

# La prova scritta di fisica all'esame di Stato

2 febbraio 2016 - Egidio Longo

DIPARTIMENTO DI FISICA



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# IDN per lo scientifico - V anno

Lo studente completerà lo studio dell'elettromagnetismo con l'induzione magnetica e le sue applicazioni, per giungere, privilegiando gli aspetti concettuali, alla sintesi costituita dalle equazioni di Maxwell. Lo studente affronterà anche lo studio delle onde elettromagnetiche, della loro produzione e propagazione, dei loro effetti e delle loro applicazioni nelle varie bande di frequenza.

# IDN per lo scientifico- V anno (fisica moderna)

Il percorso didattico comprenderà le conoscenze sviluppate nel XX secolo relative al microcosmo e al macrocosmo, accostando le problematiche che storicamente hanno portato ai nuovi concetti di spazio e tempo, massa ed energia. L'insegnante dovrà prestare attenzione a utilizzare un formalismo matematico accessibile agli studenti, ponendo sempre in evidenza i concetti fondanti.

Lo studio della teoria della relatività ristretta di Einstein porterà lo studente a confrontarsi con la simultaneità degli eventi, la dilatazione dei tempi e la contrazione delle lunghezze; l'aver affrontato l'equivalenza massa-energia gli permetterà di sviluppare un'interpretazione energetica dei fenomeni nucleari (radioattività, fissione, fusione).

L'affermarsi del modello del quanto di luce potrà essere introdotto attraverso lo studio della radiazione termica e dell'ipotesi di Planck (affrontati anche solo in modo qualitativo), e sarà sviluppato da un lato con lo studio dell'effetto fotoelettrico e della sua interpretazione da parte di Einstein, e dall'altro lato con la discussione delle teorie e dei risultati sperimentali che evidenziano la presenza di livelli energetici discreti nell'atomo. L'evidenza sperimentale della natura ondulatoria della materia, postulata da De Broglie, ed il principio di indeterminazione potrebbero concludere il percorso in modo significativo.

La dimensione sperimentale potrà essere ulteriormente approfondita con attività da svolgersi non solo nel laboratorio didattico della scuola, ma anche presso laboratori di Università ed enti di ricerca, aderendo anche a progetti di orientamento.

In quest'ambito, lo studente potrà approfondire tematiche di suo interesse, accostandosi alle scoperte più recenti della fisica (per esempio nel campo dell'astrofisica e della cosmologia, o nel campo della fisica delle particelle) o approfondendo i rapporti tra scienza e tecnologia (per esempio la tematica dell'energia nucleare, per acquisire i termini scientifici utili ad accostare criticamente il dibattito attuale, o dei semiconduttori, per comprendere le tecnologie più attuali anche in relazione a ricadute sul problema delle risorse energetiche, o delle micro- e nano- tecnologie per lo sviluppo di nuovi materiali).

# dalle Indicazioni Nazionali: Matematica per i Licei Scientifici

“Il contemporaneo studio della fisica offrirà esempi di funzioni che saranno oggetto di una specifica trattazione matematica, e i risultati di questa trattazione serviranno ad approfondire la comprensione dei fenomeni fisici e delle relative teorie.

Lo studente sarà in grado di passare agevolmente da un registro di rappresentazione a un altro (numerico, grafico, funzionale), anche utilizzando strumenti informatici per la rappresentazione dei dati.”

# Tipologie di esercizi

## Induzione:

variazione del flusso concatenato con un circuito

- moto del campo magnetico rispetto alla spira
- rotazione di una spira in un campo magnetico uniforme

variazione del flusso tagliato

- barretta che scorre su binari
  - pro: questa tipologia di problemi può facilmente essere associata ad una parte di meccanica

tutte queste tipologie sono facilmente associabili alla legge di Ohm e alla forza magnetica su un circuito percorso da corrente

## circuiti con induttanza

- contro: non sono previsti esplicitamente nelle indicazioni didattiche nazionali

# Tipologie di esercizi

Eq. di Maxwell:

corrente di spostamento

onde e.m.:

energia ed impulso associati

- pro: molto istruttivi rispetto alle possibili applicazioni
- contro: sostanzialmente tutto si riduce all'applicazione della stessa formula

# Tipologie di esercizi - Fisica moderna

## relatività

dilatazione dei tempi e contrazione delle lunghezze

trasformazione di massa in energia e viceversa (ma serve qualche contesto...  
vedi oltre)

## fisica quantistica

qualche esercizio su effetto fotoelettrico e Compton

- potenziale di estrazione e frequenza della radiazione

modelli atomici?

principio di indeterminazione

- relazione tra localizzazione dell'elettrone in un atomo e livelli atomici

## nuclei

cinematica dei decadimenti

trasformazioni di massa in energia

tempi di decadimento

## difficoltà diffusa:

con poche eccezioni, sono tutte applicazioni di semplici formule

d'altra parte, che senso ha imparare tante formulette a memoria?

# Quadro di Riferimento per la seconda prova scritta di Fisica per i L.S.

“La DG per gli Ordinamenti Scolastici ha affidato al confronto tra esperti del settore l’elaborazione di un Quadro di Riferimento relativo alla seconda prova scritta dell’esame di Stato di Fisica per i Licei Scientifici.

Tale documento, di contenuto non prescrittivo, è stato richiesto da molte istituzioni scolastiche (...)

Il documento può essere, dunque, un valido orientamento per la preparazione degli studenti all’esame di stato in quanto enuclea, per ciascun contenuto previsto dalle indicazioni nazionali per il V anno, le abilità e le competenze disciplinari attese e che costituiranno base di riferimento nell’elaborazione della prova d’esame.”



# Dall'introduzione al quadro

“Nella parte iniziale del Quadro vengono elencate le competenze generali della disciplina Fisica. Mentre quelle di settore sono associate ai contenuti e alle abilità nel Quadro.

Il Quadro è articolato in moduli e, quando necessario, in unità didattiche; per ciascun modulo (o unità didattica) vengono individuati i prerequisiti, i contenuti irrinunciabili, le abilità relative ai contenuti irrinunciabili e le competenze di settore.

I prerequisiti attengono alle attività didattiche svolte nel corso dei 5 anni scolastici; essi potranno essere oggetto della verifica solo in modo indiretto, cioè funzionale ai contenuti, alle abilità e alle competenze previste dal Quadro. Sarà la programmazione didattica delle singole scuole a sceglierne la collocazione temporale ottimale ai fini dell'apprendimento.”

# Sezioni del quadro

COMPETENZE GENERALI DELLA DISCIPLINA FISICA

Modulo A. Unità didattica 1: Induzione elettromagnetica

Modulo A. Unità didattica 2: Equazioni di Maxwell e Onde Elettromagnetiche

Modulo B. Relatività

Modulo C. Fisica Quantistica

Modulo D. Argomenti e approfondimenti di Fisica Moderna

# Modulo D: Argomenti e approfondimenti di Fisica Moderna

Relativamente alla sezione “D” del Quadro, “Argomenti e approfondimenti di Fisica Moderna”, rimane ferma la libertà di scelta dei docenti fra uno o più argomenti specifici da affrontare, avendo cura che lo studente ne comprenda l’importanza e il significato e che sappia inquadrarli nelle problematiche scientifiche di base o applicative attuali. Da ciò consegue che tali argomenti di approfondimento della Fisica Moderna potranno essere oggetto solo della prova orale e della terza prova scritta, ma non della seconda prova scritta.

# COMPETENZE GENERALI DELLA DISCIPLINA FISICA

- Essere in grado di esaminare una situazione fisica formulando ipotesi esplicative attraverso modelli o analogie o leggi
- Essere in grado di formalizzare matematicamente un problema fisico e applicare gli strumenti matematici e disciplinari rilevanti per la loro risoluzione
- Essere in grado di interpretare e/o elaborare dati, anche di natura sperimentale, verificandone la pertinenza al modello scelto
- Essere in grado di descrivere il processo adottato per la soluzione di un problema e di comunicare i risultati ottenuti valutandone la coerenza con la situazione problematica proposta.

