Esempio di seconda prova scritta di Fisica per l'Esame di Stato degli indirizzi di studio Liceo Scientifico e Liceo delle Scienze Applicate

Presentazione del lavoro

1. Premessa

Nel luglio 2014 il direttivo AIF, alla luce della ventilata modifica della seconda prova scritta dell'Esame di Stato del Liceo Scientifico e del Liceo Scientifico delle Scienze Applicate, modifica che prevederebbe tra le discipline da alternare nella prova la presenza della Fisica, ha deciso di istituire un gruppo di lavoro, coordinato dal consigliere Alberto Meroni (Trento), per studiare e proporre un esempio di seconda prova. Si voleva procedere, in un certo senso, ad uno studio di fattibilità della prova, sulla base delle Indicazioni Nazionali per la Fisica, del recentemente proposto Sillabo, qui allegato e delle caratteristiche precipue della disciplina, caratteristiche che la distinguono dalla Matematica e dalle altre discipline scientifiche. Il gruppo di studio ha quindi prodotto la simulazione che trovate qui acclusa ed il seguente documento che vuole spiegare le assunzioni fatte sulla struttura e i contenuti della prova, le difficoltà incontrate ed alcune proposte in merito. Oltre alla simulazione abbiamo incluso la soluzione completa della prova, realizzata per esteso, in primo luogo perché è buona usanza farlo, inoltre allo scopo di mettere in luce le vere difficoltà della stessa e i punti critici di cui tenere conto nel passaggio alla fase esecutiva. Il gruppo, composto da docenti di Fisica di Liceo Scientifico che hanno dato la loro disponibilità Kay Gadaleta (Molfetta, Bari), Paola Pannuti (Parma), Giuseppina Tarantino (Castagneto Po, Torino) e da Silvano Sgrignoli (consigliere ed ex Presidente AIF), oltre al coordinatore ha lavorato a distanza durante i mesi di agosto e settembre 2014 scambiandosi all'incirca trecento email.

2. Le assunzioni fatte

1. La struttura della prova

Sulla base delle indicazioni emerse da contatti con i dirigenti ministeriali e dei lavori precedenti sull'argomento[1], è stata assunta una prova articolata in tre quesiti obbligatori, classificati "facili", ed in tre quesiti classificati "difficili", ciascuno dei quali a scelta dello studente all'interno di una coppia. Sia i tre quesiti "facili" che le tre coppie fanno ciascuno riferimento a tre aree distinte della disciplina, allo scopo di coprire in modo pressoché completo il sillabo previsto per il quinto anno. Ciascun quesito, **monotematico**, è stato articolato in sotto-quesiti, allo scopo di guidare lo studente verso la soluzione e di delimitare a volte l'ampiezza dello stesso. Questa scomposizione permette inoltre allo studente di risolvere (e di veder valutato) una parte dello stesso secondo il proprio livello di apprendimento. I quesiti del primo tipo dovrebbero corrispondere, come contenuti, all'incirca, ai livelli minimi di apprendimento compatibili con una valutazione sufficiente (che nella normativa attuale cha il punteggio di 10/15). Per differenza i quesiti del secondo tipo avrebbero una valutazione globale pari ad un terzo del punteggio totale disponibile.

2. I contenuti della prova

I contenuti della prova sono stati presi dal Sillabo recentemente proposto. Allo scopo di individuare le tre aree lo stesso è stato diviso in tre parti, approssimativamente della stessa ampiezza oraria (sempre secondo il Sillabo):

1. Elettromagnetismo
2. Equazioni di Maxwell e onde elettromagnetiche, Relatività
3. Fisica quantistica.

Il secondo gruppo è stato così assemblato per motivi puramente numerici, senza nessuna particolare implicazione didattica o concettuale.

1 Si veda ad esempio "La prova scritta di matematica nel secondo esame di stato del liceo scientifico: una proposta" di Lucia Ciarrapico (MIUR) su Archimede, **2** (2011) pagg. 59-66, reperibile al link http://www.pianetascuola.it/risorse/media/riviste_def/riviste/archimede/pdf/Lucia%20Ciarrapico.pdf

Sono state quindi predisposte tre domande obbligatorie, una per ciascuna area, e tre gruppi di coppie di domande tra cui si presuppone lo studente scelga quale svolgere delle due.

3. **La tipologia dei quesiti**

Per la realizzazione dei quesiti, guidati anche dalle Indicazioni Nazionali secondo le quali

> *"lo studente avrà acquisito le seguenti competenze: osservare e identificare fenomeni;* ***formulare ipotesi esplicative utilizzando modelli, analogie e leggi; formalizzare un problema di fisica e applicare gli strumenti matematici e disciplinari rilevanti per la sua risoluzione;*** *fare esperienza e rendere ragione del significato dei vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali, scelta delle variabili significative, raccolta e analisi critica dei dati e dell'affidabilità di un processo di misura, costruzione e/o validazione di modelli; comprendere e valutare le scelte scientifiche e tecnologiche che interessano la società in cui vive"*

abbiamo ritenuto, anche sulla base delle indicazioni ministeriali, di sviluppare, per la parte obbligatoria quesiti che prevedessero la soluzione di semplici esercizi, integrati eventualmente da brevi trattazioni della teoria sottostante, presente comunque sempre in maniera non preponderante (come è invece il caso, per esempio, delle attuali seconde prove di Fisica del Liceo Brocca ove hanno un peso di circa l'ottanta per cento, un esempio di queste prove è qui accluso come esempio per coloro che non hanno familiarità con esse) e possibilmente non generica ma puntuale e circostanziata. Oltre all'ovvio criterio dell'aderenza alle Indicazioni Nazionali si è ritenuto che questa tipologia di prova assicurasse una maggiore continuità con l'attuale seconda prova di matematica, garantendo anche una maggiore omogeneità di livello e di valutazione nella prova futura in cui le diverse discipline si dovrebbero alternare, e particolare non trascurabile garantisse anche una maggiore omogeneità di valutazione tra le diverse commissioni d'esame, soprattutto in assenza di una griglia di correzione vincolante imposta centralmente.

I quesiti "difficili", dovendo accertare la padronanza di competenze superiori alla normale sufficienza presentano difficoltà maggiori, pur restando comunque monotematici, e non non richiedono trattazioni ma una puntuale giustificazione dei procedimenti seguiti e delle assunzioni fatte, nell'ottica di una valutazione che sia comunque di processo più che di risultato.

I quesiti di questa seconda parte relativi alla prima area (elettromagnetismo) risultano essere mediamente più complessi di quelli delle altre due,anche a causa delle complicazioni di carattere matematico che accompagnerebbero richieste più precise in meccanica quantistica e relatività.

Resta comunque da tener presente che l'innovazione prevista dall'introduzione di una nuova disciplina con un brevissimo preavviso può comportare difficoltà nella prima fase di attuazione (due-tre anni), difficoltà da tenere presente nell'immediato, ma che non deve invalidare la prospettiva a più lungo termine. Possiamo cioè supporre una fase di adattamento alla novità, ma tale adattamento deve comunque avvenire entro la tipologia di prova qui presentata.

2. **Breve commento alla prova**
   1. **Parte obbligatoria**
      1. *Legge di Faraday-Neumann-Lenz e relazione con la forza di Lorentz.*

         L'argomento è "tradizionale" e la trattazione della parte teorica presente in praticamente tutti i testi. Questo ha consentito di formulare una richiesta più precisa e puntuale. Si è scelto, come lo si è fatto spesso in seguito, di non puntare sul caso più generale possibile, per esempio semplificando la geometria del circuito e del

campo magnetico. Anche il ricorso al calcolo integrale e differenziale, per motivi di semplificazione è stato limitato. Le soluzioni presentate, in tutta la prova, ovviamente non sono le uniche e forse nemmeno le migliori. Ne sono scelte alcune delle più comuni. Altre sono ovviamente possibili.

