UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

102° Congresso SIF
Padova 26-30 settembre 2016

Daniele Buongiorno, Marisa Michelini, Mario Gervasio
Unità di Ricerca in Didattica della Fisica – Uni UD

Piano Lauree Scientifiche
IDIFO6

Spettroscopia ottica per studenti di biotecnologie

27 settembre 2016

Italian Physical Society
Società Italiana di Fisica

Outline

- Introduzione: fisica per biotecnologie
- Problemi di apprendimento: dalla letteratura di ricerca didattica
- Il nostro studio: contesto e indagine
- Tutorial: analisi delle risposte e discussione
- Test-out: analisi delle risposte e discussione
- Conclusioni

Introduzione: fisica per biotecnologie

- La fisica per studenti di biotecnologie **NON** può essere proposta semplicemente come una struttura consolidata di conoscenze di base di carattere generale, ma va contestualizzata nell'obiettivo del corso di studi (Meredith & Redish, 2013).

- Questo comporta la scelta di contenuti che, oltre che essere disciplinari, sono di fondamento per gli studi nel campo delle biotecnologie ed in particolare per le analisi tecnologiche in questo campo.

  La spettroscopia ottica rappresenta:

  - Un ponte tra fisica e chimica, oltre che tra fisica classica e moderna;
  - Un contesto in cui applicare concetti fondamentali sull'energia;
  - Un modo in cui si indagano i processi microscopici, utilizzando il concetto di energia;
  - Il contesto operativo in cui studiare i modelli atomici.

Problemi di apprendimento: dalla letteratura di ricerca didattica

- Gli studenti universitari tendono a **associare l'energia di una riga spettrale con l'energia di un singolo livello** (Zollman et al, 2002; Rebello et al, 1998);

- Non riescono a identificare l'emissione discreta da una lampada a scarica di gas e **associano l'energia della radiazione all'intensità piuttosto che al colore** (Lee, 2002);

- **Non capiscono appieno il processo di emissione** luminosa nei corsi introduttivi di astronomia (Bardar et al, 2006);

- **Associano ogni riga a un singolo livello piuttosto che a una transizione**, non considerano il livello fondamentale un livello, pensano che il livello fondamentale sia coinvolto in ogni transizione, **non riconoscono le condizioni sperimentali grazie alle quali uno spettro discreto è formato** (Ivanjek 2012, Ivanjek et al, 2015, Korhasan & Wang, 2016);

- **Non hanno chiaro il modello quantistico del'atomo e della radiazione** e non sono perciò in grado di predire il modo in cui interagiscono (Savall-Alemany et al, 2016).

Spettroscopia ottica e P.E.R.: emerge la necessità di produrre ulteriori risultati!

Il problema aperto della <u>relazione tra livelli energetici ed emissioni spettrali</u> ha ispirato uno <u>studio pilota basato sull'attività di laboratorio</u>, qui descritto.

Il nostro studio: contesto e indagine

CAMPIONE

- Matricole in biotecnologie (Università degli Studi di Udine) N=56, N=45.

CONTESTO E INDAGINE

- Lezioni di ottica fisica e introduzione al laboratorio (4 h): ott-nov 2015;
- Sessioni di laboratorio (2 h): nov-dic 2015. Esperimento in gruppi;
- Esame finale: gen 2016.

DOMANDE DI RICERCA

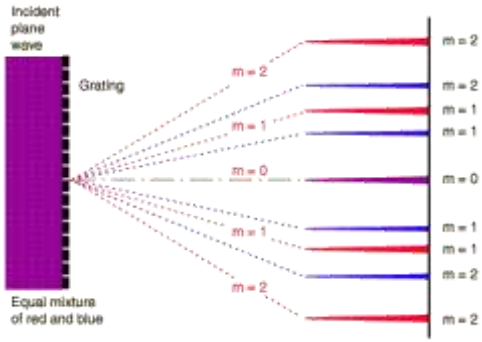
- In che modo gli studenti correlano righe spettrali e livelli energetici?
- Quale modello viene impiegato per descrivere l'emissione di luce da un atomo?
- In che modo gli studenti considerano il ruolo della fenditura e del reticolo di diffrazione?

STRUMENTI E METODI

- Materiali di studio (slides) dalle lezioni e dall'introduzione al laboratorio;
- **Tutorial di ricerca (9 domande aperte)** durante l'attività di laboratorio (compilazione individuale);
- **Test-out (7 domande aperte)** nel contesto dell'esame finale;
- Interviste e **analisi qualitativa delle risposte scritte**: le risposte sono state usate per creare delle categorie, definite operativamente, per identificare il numero e il tipo di aspetti presenti nelle argomentazioni degli studenti, oltre che i referenti concettuali tipici dei modelli interpretativi (Otero & Harlow, 2009).

Il nostro studio: contesto e indagine

Misure tradizionali di lunghezze d'onda emesse da una lampada a scarica di gas tramite **goniometro ottico**, applicando la legge del reticolo.



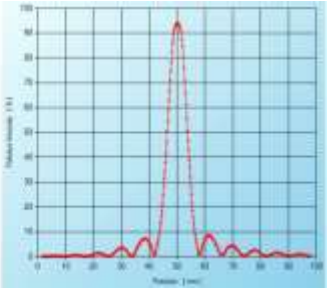
$$d \cdot sin\theta = m \cdot \lambda$$

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{1.24}{\lambda(\mu m)} eV$$

È possibile discutere il ruolo di:

- Sorgente
- Fenditura
- Reticolo
- Legame righe-livelli
- Figura di diffrazione e spettro discreto

Gli studenti hanno precedentemente condotto un esperimento sulla diffrazione da singola fenditura che li introduceva al ruolo del reticolo.



Tutorial: domande proposte

i) Concentrati sul ruolo che ha il reticolo di diffrazione nel setup sperimentale del goniometro ottico e rispondi alle seguenti domande motivando le risposte:

i.1) Come giustifichi la presenza di righe di diverso colore?

i.2) Se la sorgente fosse monocromatica, cosa ti aspetteresti di osservare?

i.3) Cosa fa sì che le righe abbiano quella forma?

ii) In un goniometro ottico, una lampada a idrogeno (l'elemento più semplice esistente) è posta di fronte ad una fenditura e un collimatore; un reticolo di diffrazione si trova tra l'uscita del collimatore e un sistema ottico di osservazione. Si osserva, al primo ordine, da un lato rispetto al centro del reticolo, la serie di righe mostrate.