# Modulo A, Unità didattica 1: Induzione elettromagnetica

PREREQUISITI	CONTENUTI IRRINUNCIABILI	ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI	COMPETENZE SETTORIALI
<ul style="list-style-type: none"><li>• Il concetto di campo</li><li>• I campi conservativi</li><li>• Il campo gravitazionale</li><li>• Il campo elettrico e le sue proprietà</li><li>• Relazioni tra campo elettrico e le sue sorgenti</li><li>• Il campo magnetico e le sue proprietà</li><li>• Relazioni tra campo magnetico e le sue sorgenti</li><li>• La forza elettrostatica e la forza di Lorentz</li><li>• Calcolo del flusso di un campo vettoriale</li><li>• Leggi del flusso e della circuitazione per il campo elettrico e magnetico stazionari nel vuoto</li><li>• Energia associata al campo elettrico</li><li>• Accumulo e dissipazione di energia da parte di una corrente elettrica</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Il fenomeno della induzione elettromagnetica: la forza elettromotrice indotta e sua origine</li><li>• Legge di Faraday-Neumann-Lenz</li><li>• Le correnti indotte tra circuiti</li><li>• Il fenomeno della autoinduzione e il concetto di induttanza</li><li>• Energia associata a un campo magnetico</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Descrivere e interpretare</u> esperimenti che mostrino il fenomeno dell'induzione elettromagnetica</li><li>• <u>Discutere</u> il significato fisico degli aspetti formali dell'equazione della legge di Faraday-Neumann-Lenz</li><li>• <u>Descrivere</u>, anche formalmente, le relazioni tra forza di Lorentz e forza elettromotrice indotta</li><li>• <u>Utilizzare</u> la legge di Lenz per individuare il verso della corrente indotta e interpretare il risultato alla luce della conservazione dell'energia</li><li>• <u>Calcolare</u> le variazioni di flusso di campo magnetico</li><li>• <u>Calcolare</u> correnti e forze elettromotrici indotte utilizzando la legge di Faraday-Neumann-Lenz anche in forma differenziale</li><li>• <u>Derivare e calcolare</u> l'induttanza di un solenoide</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Essere in grado di riconoscere il fenomeno dell'induzione elettromagnetica in situazioni sperimentali</li><li>• Essere in grado di esaminare una situazione fisica che veda coinvolto il fenomeno dell'induzione elettromagnetica</li></ul>

# Modulo A, Unità didattica 1: Induzione elettromagnetica (2)

PREREQUISITI	CONTENUTI IRRINUNCIABILI	ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI	COMPETENZE SETTORIALI
		<ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Determinare</u> l'energia associata ad un campo magnetico</li><li>• <u>Risolvere esercizi e problemi</u> di applicazione delle formule studiate inclusi quelli che richiedono il calcolo delle forze su conduttori in moto in un campo magnetico</li></ul>	

# Modulo A, Unità didattica 2: Equazioni di Maxwell e Onde Elettromagnetiche

PREREQUISITI	CONTENUTI IRRINUNCIABILI	ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI	COMPETENZE SETTORIALI
<ul style="list-style-type: none"><li>• Onde e oscillazioni</li><li>• Caratteristiche generali della propagazione delle onde</li><li>• Onde stazionarie</li><li>• Interferenza e diffrazione delle onde</li> <li>• La legge della riflessione</li><li>• La legge della rifrazione e suo legame con la velocità di propagazione</li><li>• La risonanza</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Relazione tra campi elettrici e magnetici variabili</li><li>• La corrente di spostamento</li><li>• Sintesi dell'elettromagnetismo: le equazioni di Maxwell</li><li>• Onde elettromagnetiche piane e loro proprietà</li> <li>• La polarizzazione delle onde elettromagnetiche</li><li>• L'energia e l'impulso trasportato da un'onda elettromagnetica</li><li>• Cenni sulla propagazione della luce nei mezzi isolanti, costante dielettrica e indice di rifrazione</li><li>• Lo spettro delle onde elettromagnetiche</li><li>• La produzione delle onde elettromagnetiche</li><li>• Le applicazioni delle onde elettromagnetiche nelle varie bande di frequenza</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Illustrare</u> le implicazioni delle equazioni di Maxwell nel vuoto espresse in termini di flusso e circuitazione</li><li>• <u>Discutere</u> il concetto di corrente di spostamento e il suo ruolo nel quadro complessivo delle equazioni di Maxwell</li><li>• <u>Calcolare</u> le grandezze caratteristiche delle onde elettromagnetiche piane</li><li>• <u>Applicare</u> il concetto di trasporto di energia di un'onda elettromagnetica</li><li>• <u>Descrivere</u> lo spettro elettromagnetico ordinato in frequenza e in lunghezza d'onda</li><li>• <u>Illustrare</u> gli effetti e le principali applicazioni delle onde elettromagnetiche in funzione della lunghezza d'onda e della frequenza</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Essere in grado di collegare le equazioni di Maxwell ai fenomeni fondamentali dell'elettricità e del magnetismo e viceversa</li><li>• Saper riconoscere il ruolo delle onde elettromagnetiche in situazioni reali e in applicazioni tecnologiche</li></ul>

# Modulo B: Relatività

PREREQUISITI	CONTENUTI IRRINUNCIABILI	ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI	COMPETENZE SETTORIALI
<ul style="list-style-type: none"><li>• Relatività galileiana</li><li>• Sistemi di riferimento inerziali</li><li>• Trasformazioni di coordinate</li><li>• Invarianti</li><li>• Legge non relativistica di addizione delle velocità</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dalla relatività galileiana alla relatività ristretta</li><li>• I postulati della relatività ristretta</li><li>• Relatività della simultaneità degli eventi</li><li>• Dilatazione dei tempi e contrazione delle lunghezze</li><li>• Evidenze sperimentali degli effetti relativistici</li><li>• Trasformazioni di Lorentz</li><li>• Legge di addizione relativistica delle velocità; limite non relativistico: addizione galileiana delle velocità</li><li>• L' Invariante relativistico</li><li>• La conservazione della quantità di moto relativistica</li><li>• Massa ed energia in relatività</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Applicare</u> le relazioni sulla dilatazione dei tempi e contrazione delle lunghezze e saper individuare in quali casi si applica il limite non relativistico</li><li>• <u>Utilizzare</u> le trasformazioni di Lorentz</li><li>• <u>Applicare</u> la legge di addizione relativistica delle velocità</li><li>• <u>Risolvere</u> problemi di cinematica e dinamica relativistica</li><li>• <u>Applicare</u> l'equivalenza massa-energia in situazioni concrete tratte da esempi di decadimenti radioattivi, reazioni di fissione o di fusione nucleare</li><li>• <u>Illustrare</u> come la relatività abbia rivoluzionato i concetti di spazio, tempo, materia e energia</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Saper mostrare, facendo riferimento a esperimenti specifici, i limiti del paradigma classico di spiegazione e interpretazione dei fenomeni e saper argomentare la necessità di una visione relativistica</li><li>• Saper riconoscere il ruolo della relatività in situazioni sperimentali e nelle applicazioni tecnologiche</li><li>• Essere in grado di comprendere e argomentare testi divulgativi e di critica scientifica che trattino il tema della relatività</li></ul>



# Modulo C: Fisica quantistica

PREREQUISITI	CONTENUTI IRRINUNCIABILI	ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI	COMPETENZE SETTORIALI
<ul style="list-style-type: none"><li>• L'esperienza di Rutherford e modello atomico</li><li>• Spettri atomici</li><li>• Interferenza e diffrazione (onde, ottica)</li><li>• Scoperta dell'elettrone</li><li>• Urti classici</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• L'emissione di corpo nero e l'ipotesi di Planck</li><li>• L'esperienza di Lenard e la spiegazione di Einstein dell'effetto fotoelettrico</li><li>• L'effetto Compton</li><li>• Modello dell'atomo di Bohr e interpretazione degli spettri atomici</li><li>• L'esperienza di Franck – Hertz.</li><li>• Lunghezza d'onda di De Broglie.</li><li>• Dualismo onda-particella. Limiti di validità della descrizione classica</li><li>• Diffrazione/Interferenza degli elettroni</li><li>• Il principio di indeterminazione</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Illustrare</u> il modello del corpo nero interpretandone la curva di emissione in base alla legge di distribuzione di Planck</li><li>• <u>Applicare</u> le leggi di Stefan-Boltzmann e di Wien, saperne riconoscere la natura fenomenologica</li><li>• <u>Applicare</u> l'equazione di Einstein dell'effetto fotoelettrico per la risoluzione di esercizi</li><li>• <u>Illustrare e applicare</u> la legge dell'effetto Compton</li><li>• <u>Discutere</u> il dualismo onda-corpuscolo</li><li>• <u>Calcolare</u> le frequenze emesse per transizione dai livelli dell'atomo di Bohr</li><li>• <u>Calcolare</u> la lunghezza d'onda di una particella e confrontarla con la lunghezza d'onda di un oggetto macroscopico</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Saper mostrare, facendo riferimento a esperimenti specifici, i limiti del paradigma classico di spiegazione e interpretazione dei fenomeni e saper argomentare la necessità di una visione quantistica</li><li>• Saper riconoscere il ruolo della fisica quantistica in situazioni reali e in applicazioni tecnologiche</li><li>• Essere in grado di comprendere e argomentare testi divulgativi e di critica scientifica che trattino il tema della fisica quantistica</li></ul>