2. *Principio di indeterminazione*
   Anche questo è un argomento ben conosciuto. La mancanza di una consuetudine nella sua trattazione, ci ha convinti a tenere la domanda generica nella prima parte. La stesura della risposta, anche della parte numerica, a causa delle diversità di formulazione del principio di Heisenberg tra i diversi testi, ha portato a scrivere due risultati diversi. La mancanza di consuetudine di alcuni docenti con l'insegnamento della fisica cosiddetta moderna può costituire una ulteriore sorgente di difficoltà nella valutazione, specialmente dei contenuti maggiormente discorsivi.
3. *Il decadimento del muone.*
   Anche questo è un problema frequentemente trattato. Si ribadisce qui che questi quesiti "facili" non devono essere necessariamente già visti (sarebbe impossibile) ma che si è ritenuto di proporre questioni che immediatamente suggerissero al lettore il livello di difficoltà. La risposta alla parte teorica ha richiesto un confronto serrato tra i membri del gruppo circa la definizione di tempo proprio con la contrapposizione di definizioni più generali ad altre forse didatticamente più proficue. Da notare che è stato scelto di non richiedere di ricavare l'espressione del tempo proprio in un riferimento qualunque e dimostrarne l'invarianza, soprattutto a causa delle molteplici diversità di impostazione che si possono dare alla questione. Si è scelto cioè di evitare domande che potessero portare a valutazioni molto diversificate tra le diverse commissioni.

2. Parte facoltativa – gruppo 1

1. *Selettore di velocità*
   Quesito non particolarmente impegnativo, la cui unica difficoltà per lo studente sta nel rendersi conto della necessità che il moto della particella sia rettilineo e uniforme e conseguentemente nella disposizione geometrica del campo magnetico. E' anche possibile che lo studente conosca il problema. Lo si è però qui proposto presupponendo che non lo conosca, come esemplificazione del livello di "difficoltà" supposto.
2. *Circuito triangolare*
   Problema forse più articolato del precedente, anche se la difficoltà sta forse nell'ultimo sotto - quesito.

3. Parte facoltativa – gruppo 2

1. *Effetto fotoelettrico*
   Non particolarmente impegnativo ma che presuppone la conoscenza della fenomenologia dell'effetto fotoelettrico e la capacità dello studente di analizzare dati sperimentali. Ovviamente i risultati numerici sono solo indicativi, essendo possibile una certa variabilità (che qui si è scelto di non approfondire) del risultato a seconda del metodo di analisi utilizzato. Come in altri quesiti, allo scopo di evitare punteggi troppo pesantemente negativi lo studente ha la possibilità di svolgere parte del quesito, per esempio la teoria dell'effetto fotoelettrico, anche se carente in altre competenze (ad esempio analisi dei dati sperimentali).
2. *Livelli del mercurio*
   Anche qui un quesito che non presuppone calcoli complicatissimi ma richiede una conoscenza non superficiale della legge di Bohr per la conservazione dell'energia nella transizione tra livelli discreti. La scelta inusuale del numero d'onda, anziché della frequenza della transizione, ha soprattutto motivazioni di consuetudine e storiche.

4. **Parte facoltativa – gruppo 3**
   1. *Formazione del carbonio nelle stelle*[2]
      Una applicazione del concetto di difetto di massa e della teoria della Relatività.
   2. *Trasformazione relativistica delle velocità*[3]

3. **I problemi incontrati**

La prima difficoltà incontrata è stata quella di lavorare alla prova nella prospettiva di un lungo termine, astraendo il più possibile dagli studenti che ciascuno di noi si troverà ad avere nel momento in cui la riforma andrà in essere. Questo porta a reiterare l'invito ad una transizione dal vecchio schema al nuovo il più possibile graduale, per esempio prevedendo che **l'introduzione della fisica come seconda prova possa applicarsi per la prima volta agli studenti che entreranno quest'anno in terza liceo**.

La mancanza di una consuetudine, da un lato nell'insegnamento della fisica, cosiddetta moderna, dall'altra ad una seconda prova basata su quesiti di fisica, hanno reso non facile individuare un livello di difficoltà dei quesiti giudicato ragionevole dai membri del gruppo.

Infine, nella predisposizione delle soluzioni, si sono verificate differenze di vedute circa quello che si doveva considerare soddisfacente per le risposte a domande teoriche, quali quelle sul principio di indeterminazione e sulla trasformazione del tempo proprio da un sistema di riferimento all'altro. Questo elemento deve essere in particolare motivo di attenta considerazione, anche a causa della mancanza di esperienza e, in qualche caso, di formazione di base, sulla fisica moderna. Lo stesso Sillabo, inoltre, anche per il fatto di fare riferimento alle sole competenze e conoscenze del quinto anno, e non anche a quelle del secondo biennio costituisce un motivo di difficoltà. Anche una maggiore puntualità sugli argomenti richiesti dallo stesso, tenuto conto del fatto che un Sillabo è cosa diversa come spirito sia dalle Indicazioni Nazionali che dai vecchi Programmi Ministeriali, ai quali si rischia di assimilarlo, avrebbe facilitato il lavoro di stesura della prova e faciliterebbe il compito degli insegnanti di preparare gli studenti per tale prova.

Infine, la mancanza dei livelli di riferimento previsti dalla normativa, che dovrebbero essere decisi a livello centrale e la cui realizzazione è affidata, nella propria autonomia alle scuole, costituisce una ulteriore complicazione.

4. **La questione della valutazione**

E' nostra convinzione che una prova di questo tipo dovrebbe essere accompagnata da una griglia di valutazione, realizzata dagli autori della prova e resa nota, insieme alla soluzione ufficiale, alle commissioni d'esame, allo scopo di garantire una maggiore uniformità di valutazione tra le diverse realtà locali. Se la proposta di una griglia di valutazione, per motivi in parte legati alla tradizione ed in parte alla scelta di lasciare maggiore libertà alle commissioni (libertà opinabile se ha come risultato la disparità di trattamento ben nota nella correzione delle prove) appare di difficile realizzazione, anche tenuto conto del quadro normativo di riferimento, la proposta che insieme alla prova, o eventualmente in un momento successivo allo scopo di evitare comportamenti fraudolenti, sia fornita una soluzione ufficiale dei quesiti pare pienamente compatibile con le norme ed auspicabile. Sempre a proposito di omogeneità è anche da sottolineare la necessità di garantire che prove delle differenti discipline assegnate ad anni alterni abbiano, pur nella diversità delle competenze richieste, un livello di complessità confrontabile.

Passando a questioni più concrete appare perlomeno bizzarro che ciascuno dei tre quesiti cosiddetti facili abbia un peso maggiore di ciascuno dei quesiti "difficili". Paradossalmente lo studente che svolga i tre quesiti difficili non avrebbe la sufficienza, che sarebbe invece garantita a chi svolge lo stesso numero di quesiti di livello inferiore. Si potrebbe ovviare a questa diversità limitando a due il numero dei quesiti difficili, ciascuno da svolgere a scelta

2 Quesito tratto dal fascicolo "Energia e fissione nucleare", supplemento al n.10 del *Giornale di Fisica*, **51**, 2010.
3 Quesito tratto dal materiale di formazione dell'Università di Udine.

all'interno di una terna, allo scopo di garantire una copertura uniforme, anche per i livelli più alti delle competenze richieste.
L'ultima riflessione riguarda la difficoltà, con un meccanismo di questo tipo ad assegnare la valutazione massima, valutazione che sarebbe da assegnare ad una evanescente prova perfetta.