Considera la seguente discussione:

Studente 1: "La riga all'estrema destra ha la lunghezza d'onda maggiore, il che significa la maggior frequenza. Quella riga, quindi, corrisponde al più alto valore di energia e rappresenta il livello energetico più alto dell'atomo di idrogeno."

Studente 2: "Non sono d'accordo. L'energia di un livello energetico vale hf e la frequenza è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda. Questo significa che la riga all'estrema destra corrisponde al livello fondamentale."

Con quale dei due studenti, se ce n'è uno, sei d'accordo? Illustra la tua motivazione.

iii) Confronta i valori dei livelli energetici dell'idrogeno (allegati) con le energie delle righe mostrate precedentemente (allegate). Sulla base delle relazioni, descrivi cosa avviene nell'atomo quando un fotone è emesso. Cosa puoi dire della tua risposta data alla domanda ii)?

iv) Concentrati ora sui valori di energia dei livelli.

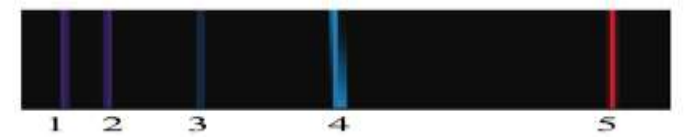
iv.1) Calcola i rapporti E_1/E_n $(n = 2, 3, 4, 5, 6, 7)$.

iv.2) Sulla base dei risultati ottenuti, puoi aspettarti che esista un limite all'energia di un sistema legato protone-elettrone (atomo di idrogeno)?

iv.3) Disegna qualitativamente i livelli energetici, giustificando la loro posizione e le loro distanze.

iv.4) Le righe spettrali si estendono all'infinito a sinistra e destra dello spettro (anche se non le vediamo)?

Tutorial: D ii) La riga rossa corrisponde al livello fondamentale perché ha meno energia?



AFFERMAZIONE	OPINIONE/NUM STUDENTI	ARGOMENTAZIONE (ESEMPI)
"Una riga osservata corrisponde a un livello energetico."	✓ 14/56	*"Le righe dello spettro rappresentano livelli con energia sempre maggiore."* *"La riga 5 è quella a maggior frequenza e quindi non è uno stato fondamentale."*
	✗ 17	*"Ogni riga corrisponde alla differenza di energia tra un livello energetico n e il livello 2."* *"Le righe rappresentano un salto tra due livelli energetici e non un livello singolo."*
"La riga rossa corrisponde al livello fondamentale."	✓ 27	*"La riga rossa all'estrema destra è quella con lunghezza d'onda maggiore ed energia minore, quindi si può considerare il livello fondamentale, dato che all'aumentare del livello aumenta l'energia . Il rosso è quindi la riga ad energia minore poiché λ è inversamente proporzionale ad E."* *"La frequenza è inversamente proporzionale a λ secondo la formula $E=hf=hc/\lambda$. Dunque la banda 5 rispetto alla 1 presenta energia minore ovvero si troverà molto più vicino al nucleo. Possiamo dire che la banda 5, tra tutte, rappresenta il livello fondamentale dell'atomo."*
	✗ 20	*"Dallo spettro che vedo non posso identificare il livello fondamentale con energia maggiore poiché il colore che vedo identifica solo una variazione di energia e quindi un salto di livello."* *"L'atomo al livello fondamentale non emette e le linee corrispondono ad un ΔE."*
"E=hf si riferisce ai livelli."	✓ 2	*"La correlazione tra energia e frequenza è espressa come $E=hf$ e inoltre $c=\lambda f$ quindi frequenza e lunghezza d'onda sono inversamente proporzionali. Il colore rosso corrisponde ad una lunghezza d'onda maggiore e dunque ad una frequenza ed un'energia minore, quindi può corrispondere al livello di energia fondamentale per l'atomo di idrogeno."*
	✗ 3	*"Tale formula si riferisce all'energia della radiazione e quindi la riga all'estrema destra è quella con minor energia."* *"L'energia di un singolo fotone di luce equivale al prodotto $E=hf$."*

Tutorial: D iii) Confronta i valori dei livelli energetici dell'idrogeno con le energie delle righe mostrate precedentemente. Cosa puoi dire della tua risposta precedente? Descrivi il processo di emissione.