# Modulo C: Fisica quantistica (2)

## PREREQUISITI

## CONTENUTI IRRINUNCIABILI

## ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI

## COMPETENZE SETTORIALI

- 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
- Analizzare esperimenti di interferenza e diffrazione di particelle, illustrando anche formalmente come essi possano essere interpretati a partire dalla relazione di De Broglie sulla base del principio di sovrapposizione

# Modulo D:

## Argomenti e approfondimenti di Fisica Moderna

### PREREQUISITI

### CONTENUTI IRRINUNCIABILI

- Sarà affrontato lo studio di uno o più argomenti di Fisica Moderna nel campo dell'astrofisica, della cosmologia, delle particelle elementari, dell'energia nucleare, dei semiconduttori, delle micro e nano-tecnologie

### ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI

- Saper illustrare almeno un aspetto della ricerca scientifica contemporanea o dello sviluppo della tecnologia o delle problematiche legate alle risorse energetiche

### COMPETENZE SETTORIALI

- Saper riconoscere il ruolo della fisica moderna in alcuni aspetti della ricerca scientifica contemporanea o nello sviluppo della tecnologia o nella problematica delle risorse energetiche

# La simulazione di gennaio 2016

## un problema a scelta tra due

Problema n. 1: Il metodo delle parabole di Thomson

- moto di una carica in campo elettrico e magnetico

Problema n. 2: Uno strumento rinnovato

- campo elettrico indotto
- forza agente su un elemento di circuito in moto in un campo magnetico

## tre quesiti a scelta tra sei

Quesito 1

- intensità della radiazione luminosa e valori dei campi elettrico e magnetico associati

Quesito 2

- corrente di spostamento

Quesito 3

- relazione tra frequenza e lunghezza d'onda e diffrazione delle onde

Quesito 4

- IV eq. di Maxwell, circuitazione di B

Quesito 5

- potenziale elettrostatico

Quesito 6

- polarizzazione della luce

# Tipologie di esercizi

## ★ Induzione:

variazione del flusso concatenato con un circuito

- moto del campo magnetico rispetto alla spira
- rotazione di una spira in un campo magnetico uniforme

variazione del flusso tagliato



- barretta che scorre su binari



– pro: questa tipologia di problemi può facilmente essere associata ad una parte di meccanica

★ tutte queste tipologie sono facilmente associabili alla legge di Ohm e alla forza magnetica su un circuito percorso da corrente

circuiti con induttanza

- contro: non sono previsti esplicitamente nelle indicazioni didattiche nazionali

# Tipologie di esercizi

## Eq. di Maxwell:

- ★ corrente di spostamento

## onde e.m.:

- ★ energia ed impulso associati
  - pro: molto istruttivi rispetto alle possibili applicazioni
  - contro: sostanzialmente tutto si riduce all'applicazione della stessa formula

## mancano:

moto di una carica in campo elettromagnetico (prob. 1)  
potenziale elettrostatico (quesito 5)  
polarizzazione della luce (quesito 6)

# Modulo A, Unità didattica 1: Induzione elettromagnetica

PREREQUISITI	CONTENUTI IRRINUNCIABILI	ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI	COMPETENZE SETTORIALI
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il concetto di campo</li> <li>• I campi conservativi</li> <li>• Il campo gravitazionale</li> <li>• Il campo elettrico e le sue proprietà</li> <li>• Relazioni tra campo elettrico e le sue sorgenti</li> <li>• Il campo magnetico e le sue proprietà</li> <li>• Relazioni tra campo magnetico e le sue sorgenti</li> <li>• La forza elettrostatica e la forza di Lorentz</li> <li>• Calcolo del flusso di un campo vettoriale</li> <li>• Leggi del flusso e della circuitazione per il campo elettrico e magnetico stazionari nel vuoto</li> <li>• Energia associata al campo elettrico</li> <li>• Accumulo e dissipazione di energia da parte di una corrente elettrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il fenomeno della induzione elettromagnetica: la forza elettromotrice indotta e sua origine</li> <li>• Legge di Faraday-Neumann-Lenz</li> <li>• Le correnti indotte tra circuiti</li> <li>• Il fenomeno della autoinduzione e il concetto di induttanza</li> <li>• Energia associata a un campo magnetico</li> </ul> <p>quesito 5</p> <p>problema 1</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Descrivere e interpretare</u> esperimenti che mostrino il fenomeno dell'induzione elettromagnetica</li> <li>• <u>Discutere</u> il significato fisico degli aspetti formali dell'equazione della legge di Faraday-Neumann-Lenz</li> <li>• <u>Descrivere</u>, anche formalmente, le relazioni tra forza di Lorentz e forza elettromotrice indotta</li> <li>• <u>Utilizzare</u> la legge di Lenz per individuare il verso della corrente indotta e interpretare il risultato alla luce della conservazione dell'energia</li> <li>• <u>Calcolare</u> le variazioni di flusso di campo magnetico</li> <li>• <u>Calcolare</u> correnti e forze elettromotrici indotte utilizzando la legge di Faraday-Neumann-Lenz anche in forma differenziale</li> <li>• <u>Derivare e calcolare</u> l'induttanza di un solenoide</li> </ul>	<p>Essere in grado di riconoscere il fenomeno dell'induzione elettromagnetica in situazioni sperimentali</p> <p>Essere in grado di esaminare una situazione fisica che veda coinvolto il fenomeno dell'induzione elettromagnetica</p> <p>problema 2</p>

# Modulo A, Unità didattica 1: Induzione elettromagnetica (2)

PREREQUISITI	CONTENUTI IRRINUNCIABILI	ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI	COMPETENZE SETTORIALI
		<ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Determinare</u> l'energia associata ad un campo magnetico</li><li>• <u>Risolvere esercizi e problemi</u> di applicazione delle formule studiate inclusi quelli che richiedono il calcolo delle forze su conduttori in moto in un campo magnetico</li></ul>	<p>problema 2</p>



# Modulo A, Unità didattica 2: Equazioni di Maxwell e Onde Elettromagnetiche

## PREREQUISITI

- Onde e oscillazioni
- Caratteristiche generali della propagazione delle onde
- Onde stazionarie
- Interferenza e diffrazione delle onde
- La legge della riflessione
- La legge della rifrazione e suo legame con la velocità di propagazione
- La risonanza

quesito 6

quesito 3

## CONTENUTI IRRINUNCIABILI

- Relazione tra campi elettrici e magnetici variabili
- La corrente di spostamento
- Sintesi dell'elettromagnetismo: le equazioni di Maxwell
- Onde elettromagnetiche piane e loro proprietà
- La polarizzazione delle onde elettromagnetiche
- L'energia e l'impulso trasportato da un'onda elettromagnetica
- Cenni sulla propagazione della luce nei mezzi isolanti, costante dielettrica e indice di rifrazione
- Lo spettro delle onde elettromagnetiche
- La produzione delle onde elettromagnetiche
- Le applicazioni delle onde elettromagnetiche nelle varie bande di frequenza

quesiti 2 e 4

## ABILITA' RELATIVE AI CONTENUTI

- Illustrare le implicazioni delle equazioni di Maxwell nel vuoto espresse in termini di flusso e circuitazione
- Discutere il concetto di corrente di spostamento e il suo ruolo nel quadro complessivo delle equazioni di Maxwell
- Calcolare le grandezze caratteristiche delle onde elettromagnetiche piane
- Applicare il concetto di trasporto di energia di un'onda elettromagnetica
- Descrivere lo spettro elettromagnetico ordinato in frequenza e in lunghezza d'onda
- Illustrare gli effetti e le principali applicazioni delle onde elettromagnetiche in funzione della lunghezza d'onda e della frequenza

## COMPETENZE SETTORIALI

- Essere in grado di collegare le equazioni di Maxwell ai fenomeni fondamentali dell'elettricità e del magnetismo e viceversa
- Saper riconoscere il ruolo delle onde elettromagnetiche in situazioni reali e in applicazioni tecnologiche

quesito 1

# Rubrica di Valutazione del Problema

## Indicatori per la valutazione

*Esaminare la situazione fisica proposta formulando le ipotesi esplicative attraverso modelli o analogie o leggi.*

*Formalizzare situazioni problematiche e applicare gli strumenti matematici e disciplinari rilevanti per la loro risoluzione.*

*Interpretare e/o elaborare i dati proposti, anche di natura sperimentale, verificandone la pertinenza al modello scelto.*

*Descrivere il processo risolutivo adottato e comunicare i risultati ottenuti valutandone la coerenza con la situazione problematica proposta.*

