo. I reticoli olografici

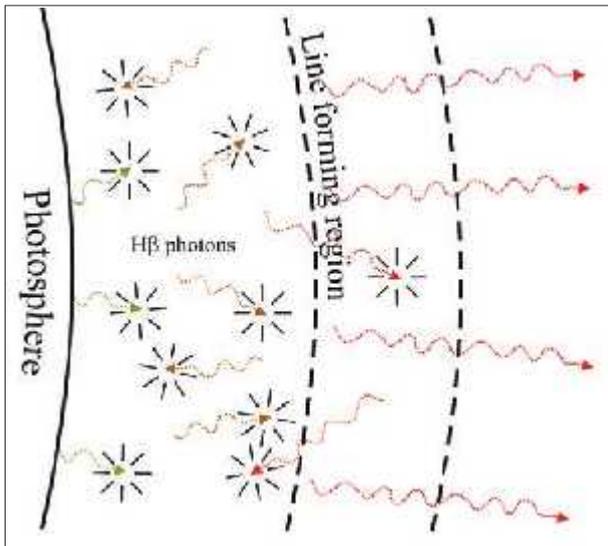


FIG. B1.

sono spesso usati nei monocromatori in quanto, nonostante la forma sinusoidale dei picchi che riducono la luminosità dello spettro risultante, sono più regolari (minore *stray light*), sono facili da fabbricare e, di conseguenza, più economici.

Dinamiche fisiche relative alla spettroscopia

La spettroscopia si avvale di uno studio accurato degli spettri per risalire alle innumerevoli proprietà di un oggetto celeste, come la composizione chimica, la temperatura, la massa, la velocità di rotazione e il campo magnetico. Ogni spettro emesso da un corpo celeste è il risultato della sovrapposizione di tre spettri fondamentali: lo spettro continuo, lo spettro di emissione e lo spettro di assorbimento. Ad esempio, all'interno di una stella, la materia, sotto forma di plasma, è caratterizzata da un grande numero di elettroni liberi che, passando vicino ad un atomo ionizzato, possono variare la loro traiettoria e decelerare, emettendo energia sotto forma di un fotone (*bremsstrahlung*). Dato che gli elettroni possono muoversi a qualsiasi velocità, anche se con probabilità differenti, possono essere emessi fotoni di ogni energia e quindi di ogni lunghezza d'onda, dando origine ad uno spettro continuo. Aumentando la temperatura del corpo, aumenta anche l'energia cinetica media degli elettroni nel plasma e aumenta di conseguenza l'energia emessa per ogni lunghezza d'onda. Questo fatto è descritto dalla legge empirica ricavata da Stefan-Boltzmann, successivamente dimostrata sulla base della meccanica quantistica da Max Planck, secondo cui l'energia emessa da un corpo è direttamente proporzionale alla quarta potenza della temperatura. Inoltre, per la legge di Wien, la lunghezza d'onda alla quale si ha la massima emissione d'energia, che quindi determina il colore percepito della stella, è direttamente proporzionale alla temperatura del corpo. Dunque, esaminando la curva di emissione di un oggetto, possiamo determinarne la temperatura.

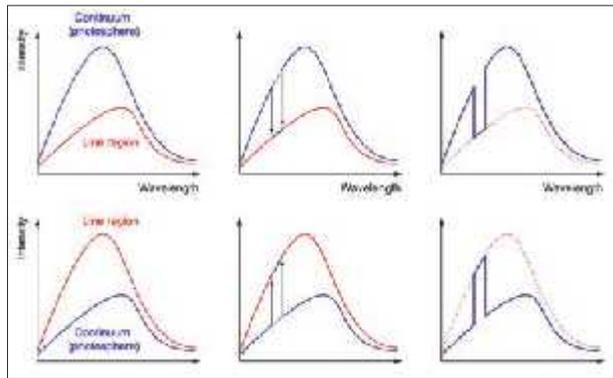


FIG. B2.

Mentre lo spettro continuo è prodotto dalle interazioni tra elettroni liberi (transizione *free-free*) che avvengono all'interno di una stella, gli spettri di emissione e di assorbimento sono prodotti dal gas stellare presente al di fuori della regione della fotosfera, dove le transizioni *free-free* perdono di importanza, per la bassa densità dell'atmosfera stellare, ma in cui l'assorbimento di fotoni da parte di elettroni legati ad atomi (transizione *bound-bound*), anche se limitato a determinate lunghezze d'onda, dà il maggior contributo energetico (FIG. B1).