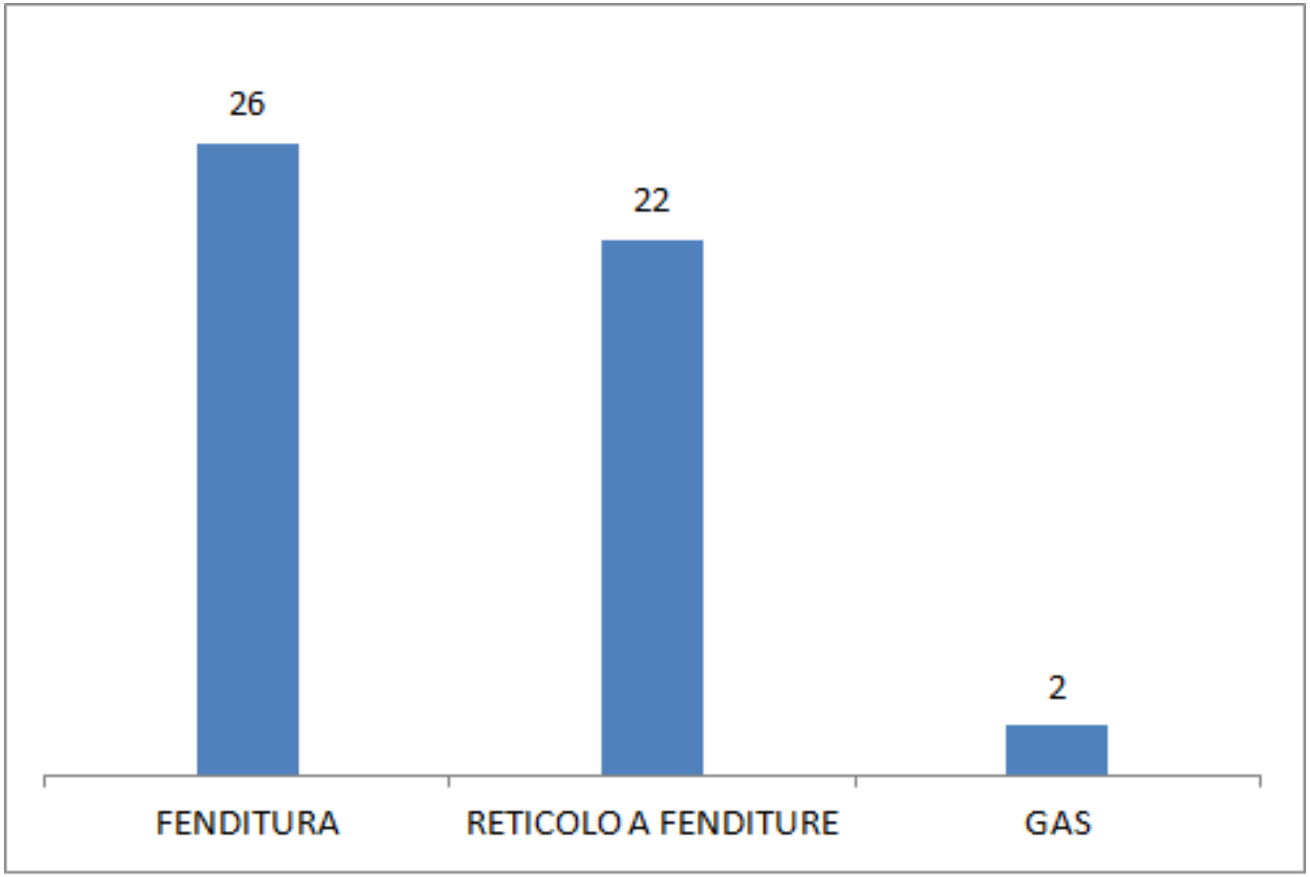
IN CHE MODO VENGONO UTILIZZATE E INTERPRETATE LE TABELLE	NUMERO STUDENTI	ESEMPI
VIENE UTILIZZATA SOLO UNA TABELLA	TABELLA RIGHE: **9/56**	*"Mano a mano che andiamo da un livello energetico all'altro, aumenta la lunghezza d'onda della riga e quindi diminuisce l'energia relativa."* *"In base ai valori della tabella, si nota che a maggiori lunghezze d'onda corrispondono più bassi livelli energetici."*
	TABELLA LIVELLI: **4**	*"Più andiamo lontano dal nucleo, più i livelli sono vicini."* *"Il livello di energia E1 rappresenta lo stato fondamentale con energia maggiore (negativa). L'elettrone libero, non legato a nulla infatti ha energia pari a zero."*
CONFRONTO TRA LE DUE TABELLE	CORRISPONDENZA DIRETTA: **5**	*"In base alla tabella 2, la risposta ii) viene confermata: si vede infatti che a valori sempre maggiori di λ corrispondono valori sempre più bassi in energia. Dalla tabella 1 si deduce che più alto è il livello energetico, più alto è il valore di energia. A distanza infinita dal nucleo l'energia vale 0."* *"Confrontando i valori energetici dell'idrogeno con le energie delle righe si nota che la riga 5 non corrisponde al livello fondamentale, cioè è il livello di energia più vicino al fondamentale con un'energia più bassa tra le 5 righe, ma non è il livello fondamentale che è invece E1."*
	RIGHE COME VARIAZIONE DI ENERGIA: **4**	*"Nella seconda tabella sono indicate le differenze di energie tra i livelli dell'atomo una volta eccitato."* *"Per esempio l'energia della riga 5 (1.89 eV) è uguale alla differenza E3-E2, quindi tale riga è data da un elettrone che passa dal livello 3 al livello 2."*

Tutorial: D iii) Confronta i valori dei livelli energetici dell'idrogeno con le energie delle righe mostrate precedentemente. Cosa puoi dire della tua risposta precedente? Descrivi il processo di emissione.

Modelli di ragionamento e stili di analisi

AUTOANALISI RISPOSTA PRECEDENTE	ARGOMENTAZIONE/NUMERO STUDENTI	ESEMPI
CONFERMA	IL LIVELLO FONDAMENTALE CORRISPONDE ALLA λ MAGGIORE: **6/56**	*"Riferendoci alla domanda precedente possiamo vedere che il livello fondamentale è quello con energia più bassa, quindi con λ maggiore."* *"In base alla tabella 2, la risposta ii) viene confermata: si vede infatti che a valori sempre maggiori di λ corrispondono valori sempre più bassi in energia. Dalla tabella 1 si deduce che più alto è il livello energetico, più alto è il valore di energia."*
	LE ENERGIE DELLE RIGHE CORRISPONDONO A UNA DIFFERENZA DI ENERGIA TRA LIVELLI: **3**	*"Un fotone è emesso quando un atomo eccitato passa a un livello energetico più basso. L'energia persa è emessa in radiazione che ha frequenza ricavabile con l'equazione di Planck. Alla luce di ciò la mia risposta alla domanda ii) mi pare corretta."*
SMENTITA	ESISTONO ALTRI LIVELLI AL DI SOTTO DELLA RIGA ROSSA: **3**	*"La riga 5 non corrisponde al livello fondamentale, cioè è il livello di energia più vicino al fondamentale con un'energia più bassa tra le 5 righe, ma non è il livello fondamentale che è invece E1."*

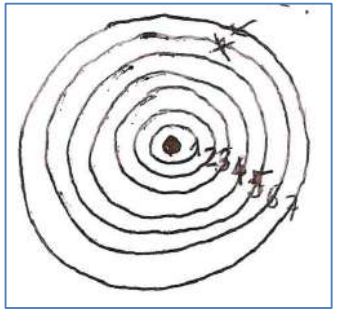
Tutorial: D i.3) Cosa fa sì che le righe abbiano quella forma?