# Problema n. 1: Il metodo delle parabole di Thomson

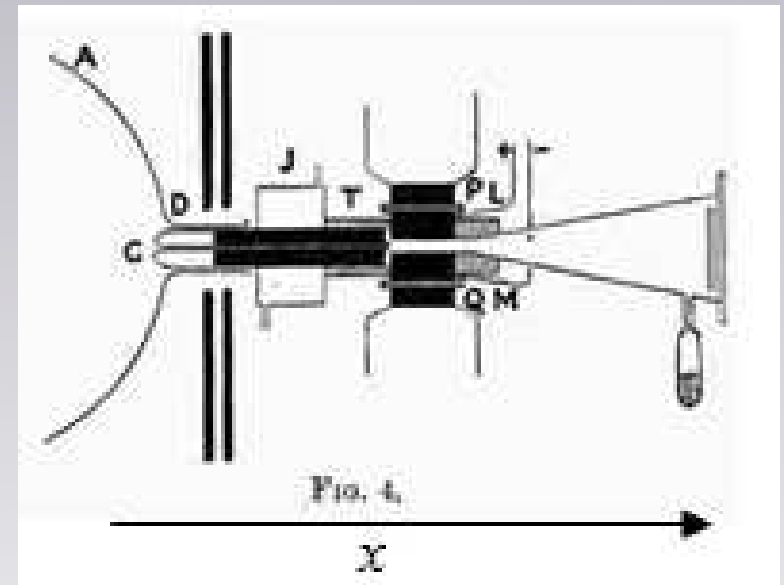
I “raggi canale” (ioni) entrano attraverso l'ugello C e, con velocità parallele tra loro, attraversano il campo elettrico e quello magnetico nella regione identificata dalle lettere PLQM. I campi sono paralleli tra di loro e perpendicolari al piano della pagina.

“Supponi che un fascio di queste particelle si muova parallelamente all'asse x, colpendo un piano fluorescente perpendicolare al loro cammino in un punto O. Se prima di raggiungere il piano agisce su di esse un campo elettrico parallelo all'asse y, il punto ove le particelle raggiungono il piano è spostato parallelamente all'asse y di una distanza pari a:

$$y = \frac{q}{mv_0^2} A_1$$

Se invece sulle particelle agisce un campo magnetico anch'esso parallelo all'asse y, le particelle vengono deflesse parallelamente all'asse z e il punto ove le particelle raggiungono il piano è spostato parallelamente all'asse z di una distanza pari a:

$$z = \frac{q}{mv_0} A_2$$



# Problema n. 1: Il metodo delle parabole di Thomson

1. Fissando un sistema di riferimento con origine nel punto O ove le particelle colpiscono il piano fluorescente in assenza del campo elettrico e di quello magnetico, l'asse x nella direzione del moto delle particelle e l'asse y nella direzione comune dei campi elettrico e magnetico, dimostra dalle informazioni date la validità delle formule riportate da Thomson per le deflessioni nelle direzioni y e z dovute al campo elettrico e al campo magnetico. Nella dimostrazione assumi che gli effetti di bordo siano trascurabili e che la forza di Lorentz sia sempre diretta nella direzione z.
2. Dimostra che le particelle con lo stesso rapporto  $q/m$  formano sul piano  $x=0$  una parabola quando è presente contemporaneamente sia il campo elettrico sia quello magnetico; determina l'equazione della parabola in funzione del rapporto  $q/m$  e dei parametri  $A_1$  e  $A_2$ .
3. Ricordando che gli ioni di idrogeno hanno il massimo rapporto  $q/m$ , individua la parabola dovuta agli ioni di idrogeno. Scegli poi un'altra parabola delle foto e determina il rapporto  $q/m$  relativo a questa parabola, in unità dello stesso rapporto  $q/m$  per l'idrogeno. Descrivi dettagliatamente il procedimento seguito.
4. Immagina ora di ruotare il campo elettrico in modo che sia diretto nella direzione z e con verso tale da deflettere le particelle in verso opposto alla deflessione dovuta al campo magnetico. Disegna la direzione e verso del campo elettrico e di quello magnetico affinché essi operino come descritto e determina la condizione che deve essere verificata affinché la deflessione totale sia nulla. Ipotezzando di utilizzare il dispositivo come strumento di misura, quale grandezza potrebbe misurare?

# soluzione problema 1

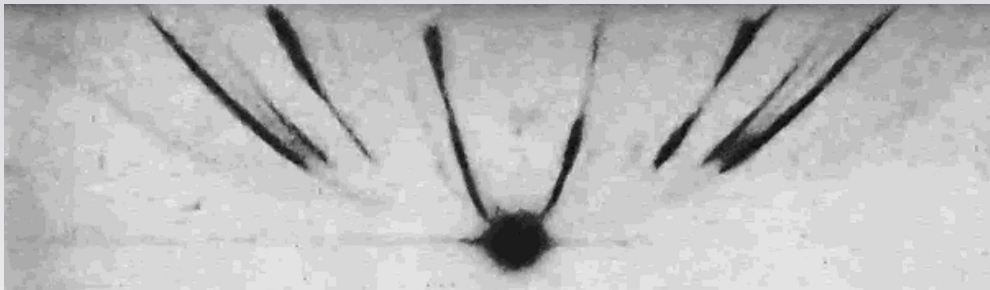
$$1) \quad y = \frac{1}{2} at^2$$

$$f_c = ma = qE$$

$$y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \left( \frac{x}{v} \right)^2 = \frac{q}{mv^2} \left( \frac{Ex^2}{2} \right) = \frac{q}{mv^2} A_1$$

$$2) \quad \frac{y}{z^2} = \frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2} \quad \Rightarrow \quad y = \left( \frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2} \right) z^2$$

3)



$$z = \frac{1}{2} at^2$$

$$f_c = ma = qvB$$

$$z = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} \left( \frac{x}{v} \right)^2 = \frac{q}{mv} \left( \frac{Bx^2}{2} \right) = \frac{q}{mv} A_2$$

perché sono parabole complete?

qual è l'idrogeno?

# soluzione problema 1

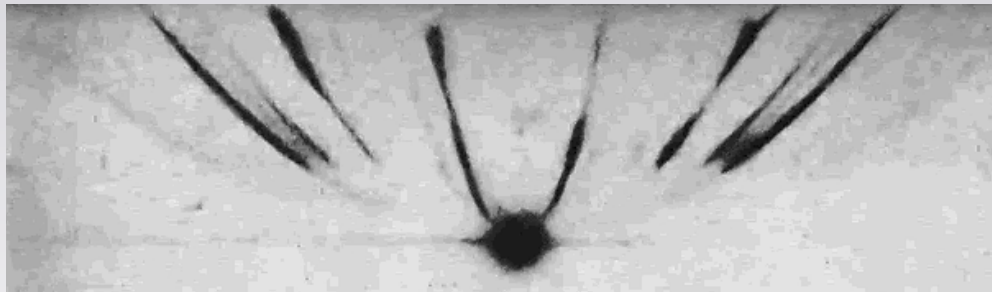
$$1) \quad y = \frac{1}{2} at^2$$

$$f_c = ma = qE$$

$$y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \left( \frac{x}{v} \right)^2 = \frac{q}{mv^2} \left( \frac{Ex^2}{2} \right) = \frac{q}{mv^2} A_1$$

$$2) \quad \frac{y}{z^2} = \frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2} \quad \Rightarrow \quad y = \left( \frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2} \right) z^2$$

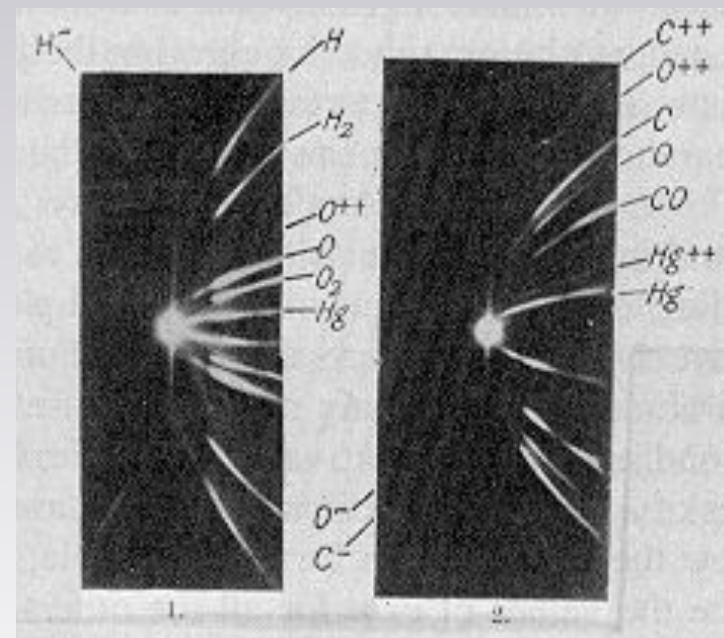
3)



$$z = \frac{1}{2} at^2$$

$$f_c = ma = qvB$$

$$z = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} \left( \frac{x}{v} \right)^2 = \frac{q}{mv} \left( \frac{Bx^2}{2} \right) = \frac{q}{mv} A_2$$