5. **Proposte**
   - Presenza insieme alla prova di una griglia di valutazione o almeno di una soluzione ufficiale
   - Revisione del Sillabo che lo renda più puntuale nelle indicazioni e lo porti a coprire oltre all'anno finale i prerequisiti del biennio precedente
   - Strutturazione della prova in tre quesiti "facili" obbligatori e **due** quesiti difficili ciascuno a scelta all'interno di una terna. Questo tra l'altro permetterebbe la formulazione di richieste maggiormente articolate.
   - Meccanismo per evitare la mancata attribuzione del punteggio massimo.

Bologna, 14 settembre 2014

Proposte quesiti per simulazione della seconda prova di fisica
Gruppo di lavoro A.I.F

La seguente prova è articolata in due parti. Si richiede al candidato di svolgerle entrambe.

Prima parte

Il candidato risponda ai tre quesiti seguenti, in modo conciso ma chiaro e completo definendo opportunamente le grandezze necessarie e motivando le scelte procedurali. Si richiede di sviluppare preliminarmente i calcoli in via simbolica, sostituendo gli eventuali valori numerici al termine. Si esprimano i risultati numerici utilizzando il numero ragionevole di cifre significative.

1. **Induzione elettromagnetica**
   La legge di Faraday, Neumann e Lenz descrive il fenomeno dell'induzione elettromagnetica. Si consideri un circuito rettangolare, formato per tre lati da un telaietto fisso di materiale conduttore e avente come quarto lato una sbarra conduttrice, tenuta in moto con velocità $\vec{v}$ perpendicolare al lato stesso; il circuito è immerso in un campo magnetico uniforme $\vec{B}$, per semplicità supposto perpendicolare al sistema. Si dimostri che la legge citata può essere dedotta dall'azione della forza di Lorentz sugli elettroni liberi del conduttore.
   Si consideri ora un elettromagnete tra le cui espansioni si produce un campo magnetico $\vec{B}$ di direzione costante, ma avente modulo variabile secondo la legge $B(t) = kt$, ove $k = 0.26$ T/s per valori sufficientemente piccoli del tempo t. Una spira quadrata, di lato $r = 2.6$ cm, è mantenuta ferma nella zona investita dal campo magnetico $B(t)$ dato. Si calcoli la forza elettromotrice indotta nella spira quando questa è perpendicolare alla direzione del campo magnetico $\vec{B}$.
   Volendo riprodurre lo stesso effetto nel circuito facendo muovere uno dei lati della spira con velocità costante in un campo magnetico uniforme e costante, perpendicolare alla spira, di valore $B_0 = 0.26$ T, quale dovrebbe essere il valore della velocità?

2. **Il principio di indeterminazione**
   Sia nella fisica cosiddetta classica che in meccanica quantistica, il risultato di una misura è soggetto ad una incertezza. Si discuta brevemente la questione nei due ambiti.
   In meccanica quantistica questa problematica è legata al cosiddetto principio di indeterminazione di Heisenberg. Sulla base di questo principio, si spieghi perché l'energia della particella di massa $9.11 \cdot 10^{-31}$ kg, che in una direzione prefissata può muoversi solo entro un intervallo di ampiezza $\Delta x = 1$ nm, non può essere esattamente zero, e si ricavi una stima dell'energia cinetica minima compatibile con tale principio. Confrontarla con quella di una particella di massa pari a 1 g confinata in una "scatola", sempre unidimensionale, di 10 cm. Il risultato cambia se la scatola è cubica e tridimensionale?

3. **Tempo proprio in relatività ristretta**
   A 10.0 km di quota sono creati $N_0 = 10^8$ muoni μ, particelle instabili che decadono secondo la legge $N(t) = N_0 \mathrm{e}^{-t/\tau}$, dove $\tau = 2$ μs è il tempo di vita medio dei muoni. Si supponga che la velocità dei muoni sia $v = 0.998\,c$ per un osservatore solidale con la Terra. Quanti muoni dobbiamo aspettarci raggiungano il suolo secondo le previsioni della meccanica non relativistica? Quanti secondo la meccanica relativistica in un sistema di riferimento solidale ad essi, oppure solidale alla Terra? Si giustifichi il ragionamento seguito per ottenere il risultato, chiarendo in particolare il concetto di tempo proprio, possibilmente a partire dal caso in questione.

Alcune costanti fisiche			
Costante	**Simbolo**	**Valore**	**Unità**
Velocità della luce nel vuoto	c	2.998×10^{8}	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
Carica elementare	e	1.602×10^{-19}	C
Massa dell'elettrone	m_e	9.110×10^{-31}	kg
Costante di Planck	h	6.626×10^{-34}	$\mathrm{J \cdot s}$

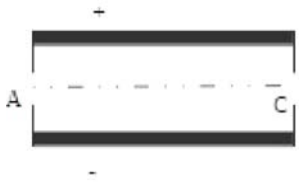
Seconda parte

Per ognuno dei tre gruppi di domande seguenti, il candidato risponda ad uno soltanto dei due quesiti proposti, in modo conciso ma chiaro, completo, definendo opportunamente le grandezze necessarie e motivando le scelte procedurali. Si richiede di sviluppare preliminarmente i calcoli in via simbolica, sostituendo gli eventuali valori numerici al termine. Si esprimano i risultati numerici utilizzando il numero ragionevole di cifre significative.

Gruppo 1

1. Moto di una carica in campo elettrico e magnetico

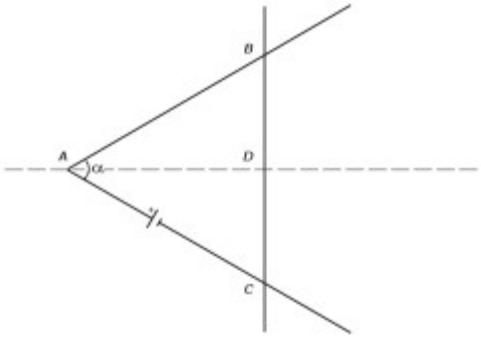
Tra le armature di un condensatore piano, distanti tra loro d, mantenute ad una differenza di potenziale ΔV, viene immesso un fascio di particelle cariche, tutte con massa m e carica q, con le velocità parallele alle piastre ma tra loro diverse in modulo. L'ingresso avviene da una piccola fenditura (nella figura indicata con *A*). Nel seguito si consideri il condensatore come ideale. Viene applicato un campo magnetico uniforme di modulo B e direzione opportuna e si riscontra che alcune particelle, muovendosi in linea retta, escono dalla seconda fenditura (nella figura indicata con *C*) situata simmetricamente alla stessa altezza di *A*. Si trascuri la forza peso agente sulle particelle.



a) Si descriva la situazione cinematica e dinamica per queste particelle.
b) Si rappresenti direzione e verso del campo magnetico.
c) Si dimostri che le particelle uscenti da *C* hanno tutte la stessa velocità e si esprima tale quantità in funzione dei parametri ΔV, q, m, d, B. Si supponga che il sistema descritto sia regolato con $B = 0.18$ T e $\Delta V = 2.25$ V, mentre $d = 0.50$ cm e che le particelle entranti siano elettroni: quale energia cinetica (in eV) devono possedere gli elettroni per uscire senza essere deflessi?