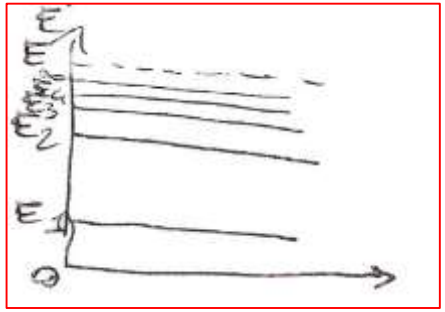
Inoltre, 3 studenti si concentrano sul ruolo delle righe nel rappresentare un ente monocromatico:

"I colori dello spettro cambiano in senso orizzontale, invece le righe, essendo verticali, occupano verticalmente tutta la banda (riga) di uno stesso colore, che se fosse altrimenti orizzontale comprenderebbe altri colori e quindi diverse lunghezze d'onda contemporaneamente."

Tutorial: D iv.3) Disegna qualitativamente i livelli energetici, giustificando la loro posizione e le loro distanze.

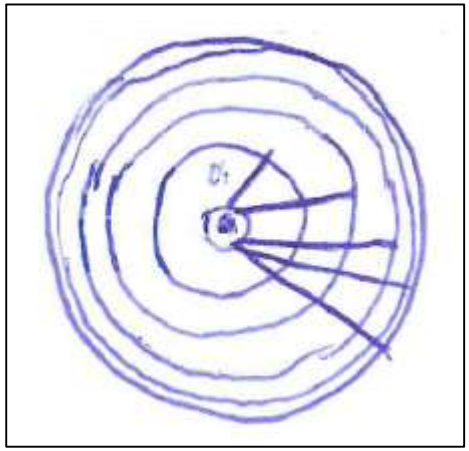


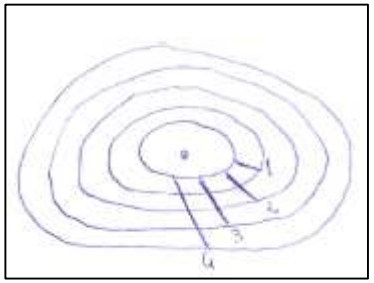
BOHR: 29/56

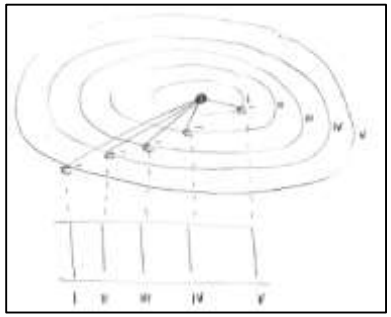


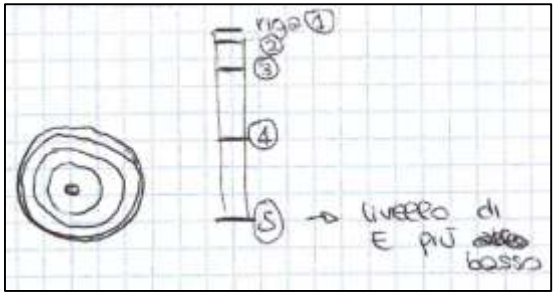
LIVELLI: 17/56

In particolare, gli studenti disegnano un numero di livelli pari a: **7** (23), **6** (2), **5** (4).