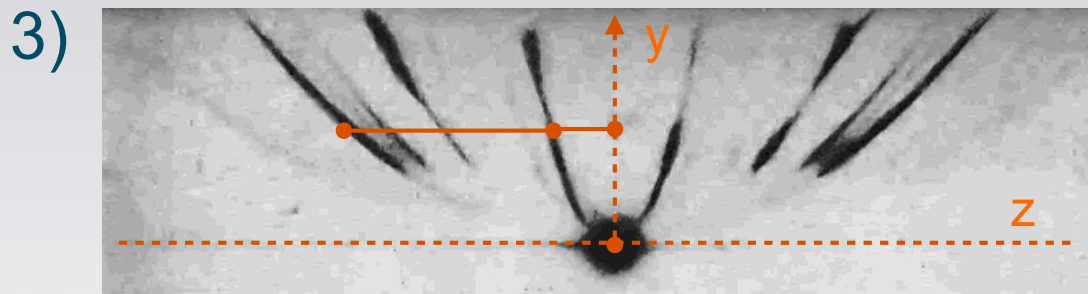
# soluzione problema 1

1)  $y = \frac{1}{2}at^2$

$f_c = ma = qE$

$y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \left(\frac{x}{v}\right)^2 = \frac{q}{mv^2} \left(\frac{Ex^2}{2}\right) = \frac{q}{mv^2} A_1$

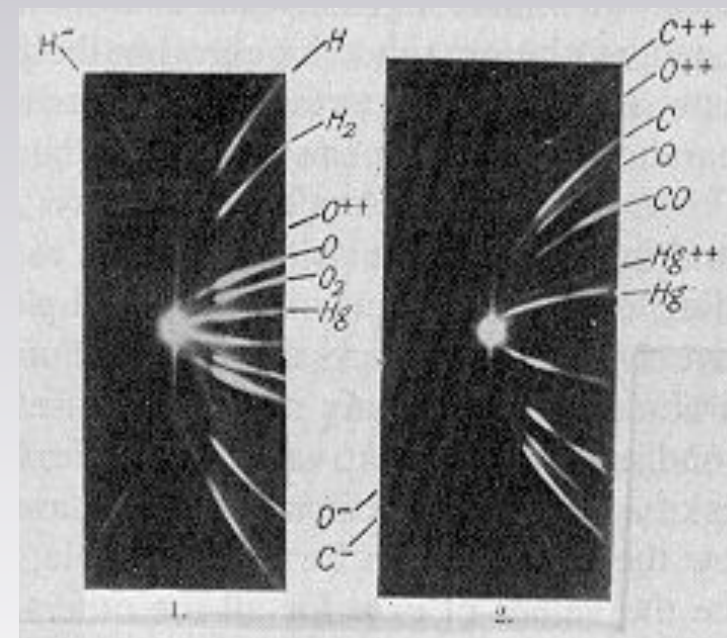
2)  $\frac{y}{z^2} = \frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2} \Rightarrow y = \left(\frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2}\right) z^2$



$z = \frac{1}{2}at^2$

$f_c = ma = qvB$

$z = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} \left(\frac{x}{v}\right)^2 = \frac{q}{mv} \left(\frac{Bx^2}{2}\right) = \frac{q}{mv} A_2$



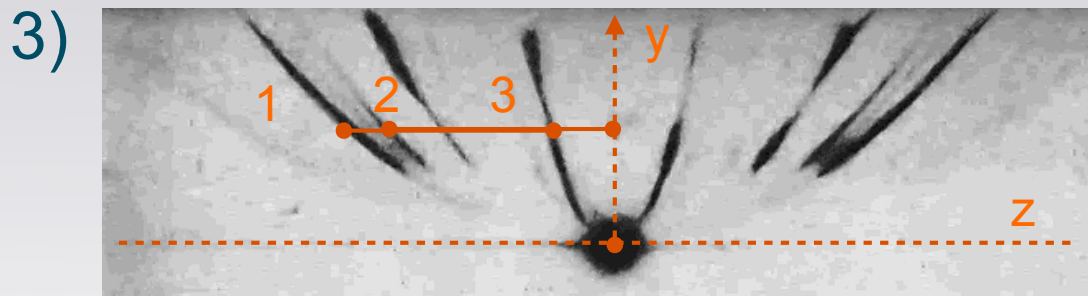
# soluzione problema 1

1)  $y = \frac{1}{2}at^2$

$f_c = ma = qE$

$$y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \left(\frac{x}{v}\right)^2 = \frac{q}{mv^2} \left(\frac{Ex^2}{2}\right) = \frac{q}{mv^2} A_1$$

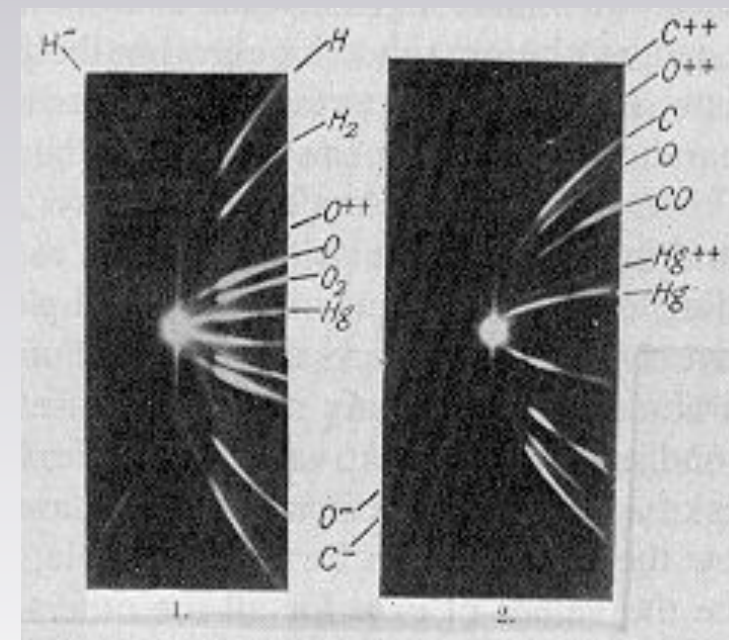
2)  $\frac{y}{z^2} = \frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2} \Rightarrow y = \left(\frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2}\right) z^2$



$z = \frac{1}{2}at^2$

$f_c = ma = qvB$

$$z = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} \left(\frac{x}{v}\right)^2 = \frac{q}{mv} \left(\frac{Bx^2}{2}\right) = \frac{q}{mv} A_2$$



$$\frac{z_1^2}{z_2^2} = \frac{q_1 m_2}{q_2 m_1} \Rightarrow \frac{m_2}{q_2} = \frac{m_1}{q_1} \frac{z_1^2}{z_2^2} = 1.33 \frac{m_1}{q_1}; \quad \frac{m_3}{q_3} = 16.8 \frac{m_1}{q_1}$$

$m_C = 12, \quad m_O = 16 = 12 \cdot 1.33; \quad m_{Hg} = 201.6 = 12 \cdot 16.8; \quad m_1 / q_1 = 1 \Rightarrow m_2 = 1.33 \cdot q_2 \quad !?$



# soluzione problema 1

$$1) \quad y = \frac{1}{2} at^2$$

$$f_c = ma = qE$$

$$y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \left( \frac{x}{v} \right)^2 = \frac{q}{mv^2} \left( \frac{Ex^2}{2} \right) = \frac{q}{mv^2} A_1$$

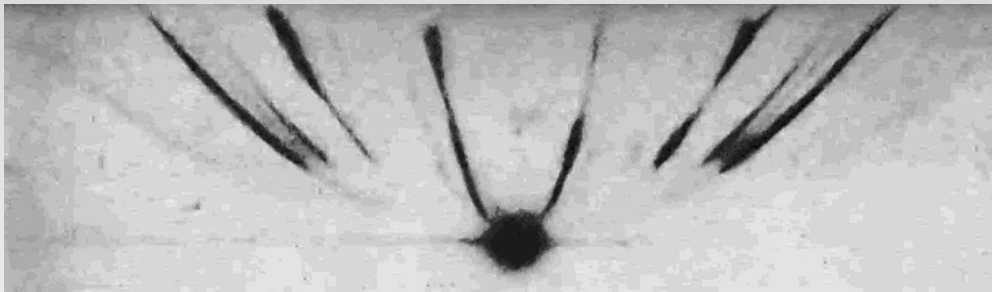
$$z = \frac{1}{2} at^2$$

$$f_c = ma = qvB$$

$$z = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} \left( \frac{x}{v} \right)^2 = \frac{q}{mv} \left( \frac{Bx^2}{2} \right) = \frac{q}{mv} A_2$$

$$2) \quad \frac{y}{z^2} = \frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2} \quad \Rightarrow \quad y = \left( \frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2} \right) z^2$$