2. Conduttore in moto in campo magnetico

Un circuito è formato da due fili rettilinei rigidi, di lunghezza l, fissati su un piano orizzontale e connessi nel vertice *A* così da formare tra loro un angolo α. Il circuito è chiuso da un terzo filo, uguale ai precedenti e appoggiato ad essi in modo simmetrico (*AD* è la bisettrice dell'angolo α, *D* è il punto medio del terzo filo e gli angoli in *B* e in *C* sono uguali tra loro). Nel circuito (idealmente rappresentata con il simbolo di una pila) è presente una forza elettromotrice costante $\mathcal{E}$; tutto il sistema si trova immerso in un campo magnetico costante e uniforme B, ortogonale al piano dei fili ed entrante nel piano della figura. I fili hanno una resistività lineare nota e costante λ; la resistenza di contatto nei punti *B* e *C* è trascurabile. Si trascuri l'effetto magnetico delle correnti circolanti nel circuito. Indicando con d la lunghezza iniziale del segmento *AB* e supponendo inizialmente fermo il filo mobile, si dimostri che la forza magnetica che si esercita su di esso per l'interazione tra la corrente e il campo B esterno è perpendicolare al filo mobile ed ha modulo dato dall'espressione



$$F = \frac{\mathcal{E} B \sin\frac{\alpha}{2}}{\lambda\left(1+\sin\frac{\alpha}{2}\right)}$$

indipendente da d. Si assumano ora i valori seguenti: $\alpha = 60°$; $\mathcal{E} = 3.00$ V; $B = 0.100$ mT; $\lambda = 0.100\,\Omega\cdot$m; $l = 30.0$ cm; $d = 20.0$ cm. Sia inoltre $m = 0.420$ g la massa del filo mobile. Trascurando gli attriti e la f.e.m. indotta, nonché il contributo del campo magnetico terrestre, si ricavi la velocità del tratto di filo mobile allorché, spinto dalla forza magnetica,

raggiunge la condizione $d = l$. Per convalidare l'assunzione fatta nel trascurarla, si calcoli il valore della f.e.m. indotta nel circuito nella situazione finale indicata al punto precedente.

Gruppo 2

1. **Un esperimento sull'effetto fotoelettrico**
In un esperimento sull'effetto fotoelettrico viene utilizzata come sorgente luminosa una lampada a mercurio, le cui righe spettrali sono proiettate sul catodo metallico di una cella fotosensibile. Nel circuito che la comprende, riportato nella figura allegata, viene misurata una corrente, che si annulla, entro la precisione della strumentazione utilizzata, per valori della differenza di potenziale dipendenti dalla frequenza della luce utilizzata. Si spieghi il motivo per cui si misura una corrente nel circuito e la ragione del suo annullarsi al crescere della differenza di potenziale. I dati misurati di lunghezza d'onda λ e potenziale di arresto ΔV sono riportati nella seguente tabella

λ(nm)	Colore	ΔV(V)
579	Giallo	0.585
546	Verde	0.653
436	Blu	1.21
405	Viola	1.40

Utilizzando per la velocità della luce il valore indicato in tabella, riportare i dati in un opportuno grafico e ricavare il valore sperimentale del rapporto h/e tra la costante di Planck h e la carica elementare e. Utilizzando il risultato precedente si calcoli il lavoro di estrazione del metallo utilizzato nella fotocella in eV.

2. **Livelli atomici del mercurio**
La tabella seguente riporta alcuni livelli energetici dell'atomo di Hg e, in corrispondenza, il numero d'onda λ^{-1} (dove λ è la lunghezza d'onda) della radiazione emessa nella transizione da quel livello al livello fondamentale:

Livello	Energia (eV)	$\lambda^{-1}(10^6 \mathrm{m}^{-1})$
E_0 (livello fondamentale)	-10.44	$-$
E_1	-5.55	3.94
E_2		5.41
E_3	-1.61	

A causa di una macchia nel testo da cui sono stati presi i dati, due valori risultavano illeggibili e abbiamo lasciato vuota la casella corrispondente. Calcolare, usando gli altri dati della tabella, i due valori mancanti (per il calcolo, potranno essere utili alcuni dati riportati nella tabella delle costanti fisiche). Prendendo a riferimento la tabella sottostante,

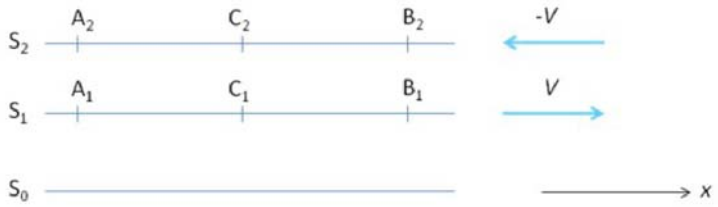
UV	Violetto	Blu	Verde	Giallo	Arancio	Rosso	IR
2.50	2.36	2.04	1.74	1.71	1.55	1.43	

dove sono indicati gli intervalli di numero d'onda (in unità di $10^6\,\mathrm{m}^{-1}$) corrispondenti ai colori della radiazione visibile, si stabilisca come potrebbe essere classificato cromaticamente il fotone emesso nella transizione da E_3 ad E_2.
Si consideri ora la transizione da E_1 ad E_0, alla quale corrisponde la riga più intensa nell'emissione del mercurio. Qual è la sua lunghezza d'onda (in nanometri)? Si consideri, infine, la transizione da E_2 ad E_1. Si giustifichi perché, per ottenere il numero d'onda del fotone emesso, basta sottrarre tra loro i numeri d'onda scritti nelle due righe di E_2 ed E_1.

Gruppo 3

1. **Fusione nucleare**
   La fusione di tre nuclei di $^4\mathrm{He}_2$ (cioè tre particelle α) a formare un nucleo di $^{12}\mathrm{C}$ è uno dei processi importanti per l'evoluzione di una stella. Tenuto conto che la massa di un protone è pari a $m_p = 1.67262 \cdot 10^{-27}\mathrm{kg}$, quella di un neutrone è $m_n = 1.67493 \cdot 10^{-27}\mathrm{kg}$, quella di un particella α vale $m_\alpha = 4.002603\,\mathrm{u}$ (unità atomica $1\,\mathrm{u} = 1.66054 \times 10^{-27}\mathrm{kg}$) e che la massa di un nucleo di $^{12}\mathrm{C}$ è pari a $12\ \mathrm{u}$, si calcoli l'energia di legame per nucleone, in MeV, in una particella α e l'energia coinvolta nel processo di fusione.
   L'energia viene liberata o assorbita durante il processo di fusione?

2. **Moto relativo di sistemi di riferimento**
   Sono dati tre sistemi di riferimento S_0, S_1, S_2. S_1 si muove di moto rettilineo uniforme lungo x con velocità V rispetto a S_0 e S_2 con velocità $-V$ rispetto a S_0 (vedi figura),



   In S_1 è presente, a riposo, un regolo A_1B_1 e in S_2, sempre a riposo, un regolo A_2B_2, entrambi di lunghezza propria L. Si richiede di trovare la lunghezza del segmento A_2B_2 misurata nel sistema S_0; stabilire quale delle seguenti espressioni rappresenta la velocità relativa u' dei sistemi S_1 ed S_2

   a) $u' = \dfrac{2V}{1-\left(\frac{V}{c}\right)^2}$
   b) $u' = 2V$
   c) $u' = \dfrac{2V}{1+\left(\frac{V}{c}\right)^2}$
   d) $u' = 0$

   possibilmente dando un motivo per cui le altre tre non possono essere a priori compatibili con la teoria della Relatività.
   Trovare infine la lunghezza del segmento A_1B_1 nel sistema S_2 in funzione di V.