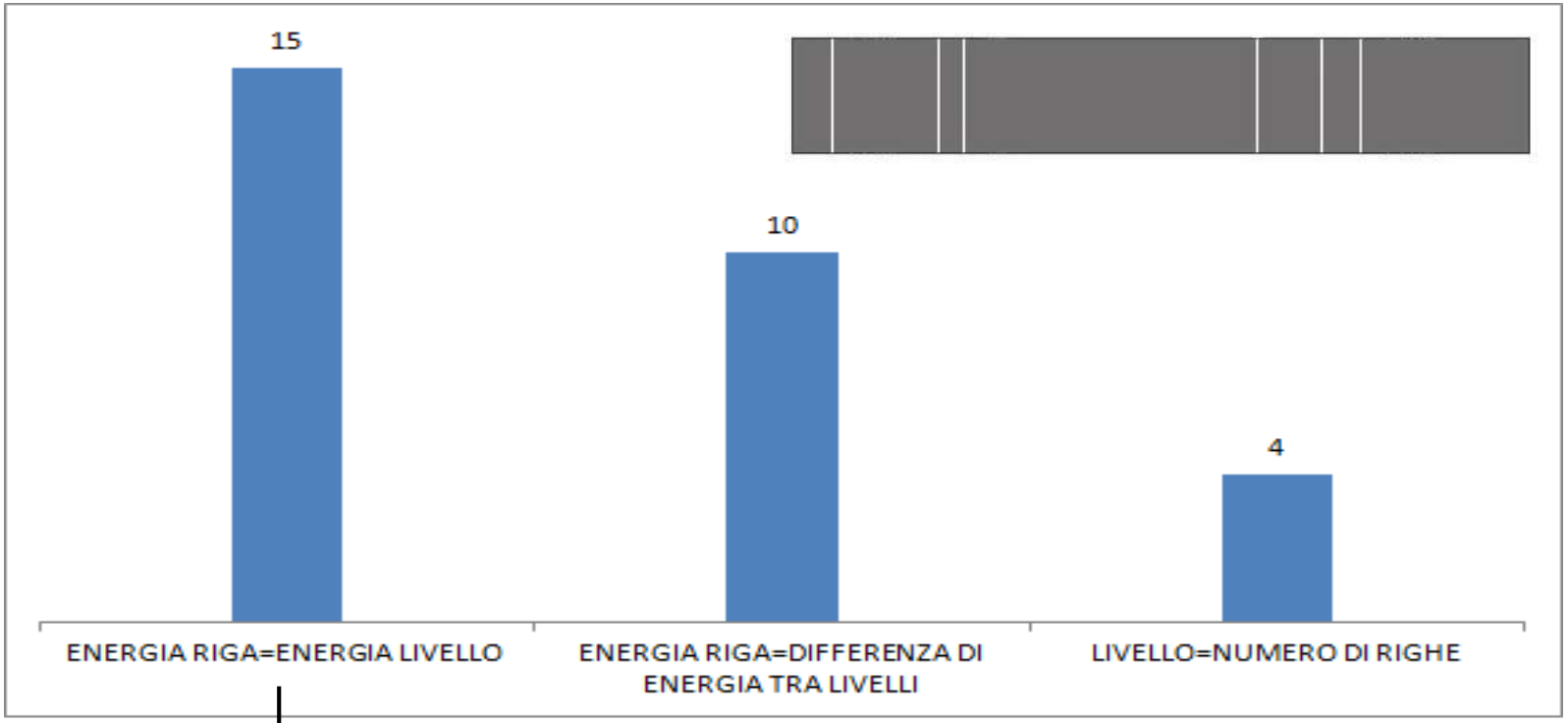




Test-out: domande proposte

1) In che relazione sono le righe dello spettro e i livelli energetici del sistema emittente?
2) Qual è il numero minimo di livelli necessari per giustificare la presenza delle righe che si osservano? Disegnarli.
3) Il livello energetico E_2 è coinvolto nella formazione di una o più righe nello spettro mostrato. Evidenziala/le.
4) Quali nuove righe si osserverebbero se si prendesse in considerazione un livello energetico superiore?
5) Per l'atomo di idrogeno le energie del livello fondamentale e del livello E_3 valgono rispettivamente -13.61 eV e -1.51 eV. Quale/i riga/righe è possibile prevedere nello spettro? Calcolarne l'energia.
6) Cosa si osserverebbe se dall'apparato sperimentale venisse rimosso il reticolo?
7) Cosa si vedrebbe nell'intervallo angolare 0°-180° del goniometro di laboratorio se usassi una lampada a incandescenza?

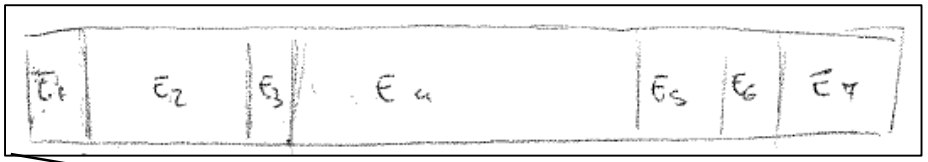
Test-out: D 1) In che relazione sono le righe dello spettro e i livelli energetici del sistema emittente?



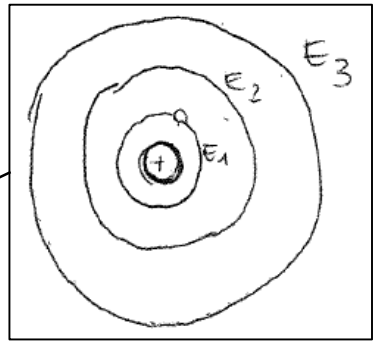
"La relazione fra le righe dello spettro e i livelli energetici è espressa dall'equazione di Planck: $E=hf=hc/\lambda$."

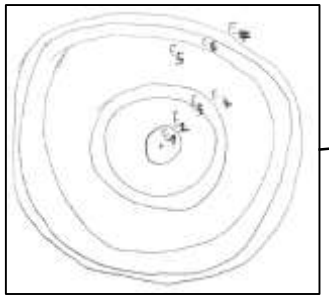
"Ad ogni riga dello spettro corrisponde uno specifico livello energetico del sistema considerato."

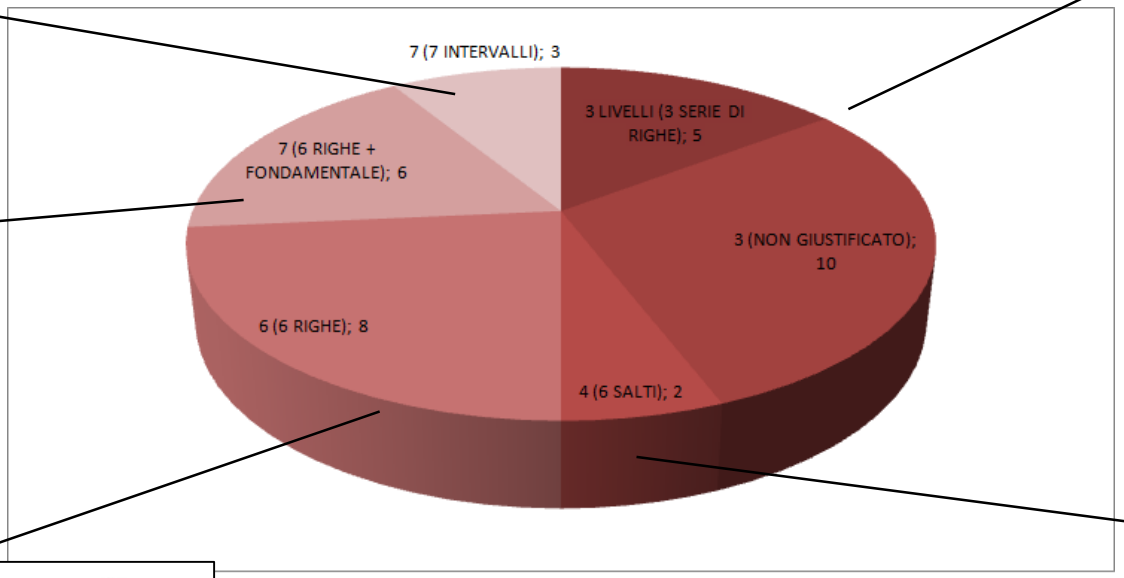
Test-out: D 2) Qual è il numero minimo di livelli necessari per giustificare la presenza delle righe che si osservano? Disegnarli.