3)



$$4) \quad qE = qvB \quad \Rightarrow \quad v = \frac{E}{B}$$

# soluzione problema 1

$$1) \quad y = \frac{1}{2} at^2$$

$$f_c = ma = qE$$

$$y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \left( \frac{x}{v} \right)^2 = \frac{q}{mv^2} \left( \frac{Ex^2}{2} \right) = \frac{q}{mv^2} A_1$$

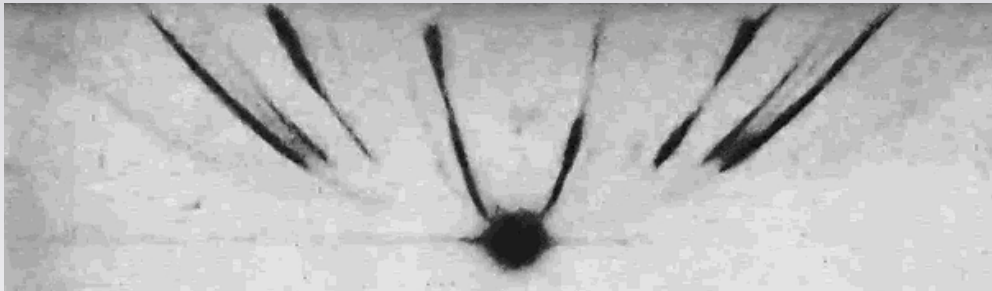
$$z = \frac{1}{2} at^2$$

$$f_c = ma = qvB$$

$$z = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} \left( \frac{x}{v} \right)^2 = \frac{q}{mv} \left( \frac{Bx^2}{2} \right) = \frac{q}{mv} A_2$$

$$2) \quad \frac{y}{z^2} = \frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2} \quad \Rightarrow \quad y = \left( \frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2} \right) z^2$$

3)



$$4) \quad qE = qvB \quad \Rightarrow \quad v = \frac{E}{B} \quad y = z \frac{1}{v} \frac{A_1}{A_2}$$

# soluzione problema 1

$$1) \quad y = \frac{1}{2} at^2$$

$$f_c = ma = qE$$

$$y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \left( \frac{x}{v} \right)^2 = \frac{q}{mv^2} \left( \frac{Ex^2}{2} \right) = \frac{q}{mv^2} A_1$$

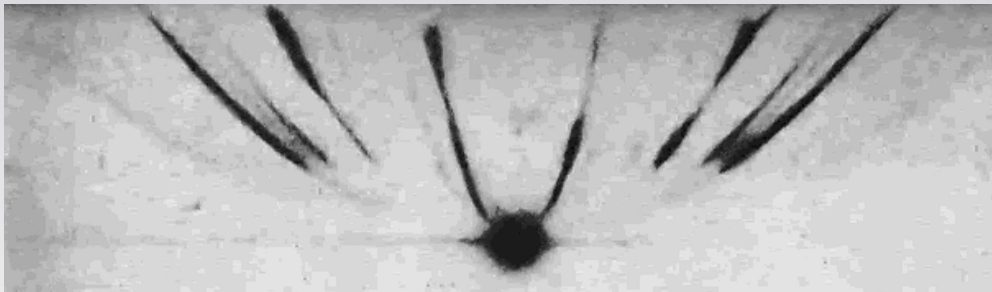
$$z = \frac{1}{2} at^2$$

$$f_c = ma = qvB$$

$$z = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} t^2 = \frac{1}{2} \frac{qvB}{m} \left( \frac{x}{v} \right)^2 = \frac{q}{mv} \left( \frac{Bx^2}{2} \right) = \frac{q}{mv} A_2$$

$$2) \quad \frac{y}{z^2} = \frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2} \quad \Rightarrow \quad y = \left( \frac{m}{q} \frac{A_1}{A_2^2} \right) z^2$$

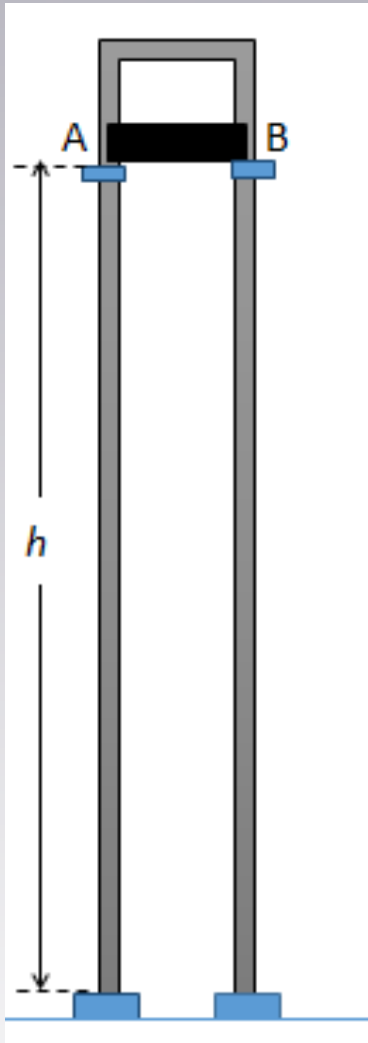
3)



$$4) \quad qE = qvB \quad \Rightarrow \quad v = \frac{E}{B} \quad y = z \frac{1}{v} \frac{A_1}{A_2}$$

nell'esperimento in esame gli ioni non hanno velocità definite!

## Problema n. 2: Uno strumento rinnovato



una barretta metallica poggia su due blocchi A e B ancorati ad una guida ad U anch'essa metallica; la guida si trova su un piano perpendicolare al pavimento con il quale è in contatto attraverso due piedini di materiale isolante. La barretta si trova ad un'altezza  $h$  dal pavimento e, una volta eliminati i blocchi, scivola verso il basso lungo i binari della guida con attrito trascurabile.

Pensando a ciò che hai studiato recentemente ti viene in mente di utilizzare lo strumento per effettuare misure in campi magnetici. Immagini così di immergere completamente lo strumento in un campo magnetico uniforme perpendicolare al piano della guida.

# Problema n. 2: Uno strumento rinnovato

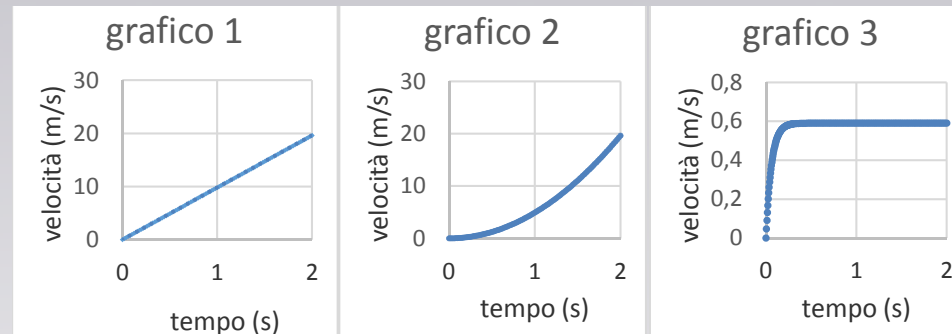
1. Rappresenta ed esamina la nuova situazione descrivendo i fenomeni fisici coinvolti e le forze alle quali è sottoposta la barretta durante il suo moto verso il basso.
2. Individua quale tra i seguenti grafici rappresenta l'andamento nel tempo della velocità della barretta giustificando la scelta fatta.



3. Calcola il valore  $v_{MAX}$  della velocità massima della barretta assumendo per essa una massa pari a 30 g, una lunghezza di 40 cm, una resistenza elettrica di 2,0  $\Omega$  (supponi trascurabile la resistenza elettrica della guida ad U) ed un campo magnetico applicato di intensità 2,5T.
4. Determina l'equazione che descrive il moto della barretta e verifica che la funzione  $v_{MAX}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ , con  $\tau = \frac{v_{MAX}}{g}$  ne è soluzione; definisci il significato dei simboli presenti nella funzione servendoti, eventualmente, di un grafico.