Soluzioni

Prima parte obbligatoria

1. Sugli elettroni liberi della sbarra mobile viene esercitata la forza di Lorentz, diretta come la sbarra, di modulo $F = qvB$, cui corrisponderebbe un campo elettrico costante $E = F/q = vB$. La forza elettromotrice tra gli estremi della sbarra risulta essere $\mathcal{E} = vBl$. Applicando invece la legge di Faraday, Neumann e Lenz, possiamo scrivere la variazione del flusso di campo magnetico che avviene in un intervallo di tempo Δt come:
$$\Delta\Phi(\vec{B}) = Blv\Delta t$$
a cui corrisponde la forza elettromotrice
$$\mathcal{E} = vBl.$$
Nella seconda parte il flusso di campo magnetico attraverso la spira, all'istante t vale:
$\Phi(B) = r^2kt$.
La variazione di flusso, in un intervallo di tempo Δt, essendo il flusso direttamente proporzionale al tempo, vale $\Delta\Phi = r^2k\Delta t$ e la f.e.m. è:
$\mathcal{E} = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = r^2k = 1.76 \times 10^{-4}$ V.
Da quanto detto precedentemente, nel terzo caso, deve essere $vB_0r = kr^2$, da cui $v = kr/B_0 = 2.6$ cm/s.

2. In fisica classica qualunque misura è affetta da un'incertezza, dovuta alle caratteristiche costruttive dello strumento, alle condizioni in cui si opera e alle procedure attuate. Le incertezze di misura si possono raggruppare sommariamente in due categorie: sistematiche e casuali. In assenza di incertezze sistematiche il valore più attendibile, per una misura diretta, è di solito la media aritmetica, accompagnata da un'incertezza assoluta che può essere stabilita a priori, come ad esempio valutando la sensibilità dello strumento, o calcolata caso per caso, fra gli altri col metodo dello scarto massimo, della semidispersione o con quello dei minimi quadrati. In ogni caso l'incertezza di una misura può essere resa arbitrariamente piccola, a patto di investire nella misura risorse sufficienti.
In fisica quantistica, a causa della descrizione sostanzialmente diversa di un sistema fisico, il cosiddetto 'principio di indeterminazione', dovuto principalmente ad Heisenberg, afferma che, neppure in linea di principio, è possibile ottenere misure arbitrariamente precise e simultanee di certe coppie di grandezze, come ad esempio la posizione x e la quantità di moto p_x di una particella, in moto in una dimensione. Il prodotto delle due incertezze assolute, ovvero delle 'indeterminazioni' sul risultato delle due misure, non può scendere al di sotto di un certo valore, peraltro piccolissimo su scala macroscopica, dell'ordine di grandezza della costante di Planck h:
$$\Delta x \cdot \Delta y \approx h.$$
La particella in questione è un elettrone, che si muove su una linea retta entro un intervallo di ampiezza $\Delta x = 1$ nm $= 10^{-9}$ m. Secondo il principio di Heisenberg otteniamo che l'incertezza sulla quantità di moto vale:
$\Delta p \approx \dfrac{h}{\Delta x} = 6.6 \times 10^{-25}$ kg $\cdot$ ms^{-1}
e quindi l'energia cinetica, legata alla quantità di moto dalla relazione $E_c = \dfrac{p^2}{2m}$, risulta nota con una incertezza:
$$E_{c\,\min} = \frac{(\Delta p)^2}{2m} = 2.4 \times 10^{-19}\ \text{J} = 1.49\ \text{eV}$$
dell'ordine delle energie misurate su scala atomica.

Ripetendo i calcoli nel secondo caso, otteniamo $\Delta p \approx \dfrac{h}{\Delta x} = 6.6 \times 10^{-33}\ \mathrm{kg \cdot ms^{-1}}$ e:

$$E_{c\ \min} = \frac{(\Delta p)^2}{2m} = 2.2 \times 10^{-62}\ \mathrm{J}$$

molto difficilmente misurabile.
Risultati analoghi (per ordine di grandezza) possono essere ottenuti utilizzando la formulazione

$$\Delta x \cdot \Delta p \geqslant \frac{\hbar}{2}$$

che fornisce:

$$\Delta p \geqslant \frac{\hbar}{2\Delta x} = 5.3 \times 10^{-26}\ \mathrm{kg \cdot ms^{-1}}$$

ed $E_{c\ \min} = 1.5 \times 10^{-21}$ J nel primo caso (e $E_{c\ \min} = 1.4 \times 10^{-64}$ J nel secondo).
Se il sistema è tridimensionale, il discorso precedente vale per ciascuna delle tre coordinate x, y, z e, poiché $p^2 = p_x^2 + p_y^2 + p_z^2$, i risultati precedenti devono essere moltiplicati per un fattore 3.

3. Indichiamo con K un sistema di riferimento solidale ai muoni e con K' un sistema solidale alla Terra.

   In K' i muoni devono percorrere una distanza $h = 10\,\mathrm{km}$ per raggiungere il suolo e questo richiede un tempo pari a $\Delta t' = h/v = 33.4\,\mu\mathrm{s}$.
   Ragionando secondo la meccanica newtoniana, in K' la vita media dei muoni non cambia se sono fermi o in moto ed è sempre: $\tau = 2\,\mu\mathrm{s}$.
   Pertanto il numero di muoni in arrivo a terra dovrebbe essere:
   $N = N_0 \exp(-\Delta t'/\tau) = 5.5$,
   cioè cinque o sei muoni.

   Allo stesso risultato si giunge in K: in quel riferimento i muoni sono fermi ed è, invece, la Terra ad avvicinarsi ad essi. La distanza percorsa, però, è sempre $h = 10\,\mathrm{km}$ e il tempo richiesto è ancora $\Delta t = \Delta t' = 33.4\,\mu\mathrm{s}$.

   Ragionando secondo la Teoria della Relatività, invece, sia la separazione temporale Δt che la separazione spaziale Δx tra due eventi - quali la formazione e il decadimento di un muone - dipendono dal riferimento adottato (per semplicità di scrittura e poiché i muoni si muovono in una sola direzione, consideriamo un'unica coordinata spaziale x).
   Per la stessa coppia di eventi, tuttavia, le due separazioni si combinano nell'espressione:
   $(\Delta t)^2 - \dfrac{(\Delta x)^2}{c^2} = (\Delta t_0)^2$
   che - come si dimostra partendo dai postulati della teoria e, in particolare, dall'invarianza del valore della velocità della luce nel vuoto - è invariante, cioè non dipende dal riferimento adottato.

   Sempre secondo la Teoria della Relatività, si può definire il "tempo proprio" come la separazione temporale tra due eventi che, in un dato riferimento, si verificano nella stessa posizione. Se, nella relazione scritta sopra, si pone $\Delta x = 0$ (come è per due eventi che avvengono nella stessa posizione), essa si riduce al quadrato del tempo proprio; dunque Δt_0 fornisce il valore del tempo proprio in funzione delle separazioni Δt e Δx misurate in qualunque riferimento.