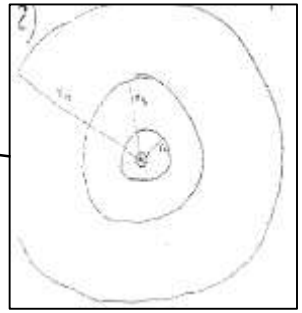


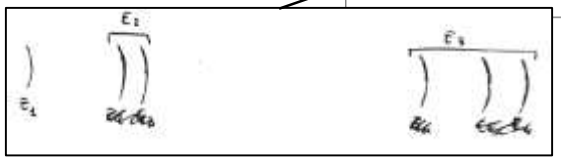
BOHR: 25/45
LIVELLI: 13/45



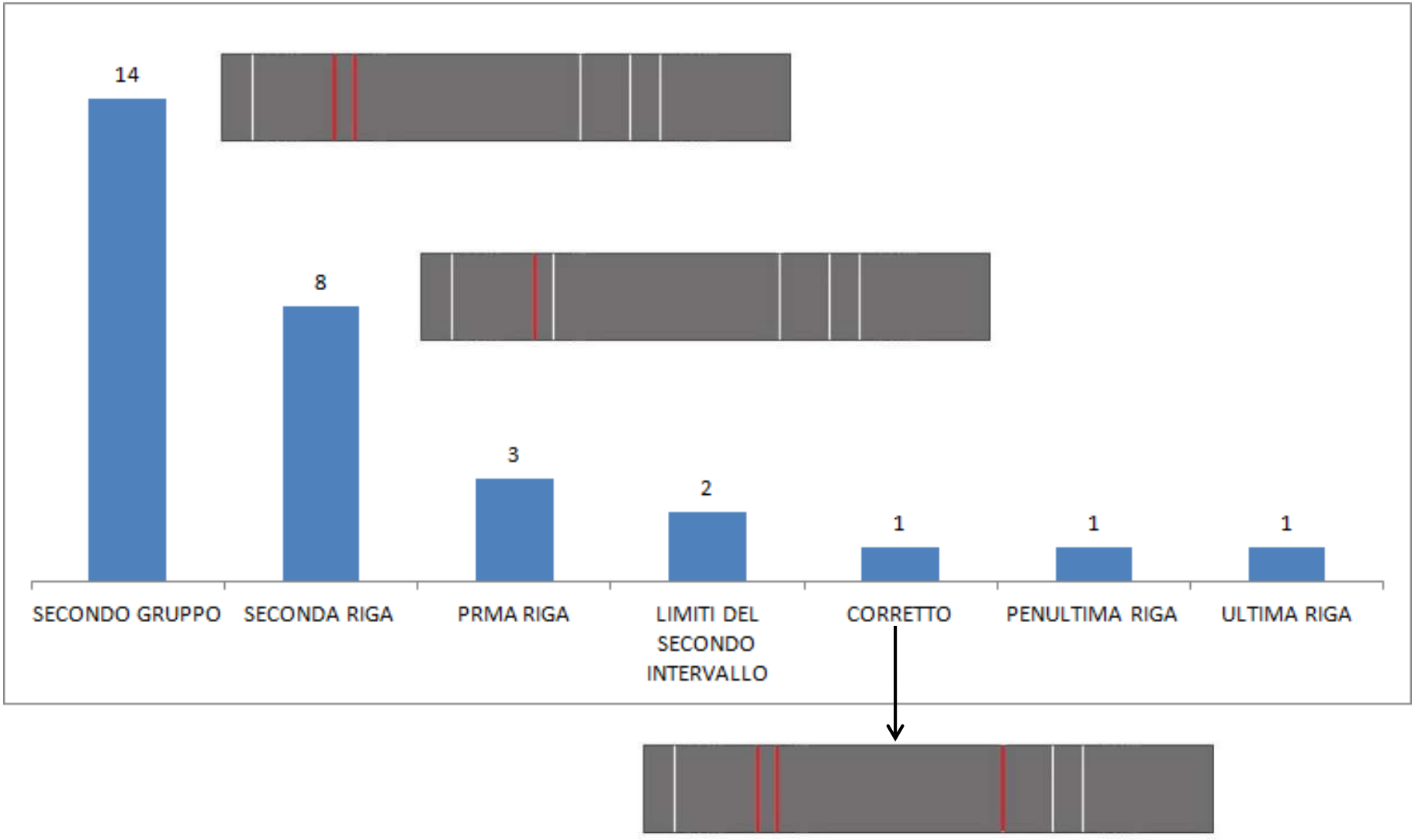




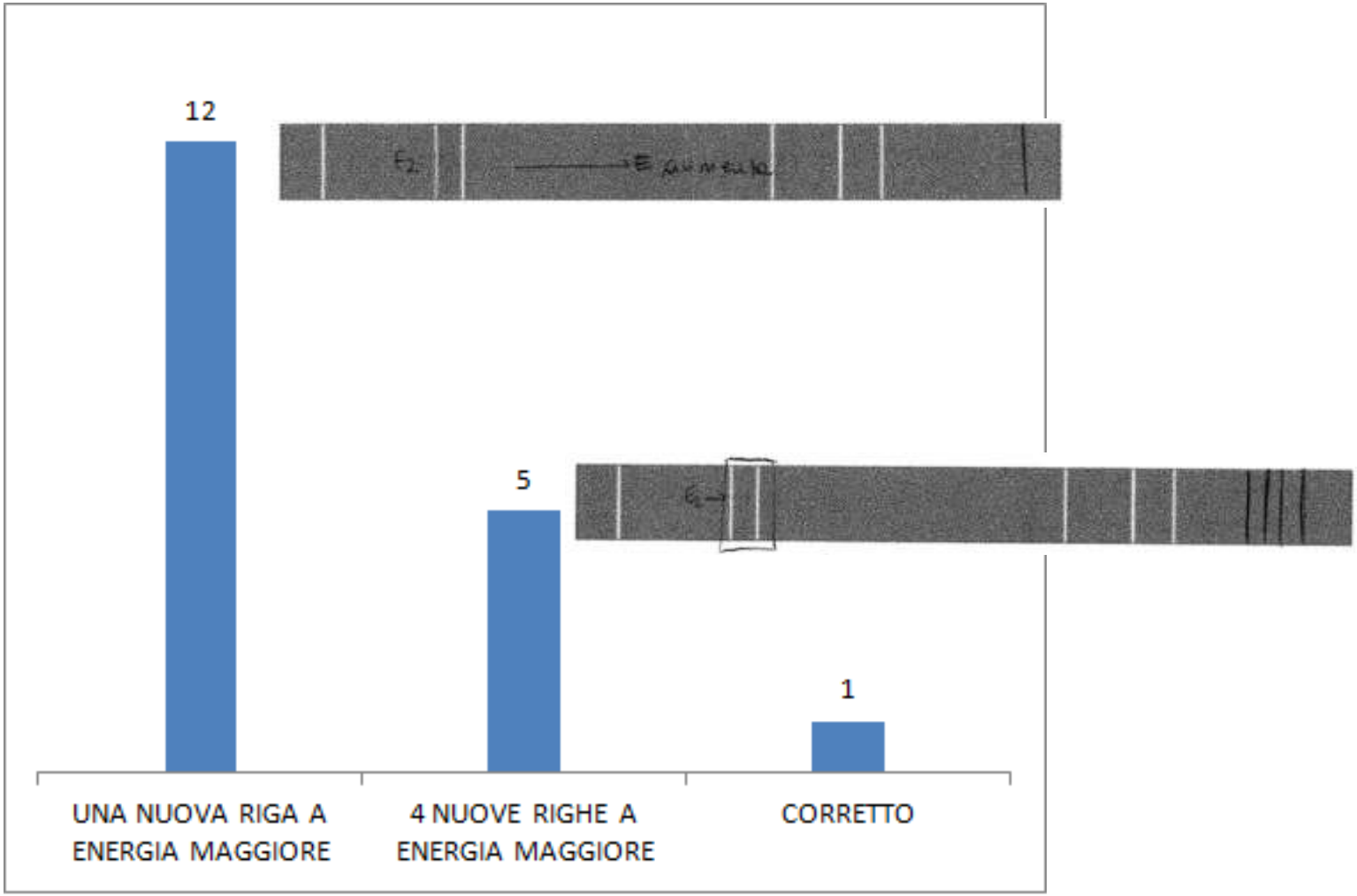




Test-out: D 3) Il livello energetico E_2 è coinvolto nella formazione di una o più righe nello spettro mostrato. Evidenziala/le.



Test-out: D 4) Quali nuove righe si osserverebbero se si prendesse in considerazione un livello energetico superiore?

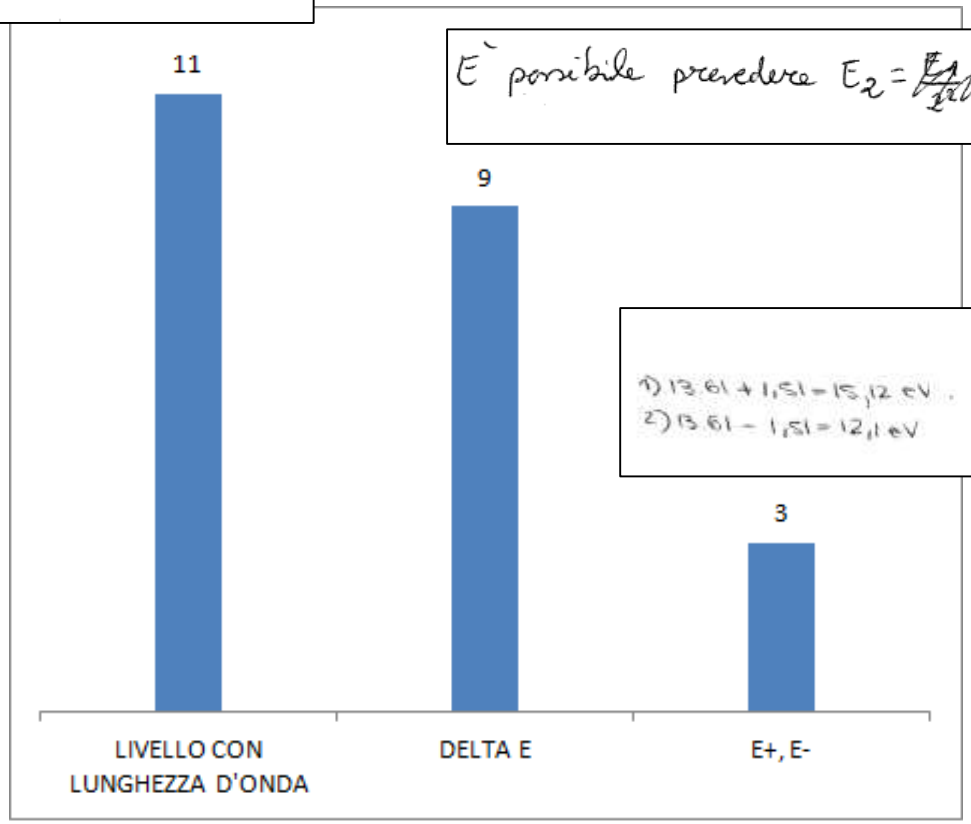


Test-out: D 5) Per l'atomo di idrogeno le energie del livello fondamentale e del livello E_3 valgono rispettivamente -13.61 eV e -1.51 eV. Quale/i riga/righe è possibile prevedere nello spettro? Calcolarne l'energia .