# Problema n. 2: Uno strumento rinnovato

1. Rappresenta ed esamina la nuova situazione descrivendo i fenomeni fisici coinvolti e le forze alle quali è sottoposta la barretta durante il suo moto verso il basso.
2. Individua quale tra i seguenti grafici rappresenta l'andamento nel tempo della velocità della barretta giustificando la scelta fatta.



3. Calcola il valore  $v_{MAX}$  della velocità massima della barretta assumendo per essa una massa pari a 30 g, una lunghezza di 40 cm, una resistenza elettrica di  $2,0 \Omega$  (supponi trascurabile la resistenza elettrica della guida ad U) ed un campo magnetico applicato di intensità  $2,5T$ .
4. Determina l'equazione che descrive il moto della barretta e verifica che la funzione  $v_{MAX}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ , con  $\tau = \frac{v_{MAX}}{g}$  ne è soluzione; definisci il significato dei simboli presenti nella funzione servendoti, eventualmente, di un grafico.

# Problema n. 2: soluzione

3)

$$\phi(B) = x(t)BL$$

$$f_{em} = \frac{d\phi(B)}{dt} = v(t)BL$$

$$i = \frac{f_{em}}{R} = \frac{v(t)BL}{R}$$

$$F = iBL = \frac{v(t)(BL)^2}{R}$$

$$ma = mg - F = mg - \frac{v(t)(BL)^2}{R}$$

$$v_{\max} = \text{costante} \Rightarrow ma = 0 \Rightarrow mg = F$$

$$mg = \frac{v_{\max}(BL)^2}{R} \Rightarrow v_{\max} = \frac{mgR}{(BL)^2} = 0.6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4)

$$m \frac{dv}{dt} = mg - \frac{v(t)(BL)^2}{R}$$

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{v(t)(BL)^2}{mR}$$

$$v(t) = v_{\max} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = v_{\max} \left( 1 - e^{-\frac{gt}{v_{\max}}} \right) \quad \text{con} \quad \tau = \frac{v_{\max}}{g}$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{v_{\max}}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} = g e^{-\frac{gt}{v_{\max}}}$$

$$g e^{-\frac{gt}{v_{\max}}} = g - \frac{(BL)^2 v_{\max}}{mR} \left( 1 - e^{-\frac{gt}{v_{\max}}} \right) = g - g \left( 1 - e^{-\frac{gt}{v_{\max}}} \right)$$

# Griglia di Valutazione dei Quesiti

Indicatori per la valutazione

## **COMPRESIONE e CONOSCENZA**

*Comprende la richiesta.*

*Conosce i contenuti.*

## **ABILITA' LOGICHE e RISOLUTIVE**

*È in grado di separare gli elementi dell'esercizio evidenziandone i rapporti.*

*Usa un linguaggio appropriato.*

*Sceglie strategie risolutive adeguate.*

## **CORRETTEZZA dello SVOLGIMENTO**

*Esegue calcoli corretti.*

*Applica Tecniche e Procedure, anche grafiche, corrette.*

## **ARGOMENTAZIONE**

*Giustifica e Commenta le scelte effettuate.*

## **VALUTAZIONE**

*Formula autonomamente giudizi critici di valore e di metodo.*



# Quesito 1

Una lampadina ad incandescenza, alimentata con tensione alternata pari a 220 V, assorbe una potenza elettrica media pari a  $1,0 \cdot 10^2$  W ed emette luce grazie al riscaldamento di un filamento di tungsteno. Considera che in queste condizioni sia:

$$\frac{\text{Potenza media luminosa emessa}}{\text{Potenza media elettrica assorbita}} = 2,0\%$$

Ipotizzando per semplicità che la lampadina sia una sorgente puntiforme che emette uniformemente in tutte le direzioni, e che la presenza dell'aria abbia un effetto trascurabile, calcola ad una distanza  $d = 2,0$  m dalla lampadina:

- l'intensità media della luce;
- i valori efficaci del campo elettrico e del campo magnetico.

Ritieni che le ipotesi semplificative siano adeguate alla situazione reale? Potresti valutare qualitativamente le differenze tra il caso reale e la soluzione trovata nel caso ideale?

# Quesito 1

## esercizio svolto del Walker, n 4 cap. 18.7

Una lampadina ad incandescenza, alimentata con tensione alternata pari a 220 V, assorbe una potenza elettrica media pari a  $1,0 \cdot 10^2$  W ed emette luce grazie al riscaldamento di un filamento di tungsteno. Considera che in queste condizioni sia:

$$\frac{\text{Potenza media luminosa emessa}}{\text{Potenza media elettrica assorbita}} = 2,0\%$$

Ipotizzando per semplicità che la lampadina sia una sorgente puntiforme che emette uniformemente in tutte le direzioni, e che la presenza dell'aria abbia un effetto trascurabile, calcola ad una distanza  $d = 2,0$  m dalla lampadina:

- l'intensità media della luce;
- i valori efficaci del campo elettrico e del campo magnetico.

Ritieni che le ipotesi semplificative siano adeguate alla situazione reale? Potresti valutare qualitativamente le differenze tra il caso reale e la soluzione trovata nel caso ideale?

**soluzione:** 
$$I = P_e (4\pi r^2)^{-1} = 0,02 P_a = c \frac{B_{eff}^2}{\mu_0} = c \epsilon_0 E_{eff}^2$$

## Quesito 2

Un condensatore è costituito da due armature piane e parallele di forma quadrata separate da aria, di lato  $l = 5,0 \text{ cm}$ , distanti  $1,0 \text{ mm}$  all'istante  $t = 0$ , che si stanno allontanando tra loro di un decimo di millimetro al secondo. La differenza di potenziale tra le armature è  $1,0 \cdot 10^3 \text{ V}$ . Calcolare la corrente di spostamento che attraversa il condensatore nell'istante  $t = 0$ , illustrando il procedimento seguito.

## Quesito 2

Un condensatore è costituito da due armature piane e parallele di forma quadrata separate da aria, di lato  $l = 5,0 \text{ cm}$ , distanti  $1,0 \text{ mm}$  all'istante  $t = 0$ , che si stanno allontanando tra loro di un decimo di millimetro al secondo. La differenza di potenziale tra le armature è  $1,0 \cdot 10^3 \text{ V}$ . Calcolare la corrente di spostamento che attraversa il condensatore nell'istante  $t = 0$ , illustrando il procedimento seguito.

**soluzione:**

$$I_s = \varepsilon_0 \frac{d\phi(E)}{dt}$$

$$\phi(E) = L^2 E = L^2 \frac{\Delta V}{d} = L^2 \frac{\Delta V}{d_0 + vt}$$

$$I_s = \varepsilon_0 \frac{d}{dt} L^2 \frac{\Delta V}{d_0 + vt} = \varepsilon_0 L^2 \Delta V \frac{v}{d_0^2}$$

## Quesito 3

Una radiolina può ricevere trasmissioni radiofoniche sintonizzandosi su frequenze che appartengono ad una delle tre seguenti bande: **FM** (Frequency Modulation): 88-108 MHz ; **MW** (Medium Waves): 540-1600 KHz; e **SW** (Short Waves): 6,0-18,0 MHz. Quali sono le lunghezze d'onda massime e minime delle tre bande di ricezione? In quale delle tre bande la ricezione di un'onda elettromagnetica è meno influenzata dalla presenza degli edifici?

## Quesito 3

Una radiolina può ricevere trasmissioni radiofoniche sintonizzandosi su frequenze che appartengono ad una delle tre seguenti bande: **FM** (Frequency Modulation): 88-108 MHz ; **MW** (Medium Waves): 540-1600 KHz; e **SW** (Short Waves): 6,0-18,0 MHz. Quali sono le lunghezze d'onda massime e minime delle tre bande di ricezione? In quale delle tre bande la ricezione di un'onda elettromagnetica è meno influenzata dalla presenza degli edifici?

**soluzione:**

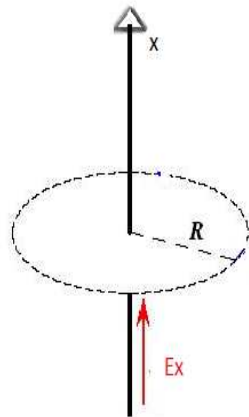
$$\lambda \nu = c$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

FM	88-108 MHz	3.4-2.8 m
MW	540-1600 kHz	670-187 m
SW	6-18 MHz	50-17 m

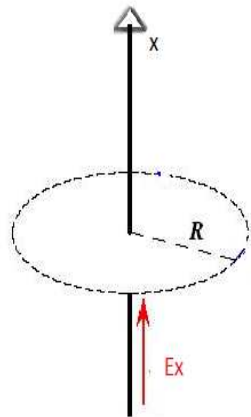
## Quesito 4

Nello spazio vuoto è presente un campo elettrico  $\vec{E}_x$ , la cui variazione media nel tempo, lungo una direzione individuata dalla retta orientata  $x$ , è di  $3,0 \cdot 10^6 \frac{V}{m \cdot s}$ . Determinare l'intensità del campo magnetico medio indotto, a una distanza  $R$  di  $3,0 \text{ cm}$  dalla retta  $x$ . Cosa accade all'aumentare di  $R$ ?