   Nel riferimento terrestre K', formazione e decadimento sono mediamente separati da un intervallo spaziale $\Delta x' = v\tau'$ (τ' è la vita media misurata in K'). Invece in K formazione e

decadimento avvengono nello stesso luogo e τ, la vita media dei muoni, è un tempo proprio. Potremo, allora, scrivere:

$$(\tau)^2 = (\tau')^2 - \frac{(v\tau')^2}{c^2}.$$

Risolvendo per τ', si ottiene:

$$\tau' = \frac{\tau}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma\tau.$$

Di conseguenza, il numero di muoni che arriva a terra deve calcolarsi come:

$$N = N_0 \exp\left(-\frac{\Delta t'}{\tau'}\right) = N_0 \exp\left(-\frac{\Delta t'}{\gamma\tau}\right) = 35 \text{ milioni.}$$

Al medesimo risultato si giunge anche ragionando in K. Qui i muoni sono fermi, la loro generazione e il successivo contatto con la Terra (per i muoni non decaduti) avvengono nello stesso luogo. Anche il tempo Δt è quindi un tempo proprio e, in analogia a quanto visto sopra per τ', lo si può calcolare da:

$$\Delta t' = \gamma\Delta t$$

che fornisce:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\gamma}.$$

Perciò il numero di muoni non decaduti si calcola ancora come:

$$N = N_0 \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) = N_0 \exp\left(-\frac{\Delta t'}{\gamma\tau}\right) = 35 \text{ milioni.}$$

Seconda parte

Gruppo 1

1. Supponiamo per semplicità le particelle positive (il risultato non dipende dalla scelta). Sulle particelle agisce un campo elettrico costante e, quindi, una forza coulombiana, diretta verso il basso, di modulo $F_{coul} = qE = \Delta V/d$. Poiché le particelle si muovono in linea retta, perpendicolarmente alla forza visto che passano per A e per C, la forza coulombiana deve essere compensata dalla forza di Lorentz, $F_{\text{Lorentz}} = qvB$, diretta quindi verso l'alto. Questo può avvenire solo se il campo magnetico ha direzione perpendicolare alla velocità della particella e al campo elettrico. Il moto delle particelle deve essere quindi rettilineo uniforme. La condizione di forza risultante nulla fornisce:
$$qvB = \frac{q\Delta V}{d}$$
da cui segue:
$$v = \frac{\Delta V}{Bd}$$
identica per tutte le particelle (e indipendente dalla massa). Sostituendo i valori numerici del testo otteniamo:
$$v = 2.5 \times 10^3 \text{ m/s} \quad E_c = 2.84 \times 10^{-24} \text{ J}$$
utilizzando il valore della massa dell'elettrone riportato in tabella.

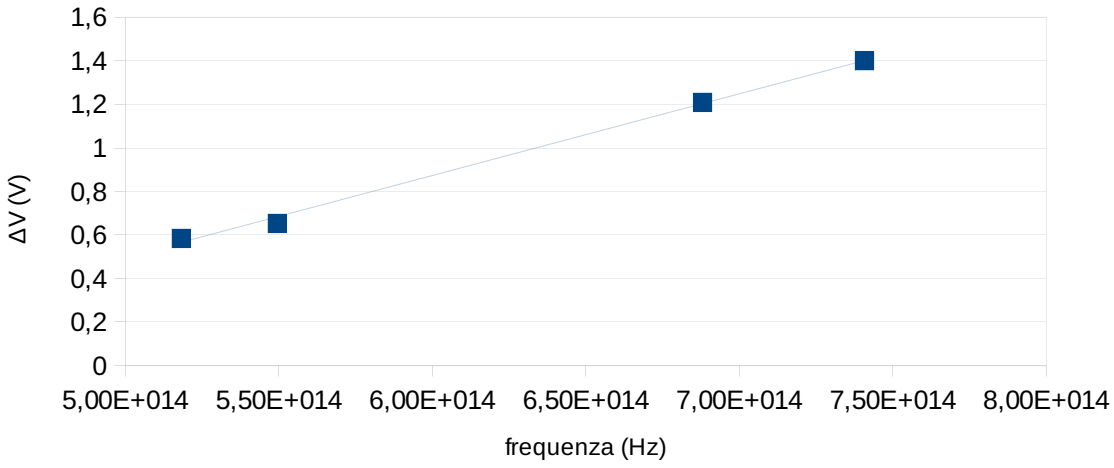
2. Sul filo mobile agisce una forza, diretta per simmetria perpendicolarmente allo stesso, tendente ad allontanarlo dal vertice A, proporzionale al campo magnetico, alla corrente che attraversa il filo e alla lunghezza del tratto di filo percorso dalla corrente. Dalla distanza $AB = d$ segue che la lunghezza in questione vale $2d\sin(\alpha/2)$. La corrente che percorre il filo è data invece dalle leggi di Ohm:
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_d}$$
ove $R_d = 2\lambda d(1 + \sin(\alpha/2))$ è la resistenza totale del circuito elettrico di lunghezza $2d + 2d\sin(\alpha/2)$.
La forza agente ha quindi modulo:
$$F = \frac{\mathcal{E}Bd\sin(\alpha/2)}{2\lambda d(1+\sin(\alpha/2)} = \frac{\mathcal{E}B\sin(\alpha/2)}{2\lambda(1+sin(\alpha/2)}.$$
Poiché la forza è costante, agendo in direzione e verso concordi allo spostamento Δx provoca un incremento della velocità, inizialmente nulla, fino al valore finale v dato da:
$$F\Delta x = \frac{1}{2}mv^2.$$
Lo spostamento Δx del filo mobile, dalla posizione iniziale dove $d = \frac{2}{3}l$ a quella finale dove $d = l$, tenuto conto del valore di α, vale $\Delta x = \frac{\sqrt{3}}{6}l$ da cui otteniamo:
$$v = \left(\frac{\sqrt{3}\mathcal{E}Bl}{9m\lambda}\right)^{1/2} = 7.62 \text{ cm/s}.$$

La f.e.m. indotta nel tratto mobile nella configurazione $d = l$ è data semplicemente da vBl. A questo risultato si può pervenire direttamente, utilizzando lo stesso ragionamento riportato nella soluzione del quesito obbligatorio precedente; per una via meno breve, si può ricavare la f.e.m. indotta nel circuito tramite la legge di Faraday, Neumann e Lenz, calcolando perciò il flusso del campo magnetico attraverso il triangolo formato dai fili e derivandolo rispetto al

tempo (in questo caso conviene esprimere l'area del triangolo in funzione dell'altezza $x = d\cos(\alpha/2)$, considerata variabile nel tempo, e tener conto del fatto che $dx/dt = v$). Sostituendo i valori numerici, otteniamo il valore $Blv \approx 2$ mV.

Gruppo 2

1. Sia Φ il lavoro di estrazione di un elettrone e ν la frequenza del fotone che incide sulla cella. Dalla relazione di Einstein l'energia E del fotone è legata alla frequenza da $E = h\nu$ e l'energia cinetica massima dell'elettrone estratto è data da $E_{cin} = h\nu - \Phi$. Per arrestare questi elettroni il circuito deve compiere su di essi un lavoro dato da $e\Delta V = E_{cin} = h\nu - \Phi$. Otteniamo quindi la relazione
$$\Delta V = \frac{h}{e}\nu - \frac{\Phi}{e}$$
Riportando in grafico il potenziale di arresto come funzione della frequenza dovremmo quindi ottenere una retta con pendenza h/e e intercetta pari a $-\Phi/e$.



Il coefficiente angolare della retta risulta essere $h/e = 3.77 \times 10^{-15}\mathrm{J}\cdot\mathrm{s/C}$ e l'intercetta, corrispondente al lavoro di estrazione misurato in eV, risulta $\Phi/e = 1.39$ eV.