In accordo con la legge di Stefan-Boltzmann, per regioni della stella con temperatura inferiore rispetto alla fotosfera, la curva di emissione della fotosfera è più alta della curva di emissione della regione esterna; perciò fuori dalla fotosfera, la luce è assorbita e poi nuovamente emessa con un'intensità inferiore a quella iniziale. Questa sostituzione parziale della curva della fotosfera con quella della regione di interesse crea una linea di assorbimento. Se, al contrario, la temperatura di uno strato del Sole sopra la fotosfera è superiore alla temperatura della fotosfera, allora questo genererà uno spettro di emissione (FIG. B2).

Contrariamente a quanto ci si potrebbe aspettare, le bande di emissione non sono linee sottili, ma presentano uno spessore variabile in quanto l'energia dei fotoni emessi con il processo *bound-bound* non ha un valore esatto. Infatti, per il principio di indeterminazione di Heisenberg, dato il tempo finito in cui avviene la transizione energetica, l'energia del fotone deve avere un certo grado di incertezza, che risulta nello spessore finito delle bande di emissione. Il fattore solitamente più importante nell'allargamento di una banda spettrale, tuttavia, è il moto degli atomi rispetto all'osservatore che dà luogo, per l'effetto Doppler, ad un cambiamento della frequenza del fotone e quindi della lunghezza d'onda. Esaminando la sovrapposizione di questi due fattori, in una curva detta *Voigt profile*, siamo in grado di stimare con accuratezza la temperatura della stella e la sua velocità di rotazione.

Gli spettri delle stelle ci forniscono anche informazioni sul campo magnetico per l'effetto Zeeman. Quando è presente un campo magnetico, le caratteristiche linee di assorbimento di un gas sono sud-

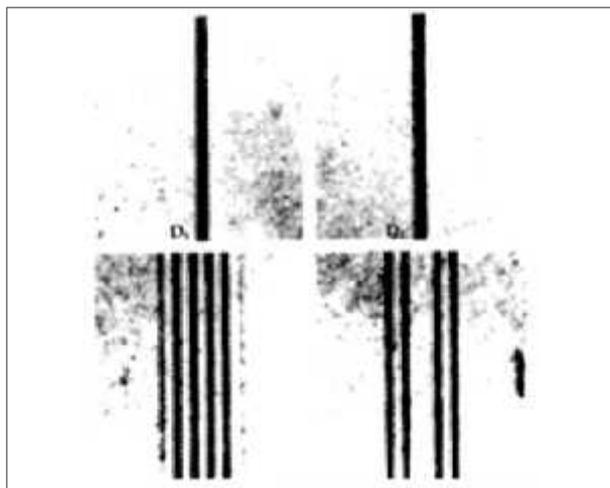


FIG. B3.

divise in più linee ravvicinate e l'energia viene polarizzata, assumendo un orientamento che dipende dal campo magnetico. In questo modo dallo spettro di una stella, ricavato per mezzo di uno spettrometro con polarimetro, possiamo determinare la forza e la direzione del campo magnetico (FIG. B3).

La spettroscopia in astrofisica

Al tempo di Hubble, si credeva che l'universo fosse limitato alla sola Via Lattea. I primi studi a smuovere questa convinzione furono intrapresi nel 1912 da Vesto Slipher che, esaminando lo spettro di Andromeda, allora credeva una nebulosa interna alla nostra galassia, misurò una velocità di avvicinamento insolitamente alta (300 km/s). Inoltre, Edwin Hubble individuò delle variabili Cefeidi nelle fotografie di Andromeda e, dai loro spettri, sulla base degli studi dettagliati compiuti da Henrietta Swan Leavitt nella nube di Magellano, fu in grado di determinare con maggiore precisione la distanza della galassia, confermando definitivamente le teorie risalenti fino al 1755, con Immanuel Kant. Esaminando le relazioni tra la distanza, ottenuta con il metodo delle Cefeidi, e la velocità, ottenuta dallo spostamento Doppler delle bande spettrali di decine di galassie, Hubble trovò una relazione lineare tra i due fattori, in cui la costante di proporzionalità prende oggi il suo nome.