## Quesito 4

Nello spazio vuoto è presente un campo elettrico  $\vec{E}_x$ , la cui variazione media nel tempo, lungo una direzione individuata dalla retta orientata  $x$ , è di  $3,0 \cdot 10^6 \frac{V}{m \cdot s}$ . Determinare l'intensità del campo magnetico medio indotto, a una distanza  $R$  di  $3,0 \text{ cm}$  dalla retta  $x$ . Cosa accade all'aumentare di  $R$ ?



soluzione:

$$\phi(E) = \pi R^2 E$$

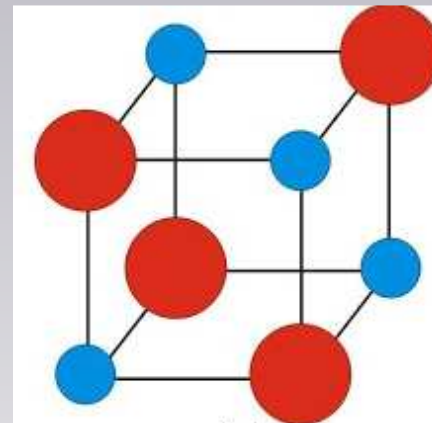
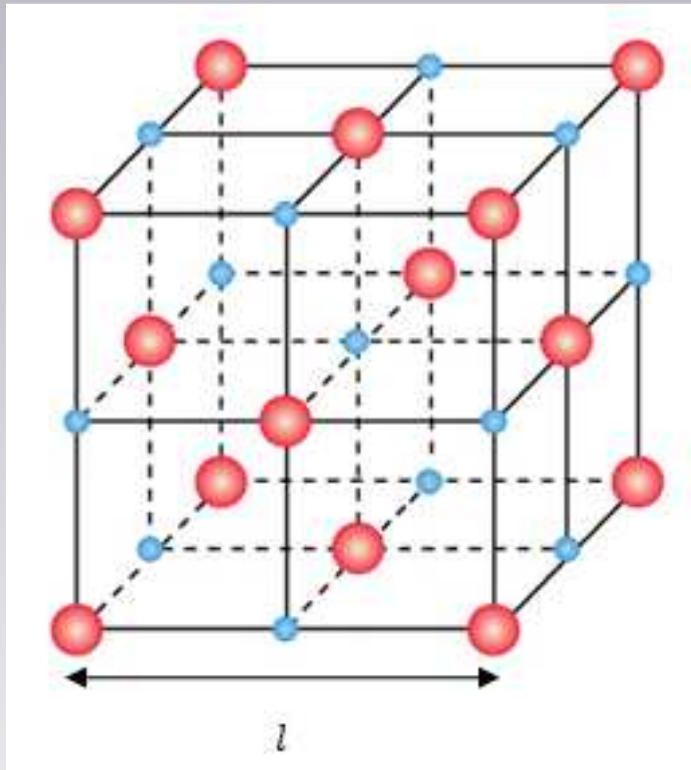
$$2\pi R B = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi(E)}{dt} = \mu_0 \epsilon_0 \pi R^2 \frac{dE}{dt}$$

$$B = \mu_0 \epsilon_0 \frac{R}{2} \frac{dE}{dt}$$



# Quesito 5

Nel cristallo di sale (NaCl) gli ioni positivi e negativi  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  si dispongono, alternandosi, ai vertici di celle cubiche, con una distanza tra due consecutivi ioni  $\text{Na}^+$  (o  $\text{Cl}^-$ ) pari ad  $l = 0,567\text{nm}$ .



In questo cristallo l'energia di legame è dovuta in buona parte all'interazione coulombiana tra gli ioni. Considerando una cella cubica contenente quattro ioni positivi e quattro ioni negativi, calcolare l'energia coulombiana per ione del cristallo, e determinare quale percentuale essa rappresenta del valore sperimentale dell'energia di legame, pari a 4,07 eV.

# Quesito 5

soluzione:

$$E_C = \frac{1}{2} \sum_i q_i \sum_{j \neq i} \frac{q_j}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} = \frac{1}{2} 8e \left( -3 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e}{L} + 3 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e}{\sqrt{2}L} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e}{\sqrt{3}L} \right)$$

$$= 4e \frac{e}{4\pi\epsilon_0 L} \left( -3 + \frac{3}{\sqrt{2}} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right)$$

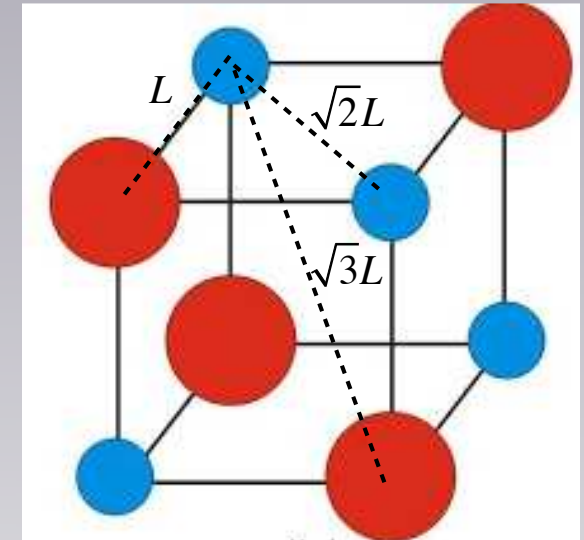
$$\frac{e}{4\pi\epsilon_0 L} = 5,08 \text{ V}$$

$$e \frac{e}{4\pi\epsilon_0 L} = 5,08 \text{ eV}$$

$$-3 + \frac{3}{\sqrt{2}} - \frac{1}{\sqrt{3}} = -1,456$$

$$E_{\text{ione}} = E_C / 8 = -\frac{1}{2} \cdot 1,456 \cdot 5,08 \text{ eV} = -3,70 \text{ eV} = 0,91 E_{\text{legame}}$$

$$L = 0,283 \text{ nm}$$



quale informazione ne ricaviamo?

## Quesito 6

Un'onda luminosa non polarizzata incide su un polarizzatore  $P_1$  e la radiazione da esso uscente incide su un secondo polarizzatore  $P_2$  il cui asse di trasmissione è posto a  $90^\circ$  rispetto a quello del primo. Ovviamente da  $P_2$  non esce nessuna radiazione.

Dimostrare che ponendo un terzo polarizzatore  $P_3$  tra  $P_1$  e  $P_2$ , che forma un angolo  $\alpha$  con  $P_1$ , ci sarà radiazione uscente da  $P_2$ .

Trovare:

- l'angolo  $\alpha$  per cui l'intensità della radiazione uscente è massima;
- il valore di tale intensità rispetto a quella ( $I_0$ ) dell'onda non polarizzata.

## Quesito 6

caso discusso nel Walker Cap. 18.8 p. 843

Un'onda luminosa non polarizzata incide su un polarizzatore  $P_1$  e la radiazione da esso uscente incide su un secondo polarizzatore  $P_2$  il cui asse di trasmissione è posto a  $90^\circ$  rispetto a quello del primo. Ovviamente da  $P_2$  non esce nessuna radiazione.

Dimostrare che ponendo un terzo polarizzatore  $P_3$  tra  $P_1$  e  $P_2$ , che forma un angolo  $\alpha$  con  $P_1$ , ci sarà radiazione uscente da  $P_2$ .

Trovare:

- l'angolo  $\alpha$  per cui l'intensità della radiazione uscente è massima;
- il valore di tale intensità rispetto a quella ( $I_0$ ) dell'onda non polarizzata.

### soluzione:

per un fascio non polarizzato l'intensità trasmessa da un polarizzatore è metà della intensità entrante;

per un fascio polarizzato l'intensità trasmessa da un secondo polarizzatore ad angolo  $\vartheta$  è

$$I = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \vartheta$$

l'intensità trasmessa dal sistema dei tre polarizzatori è quindi

$$I = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \vartheta \cos^2 (90 - \vartheta) = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \vartheta \sin^2 \vartheta = \frac{1}{8} I_0 \sin^2 2\vartheta$$

massimo di  $\sin 2\vartheta=1$  per  $\vartheta = 45^\circ$

$$I_{\max} = \frac{1}{8} I_0$$