2. Dalla relazione di Bohr, $\overbrace{\Delta E}^{\mathrm{eV}} = \frac{hc}{e}\lambda^{-1}$, avendo scelto, come faremo nel seguito, di misurare le energie in eV, otteniamo $E_2 - E_0 = \frac{hc}{e}\lambda_{2,0}^{-1} = 6.78$ eV, ove $\lambda_{2,0}^{-1}$ è il numero d'onda della transizione tra E_2 ed E_0 e quindi $E_2 = -3.73$ eV. Allo stesso modo, e con lo stesso ovvio significato dei simboli, avremo $E_3 - E_0 = \frac{hc}{e}\lambda_{3,0}^{-1}$ da cui $\lambda_{3,0}^{-1} = 7.12 \times 10^6\mathrm{m}^{-1}$. La tabella completa è quindi la seguente:

Livello	Energia (eV)	$\lambda^{-1}(10^6\mathrm{m}^{-1})$
E_0 (livello fondamentale)	-10.44	–
E_1	-5.55	3.94
E_2	$\mathbf{-3.73}$	5.41
E_3	-1.61	**7.12**

Dalle relazioni precedenti otteniamo, con ovvio significato dei simboli,

$$\overbrace{E_m - E_n}^{\text{eV}} = \overbrace{(E_m - E_0) - (E_n - E_0)}^{\text{eV}} = \frac{hc}{e}\lambda_{m,0}^{-1} - \frac{hc}{e}\lambda_{n,0}^{-1} = \frac{hc}{e}\lambda_{m,n}^{-1}$$

e quindi:

$$\lambda_{m,0}^{-1} - \lambda_{n,0}^{-1} = \lambda_{m,n}^{-1},$$

da cui:

$$\lambda_{3,2}^{-1} = \lambda_{3,0}^{-1} - \lambda_{2,0}^{-1} = 1.71 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$$

corrispondente ad una radiazione giallo-arancio.
La lunghezza d'onda della transizione da E_1 ad E_0 è semplicemente il reciproco del numero d'onda riportato in tabella $\lambda_{1,0}^{-1} = 3.94 \times 10^6 \text{m}$, e vale $\lambda = 254$ nm.
Applicando la relazione generale precedente ai livelli E_2 ed E_1 otteniamo:

$$\lambda_{2,1}^{-1} = (5.41 - 3.94) \times 10^6 \text{ m}^{-1} = 1.47 \times 10^6 \text{ m}^{-1}.$$

Gruppo 3

1. Il difetto di massa per un nucleo di $^4\text{He}_2$ è pari a
$$(\Delta m)_\alpha = 2m_p + 2m_n - m_\alpha = 0.0504 \times 10^{-27} \text{ kg},$$
cui corrisponde una energia di legame per nucleone pari a $E_\alpha = (\Delta m)_\alpha \cdot c^2/4 = 7.07$ MeV, ricordando che $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19}$ J. Per la fusione di tre particelle α a formare un nucleo di ^{12}C abbiamo un difetto di massa pari a:
$$(\Delta m)_{^{12}\text{C}} = m_{^{12}\text{C}} - 3m_\alpha = -0.007809 \text{ u},$$
cui corrisponde una emissione di energia pari a:
$$(\Delta m)_{^{12}\text{C}} \cdot c^2 = 7.274 \text{ MeV}.$$

2. Sia L' la lunghezza del segmento A_2B_2 misurata in S_0 e sia L la sua lunghezza misurata nel sistema S_2, rispetto al quale è in quiete. Le due grandezze sono legate dalla relazione:
$$L' = \frac{L}{\gamma} = L\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}},$$
essendo in questo caso V la velocità relativa dei due sistemi di riferimento.
La legge relativistica di trasformazione delle velocità è:
$$u' = \frac{u - v}{1 - \frac{uv}{c^2}}$$
ove u è la velocità di S_1 *versus* S_0 e v quella di S_2 *vs* S_0; con le dovute variazioni simboliche del testo si ha:
$$u' = \frac{V - (-V)}{1 + \frac{V^2}{c^2}} = \frac{2V}{1 + \frac{V^2}{c^2}}.$$
Le prime due relazioni non possono essere giuste perché darebbero in alcuni casi valori maggiori di c, mentre la quarta relazione, nel limite classico $c \to +\infty$ non riproduce il corretto limite classico. Essa implicherebbe che le velocità dei due sistemi fossero concordi oltre che uguali in modulo.
Applicando la relazione vista precedentemente, con le opportune variazioni simboliche si ha $L'' = \frac{L}{\gamma'}$ con:
$$\gamma' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(u')^2}{c^2}}} = \frac{1 + V^2/c^2}{1 - V^2/c^2}$$
e quindi:
$$L'' = L\frac{1 - V^2/c^2}{1 + V^2/c^2}.$$

UNITA' DIDATTICA	PREREQUISITI	CONTENUTI MINIMI IRRINUNCIABILI	ABILITA'	COMPETENZE
A. Elettromagnetismo (40% del totale carico didattico di FISICA per il V anno)				
Induzione elettromagnetica (30% del totale)	• Il concetto generale di campo. • Il campo elettrico. • Il campo elettrostatico • Il campo gravitazionale • I campi conservativi • Il campo magnetico e relative proprietà. • La forza di Lorentz. • Calcolo del flusso di un campo vettoriale • Campo magnetico di una spira e di un solenoide • Densità di energia del campo elettrostatico • Campo elettrico all'interno di un condensatore.	• Forza elettromotrice indotta • Legge di Faraday • Legge di Neumann • Legge di Lenz • Autoinduzione, coefficienti di autoinduzione, l'induttanza • Densità di energia del campo magnetico.	• Descrivere esperimenti che mostrino il fenomeno dell'induzione elettromagnetica Discutere l'equazione della legge di Faraday • Discutere la legge di Lenz • Discutere la legge di Neumann-Lenz • Descrivere le relazioni tra Forza di Lorentz e forza elettromotrice indotta • Calcolare il flusso di un campo magnetico • Calcolare le variazioni di flusso di campo magnetico • Calcolare correnti indotte e forze elettromotrici indotte • Derivare l'induttanza di un solenoide • Risolvere problemi di applicazione delle formule studiate inclusi quelli che richiedono il calcolo delle forze su conduttori in moto in un campo magnetico.	• Essere in grado di riconoscere il fenomeno dell'induzione in situazioni sperimentali

Equazioni di Maxwell e Onde Elettromagnetiche (10% del totale)	• onde oscillazioni • propagazione delle onde • energia e impulso trasportato da un'onda • interferenza, diffrazione, rifrazione. • La risonanza • Leggi del flusso e della circuitazione per il campo elettrico e magnetico stazionari nel vuoto.	• Relazione tra campi elettrici e magnetici variabili. • Il termine mancante: La corrente di spostamento. • Sintesi dell'elettromagnetismo: le equazioni di Maxwell • Onde elettromagnetiche • Lo spettro elettromagnetico. • Intensità di un'onda elettromagnetica.	• Illustrare le equazioni di Maxwell nel vuoto espresse in termini di flusso e circuitazione • Argomentare sul problema della corrente di spostamento. • Descrivere le caratteristiche del campo elettrico e magnetico di un'onda elettromagnetica e la relazione reciproca • Conoscere e applicare il concetto di intensità di un'onda elettromagnetica • Collegare la velocità dell'onda con l'indice di rifrazione • Descrivere lo spettro continuo ordinato in frequenza ed in lunghezza d'onda • Illustrare gli effetti e le applicazioni delle onde EM in funzione di lunghezza d'onda e frequenza.	• Essere in grado di collegare le equazioni di Maxwell ai fenomeni fondamentali dell'elettricità e del magnetismo e viceversa.