$E_1 = 13{,}61\,eV = \frac{1{,}26}{\lambda_1}\,eV \Rightarrow \lambda_1 \cong 930\,nm$

$E_3 = 1{,}51\,eV = \frac{1{,}26}{\lambda_3}\,eV \Rightarrow \lambda_3 \cong 830\,nm$

È possibile prevedere $E_2 = \cancel{\frac{E_1}{2^2}}\; E_1 - \frac{E_1}{2^2} = -10{,}20\,eV$



da $E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{E}$

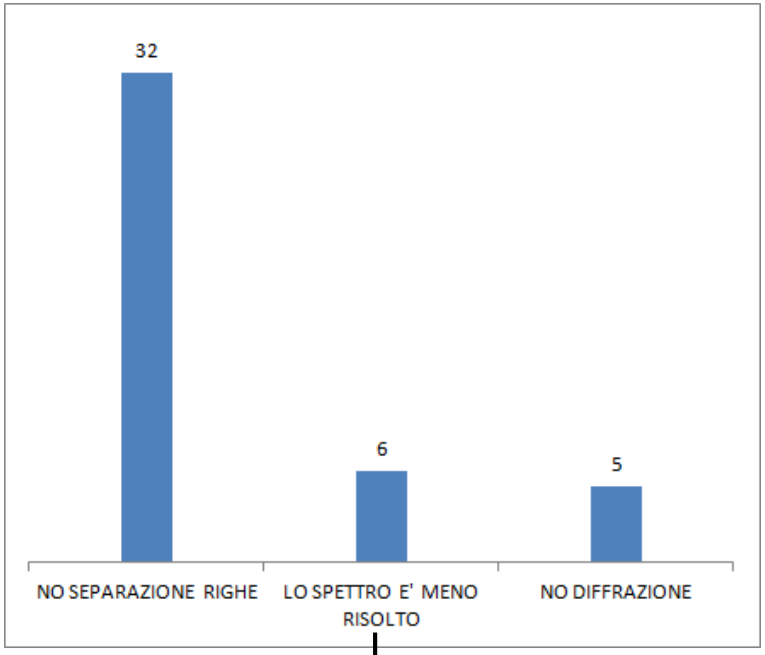
1) $13{,}61 + 1{,}51 = 15{,}12\,eV$ 1) $\lambda = \frac{1{,}24 \cdot 3 \cdot 10^8}{15{,}12} = 2{,}47 \cdot 10^{-7}\,m$

2) $13{,}61 - 1{,}51 = 12{,}1\,eV$ 2) $\lambda = \frac{1{,}24 \cdot 3 \cdot 10^8}{12{,}1} = 3{,}07 \cdot 10^{-7}\,m$

Nessuno studente ha evidenziato la riga sullo spettro!