Nel 1944, Walter Baade classificò gli spettri di migliaia di stelle in base alla loro composizione percentuale di elementi pesanti, distinguendole in stelle di popolazione I e II. Confrontando l'età delle stelle osservate con il loro spettro, Baade fu in grado di ricostruire una storia della formazione dell'universo, caratterizzandone la composizione nel corso della sua evoluzione. Secondo il modello elaborato dai suoi dati sperimentali, la materia creata a seguito del *Big Bang*, per la maggior parte idrogeno ed elio, diede origine alle stelle di popolazione III (tuttora non osservate), con una bassissima percen-

tuale di elementi pesanti. Dopo una breve vita, queste sarebbero esplose in supernovae a instabilità di coppia, spargendo nello spazio gli elementi che formarono la popolazione stellare di tipo II, con relativamente pochi metalli pesanti (0,1%). Infine, dagli elementi creati all'interno delle stelle di popolazione II, nacquero le stelle di popolazione I che, come il Sole, sono caratterizzate da un'alta percentuale di elementi pesanti (2-3%).

Fritz Zwicky fu il primo ad applicare il teorema del viriale per trovare un'incongruenza tra la velocità delle galassie nell'ammasso della Chioma e la loro massa, circa 400 volte inferiore a quella predetta teoricamente, dalla velocità ricavata con l'effetto Doppler. Egli, dunque, ipotizzò che ci dovesse essere una grande quantità di massa non luminosa, e quindi non percepibile, a cui diede il nome di materia oscura. A seguito di questa scoperta, molti scienziati, esaminando la velocità orbitale delle stelle intorno al centro galattico, scoprirono che la maggior parte delle galassie è formata da materia oscura che le avvolge in un alone sferico (*dark halo*). Tuttavia, altre spiegazioni di tali discrepanze sperimentali ricercano la soluzione del problema in una modificazione della legge di gravità per piccole accelerazioni. Tra le varie teorie proposte, nessuna delle quali complete e soddisfacenti, troviamo la *Modified Newtonian Dynamics* (MOND) e, sua estensione in ambito relativistico, la *tensor-vector-scalar gravity* (TeVeS).

Attualmente, il campo di applicazione della spettroscopia che invoca maggiore interesse riguarda la ricerca e lo studio di pianeti extrasolari. La presenza di un pianeta orbitante intorno alla stella si può inferire tramite tecniche spettroscopiche dalla velocità radiale di una stella. Tanto minore è la massa del pianeta e quanto più è inclinata la sua orbita rispetto alla nostra linea di osservazione, più piccola sarà la velocità della stella. Per questo motivo, sono necessari strumenti molto precisi che raggiungano una sensibilità di 1 m/s. Tra gli strumenti che hanno avuto maggior successo nella scoperta di pianeti extrasolari troviamo gli spettrografi dell'ESO, HARPS (*High Accuracy Radial velocity Planet Searcher*) e UVES (*Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph*), entrambi spettrografi ad alta risoluzione di tipo *Echelle*. Inoltre, possiamo ottenere informazioni sulla composizione chimica esaminando la luce riflessa dal pianeta, contenente bande di assorbimento dovute a minerali presenti nelle rocce sulla superficie e a molecole nell'atmosfera. In questo modo sono già stati scoperti metalli alcalini, vapore acqueo, monossido di carbonio, biossido di carbonio e metano.

Con l'avvento di telescopi di nuova generazione sempre più potenti, come l'*Extremely Large Telescope* (E-ELT), il *Thirty Meter Telescope* (TMT), sarà inoltre possibile determinare la presenza di molecole e composti fondamentali per la vita e associabili anche ad attività industriali, provando la presenza di vita intelligente.

Conclusione

Nel presente saggio, si è voluto mettere in luce come i traguardi raggiunti nel campo della spettroscopia siano una diretta conseguenza dell'intensa collaborazione tra esperti nei diversi campi della conoscenza umana. Si è cercato di dipanare l'immensa matassa di scoperte scientifiche, per trovare il filo conduttore in grado di legare gli studi, le ricerche e le scoperte degli scienziati che hanno portato, quasi magicamente, alla perfezione raggiunta oggi in tale campo.

L'astronomia continua ad avere profonde ripercussioni sul nostro pensiero, rappresentando per

l'uomo quello sforzo infinito verso la libertà, intesa come autocoscienza, e quella lotta inesauribile contro il limite che conduce al perfezionamento di noi stessi e del mondo in cui viviamo.

Tutto ciò si staglia sull'orizzonte dell'astronomia, la quale ci pone dinanzi nuovi limiti non riscontrabili sulla Terra, che permettono uno sviluppo fecondo della nostra immaginazione e felicità.

Motivazione della commissione esaminatrice

Il concorrente dimostra conoscenza approfondita degli argomenti proposti e il tema è stato sviluppato formulando un discorso convincente e ben articolato.