B. Relatività (20% del totale carico didattico FISICA per il V anno)

• Relatività galileiana • sistemi inerziali • trasformazioni di coordinate • invarianti • legge non relativistica di addizione delle velocità.	• Dalla relatività galileiana alla relatività ristretta. • I postulati della relatività ristretta. • Tempo assoluto e simultaneità degli eventi. • Dilatazione dei tempi e contrazione delle lunghezze: evidenze sperimentali • Trasformazioni di Lorentz • Legge di addizione relativistica delle velocità; limite non relativistico: addizione galileiana delle velocità • Invariante relativistico • Legge di conservazione della quantità di moto • Dinamica relativistica. Massa, energia.	• Saper applicare le relazioni sulla dilatazione dei tempi e contrazione delle lunghezze • Saper risolvere semplici problemi di cinematica e dinamica relativistica • Saper risolvere semplici problemi su urti e decadimenti di particelle.	• Saper argomentare, usando almeno uno degli esperimenti classici, sulla validità della teoria della relatività • Saper riconoscere il ruolo della relatività nelle applicazioni tecnologiche.

C. Fisica Quantistica (30% del totale carico didattico FISICA per il V anno)

• L'esperimento di Rutherford e modello atomico • spettri atomici • Interferenza e diffrazione (onde, ottica) • scoperta dell'elettrone • Urti classici.	• L'emissione di corpo nero e l'ipotesi di Planck • L'esperimento di Lenard e la spiegazione di Einstein dell'effetto fotolettrico • L'effetto Compton. • Modello dell'atomo di Bohr e interpretazione degli spettri atomici • L'esperimento di Franck – Hertz. • Lunghezza d'onda di De Broglie. • Dualismo onda-particella. Limiti di validità della descrizione	• Illustrare il modello del corpo nero e interpretarne la curva di emissione in base al modello di Planck. • Applicare le leggi di Stefan-Boltzmann e di Wien • Applicare l'equazione di Einstein dell'effetto fotoelettrico per la risoluzione di esercizi • Illustrare e saper applicare la legge dell'effetto Compton	• Saper riconoscere il ruolo della fisica quantistica in situazioni reali e in applicazioni tecnologiche

classica • Diffrazione/Interferenza degli elettroni • Il principio di indeterminazione.		• Calcolare le frequenze emesse per transizione dai livelli dell'atomo di Bohr • Descrivere la condizione di quantizzazione dell'atomo di Bohr usando la relazione di De Broglie • Calcolare l'indeterminazione quantistica sulla posizione/quantità di moto di una particella • Calcolare la lunghezza d'onda di una particella • Riconoscere i limiti della trattazione classica in semplici problemi.

D. Argomenti e approfondimenti di Fisica avanzata (10% del totale carico didattico FISICA per il V anno)

Sessione ordinaria 2014
Seconda prova scritta

Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

BRST – ESAME DI STATO DI LICEO SCIENTIFICO

CORSI SPERIMENTALI

Tema di: FISICA

Il candidato svolga una relazione su uno solo dei seguenti due temi, a sua scelta, prestando particolare attenzione al corretto uso della terminologia scientifica e delle cifre significative nella presentazione dei risultati numerici.

Primo tema

Arthur Compton vinse nel 1927 il premio Nobel per la Fisica per la scoperta dell'effetto che porta il suo nome.

Il candidato:

1) descriva l'effetto Compton ed analizzi le equazioni che lo caratterizzano;
2) esponga il concetto di lunghezza d'onda di Compton;
3) si soffermi sul motivo per cui l'effetto in esame è considerato una delle più importanti prove sperimentali dell'interpretazione quantistica delle radiazioni elettromagnetiche;
4) esponga, quindi, cosa si intende per aspetto corpuscolare delle radiazioni elettromagnetiche;
5) risolva infine il seguente problema:

   Un fotone urta un elettrone libero che ha una velocità iniziale che può essere considerata trascurabile. Dopo l'urto si rileva un fotone diffuso che ha un'energia pari a 101 keV e che presenta un angolo di deviazione dovuto all'effetto Compton di 30° 00'.

   Ricavare l'energia del fotone incidente e l'energia cinetica dell'elettrone di rimbalzo sempre espresse in eV.

Si ricorda che:

$1\ eV = 1{,}60 \cdot 10^{-19}\ J$

$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s$ (costante di Planck)

$m_0 = 9{,}11 \cdot 10^{-31}\ kg$ (massa a riposo dell'elettrone)

$c = 3{,}00 \cdot 10^{8}\ m/s$ (velocità della luce)

Sessione ordinaria 2014
Seconda prova scritta

Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

BRST – ESAME DI STATO DI LICEO SCIENTIFICO

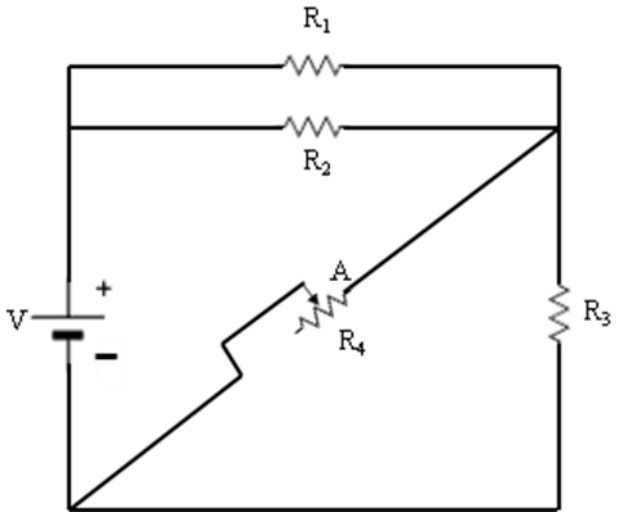
CORSI SPERIMENTALI

Tema di: FISICA

Secondo tema

Nel circuito riportato in figura $V = 3{,}60 \cdot 10^2$ V, $R_1 = 1{,}20 \cdot 10^2\ \Omega$, $R_2 = 2{,}40 \cdot 10^2\ \Omega$, $R_3 = 3{,}60 \cdot 10^2\ \Omega$, R_4 è un resistore variabile di resistenza massima pari a $1{,}80 \cdot 10^2\ \Omega$.

Considerando il potenziometro costituito da un conduttore omogeneo di sezione costante e di lunghezza ℓ calcolare quale deve essere la posizione del cursore, espressa come frazione di ℓ, per far sì che sul resistore R_3 vengano dissipati 40,0 W per effetto Joule. La posizione deve essere valutata considerando A come punto di inizio del potenziometro.



Il candidato inoltre:

1) descriva i concetti di tensione e di corrente;
2) dia una definizione delle unità di misura delle grandezze utilizzate per risolvere il problema proposto;
3) descriva la prima e la seconda legge di Ohm;
4) descriva l'effetto Joule dandone anche una interpreazione microscopica;
5) descriva il fenomeno della conduzione nei metalli e lo metta a confronto con il comportamento degli isolanti.

Durata massima della prova: 6 ore.
È consentito l'uso di tavole numeriche e della calcolatrice tascabile, non programmabile e grafica.
È consentito l'uso del dizionario bilingue (italiano-lingua del paese di provenienza) per i candidati di madrelingua non italiana.
Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.