Test-out: D6), D7)

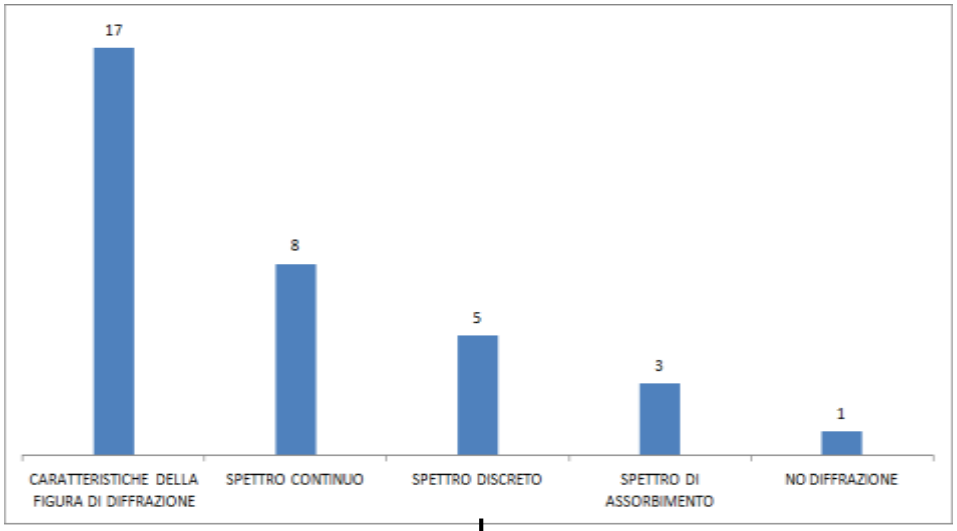
D 6) Cosa si osserverebbe se dall'apparato sperimentale venisse rimosso il reticolo?



"Dato che il reticolo aumenta il fenomeno di separazione delle righe, se venisse tolto, lo spettro si vedrebbe meno delineato e preciso."

"Spettro continuo in cui non si distinguono le righe poiché la funzione del reticolo è ampliare e distanziare le righe di emissione."

D 7) Cosa si vedrebbe nell'intervallo angolare 0°-180° del goniometro di laboratorio se usassi una lampada a incandescenza?



"Si vedono un certo numero di righe per ordine."

"Posso individuare le righe spettrali."

Conclusioni

- Si nota un atteggiamento prevalente tra gli studenti che consiste nel **limitarsi a descrivere i fenomeni** o ad **usare concetti precedentemente appresi senza alcuna consistenza logica** (orbite, transizioni…);

- **Associazione concettuale tra una singola emissione spettrale e un singolo livello energetico**: esiste una difficoltà nel correlare i due tipi di referenti. Potrebbe esserci una correlazione con altri due importanti esiti:

- Attribuzione **di energia nulla al livello fondamentale**, che è coinvolto in TUTTE le transizioni;
- Uso improprio del termine "livello energetico" (casi in cui a un livello è associata λ);

SETUP SPERIMENTALE:

- Le righe sono sottili a causa delle incisioni sul reticolo;
- Il reticolo serve solo ad amplificare la distanza tra le righe, che sono comunque sempre visibili;
- Una lampada a incandescenza produce uno spettro discreto a causa della presenza del reticolo

Ciò suggerisce di porre e approfondire le questioni a proposito del setup sperimentale, in quanto sembra che non sia sempre chiaro il loro ruolo delle varie componenti nella formazione degli spettri osservati.

Bibliografia

- *E.M. Bardar, E.E. Prather, K. Brecher, T.F. Slater, 2006, The need for a light and spectroscopy concept inventory for assessing innovations in introductory astronomy survey courses, Astronomy Ed. Rev., 4(2), 20*
- *L. Ivanjek, 2012, An investigation of conceptual understanding of atomic spectra among university students, Ph.D. dissertation, University of Zagreb*
- *L. Ivanjek, P.S. Shaffer, L.C. McDermott, M. Planinic, D. Veza, 2015, Research as a guide for curriculum development: An example from introductory spectroscopy. I. Identifying student difficulties with atomic emission spectra, Am. J. of Phys., 83(1), 85*
- *L. Ivanjek, P.S. Shaffer, L.C. McDermott, M. Planinic, D. Veza, 2015, Research as a guide for curriculum development: An example from introductory spectroscopy. II. Addressing student difficulties with atomic emission spectra, Am. J. of Phys., 83(2), 171*
- *N.D. Korhasan, L. Wang, 2016, Students' mental models of atomic spectra, Chem. Educ. Res. Pract.*
- *S. Lee, 2002, Students' understanding of spectra, Ph.D. dissertation, Kansas State University*
- *D.C. Meredith, E.F. Redish, 2013, Reinventing physics for life-sciences majors, Phys. Today, 66(7), 38*
- *V.K. Otero, D.B. Harlow, 2009, Getting started in qualitative physics education research, PER Central*
- *N.S. Rebello, C. Cumaranatunge, L.T. Escalada, D.A. Zollman, D. Donnelly, 1998, Simulating the spectra of light source, Computer in Physics, 12(1), 28*
- *F. Savall-Alemany, J.L. Domènech-Blanco, J. Guisasola, J. Martinez-Torregrosa, 2016, Identifying student and teacher difficulties in interpreting atomic spectra using a quantum model of emission and absorption of radiation, Phys. Rev. ST Phys. Ed. Res., 12(1), 01013*
- *D.A. Zollman, N.S. Rebello, K. Hoggs, 2002, Quantum mechanics for everyone: Hands-on activities integrated with technology, Am. J. Phys., 70(3), 252*