

P. MAZZOLDI

M. NIGRO

C. VOCI

ELEMENTI DI FISICA



elettromagnetismo
onde



II Edizione

P. Mazzoldi

M. Nigro

C. Voci

Dipartimento di Fisica Galileo Galilei – Padova

ELEMENTI DI FISICA

ELETTROMAGNETISMO • ONDE

SECONDA EDIZIONE



P. Mazzoldi – M. Nigro – C. Voci
ELEMENTI DI FISICA – Elettromagnetismo · Onde – II edizione
Copyright © 2008, 2005, 2002 EdiSES s.r.l.

9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

2012 2011 2010 2009 2008

Le cifre sulla destra indicano il numero e l'anno dell'ultima ristampa effettuata



A norma di legge, le pagine di questo volume non possono essere fotocopiate o ciclostilare o comunque riprodotte con alcun mezzo meccanico. La casa editrice sarebbe particolarmente spiacente di dover promuovere, a sua tutela, azioni legali verso coloro che arbitrariamente non si adeguano a tale norma.

L'Editore

Fotocomposizione: EdiSES s.r.l. – Napoli

Fotoincisione: PrintSprint – Napoli

Stampato presso la

Tipolitografia Petruzzi Corrado & Co. S.n.c.

Zona Ind. Regnano – Città di Castello (PG) – Tel. 0758511345

per conto della

EdiSES – Napoli Via Nuova San Rocco 62/A – P.co Soleado

Tel. 0817441706 0817441707 Fax 0817441705

http://www.edises.it E-mail: info@edises.it

ISBN 978 88 7959 478 3

Prefazione

Nella prefazione al primo volume, Meccanica e Termodinamica, di questi “Elementi di Fisica” abbiamo spiegato le scelte adottate nella stesura del testo, che riportiamo.

La riforma che ha portato all’istituzione della laurea triennale e della successiva laurea specialistica ha generato una revisione dei programmi e del peso, misurato in crediti, assegnato alle singole materie. Al primo livello la riduzione della durata degli studi e il taglio professionalizzante stanno comportando di fatto una compressione delle materie di base e tra queste della Fisica (fatta eccezione per i corsi della classe di Fisica), compressione che può arrivare fino ad un dimezzamento rispetto alla situazione precedente.

Non vogliamo discutere qui le conseguenze formative e culturali che la riforma può avere. Notiamo soltanto che, nelle nuove condizioni in cui deve operare, il docente di una materia istituzionale come la Fisica Generale si trova di fronte ad una scelta: ridurre il livello di presentazione per conservare il numero di argomenti che normalmente si illustravano agli studenti oppure operare un taglio di argomenti per rimanere ad un adeguato livello di presentazione, simile a quello finora adottato. Noi abbiamo optato per la seconda soluzione, che consideriamo la più valida per gli insegnamenti impartiti nelle facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali e di Ingegneria.

Abbiamo pertanto operato una revisione critica del testo, che tanto favorevolmente è stato accolto dai colleghi in questi anni, consistente in una riduzione di approfondimenti e di nozioni specifiche che erano stati pensati in vista di successivi insegnamenti di materie fisiche.

I programmi del corso di Fisica che segue l’insegnamento della Meccanica e della Termodinamica variano, a nostra conoscenza, da sede a sede a seconda dei curricula previsti per il primo livello di laurea. Perciò, come già fatto nel primo volume, abbiamo articolato la materia in due parti separabili: la prima parte è dedicata all’Elettromagnetismo e si conclude con le Onde Elettromagnetiche, la seconda all’Optica, in accordo con l’ipotesi che alcuni corsi di studio prevedano solamente lo svolgimento della prima parte. Inoltre, di vari argomenti, è data innanzi tutto una trattazione meno formale, che privilegia l’esemplificazione, rimandando a successivi paragrafi la trattazione più rigorosa. Viene lasciata in tal modo al docente la possibilità di approfondire o meno l’argomento in base al corso che insegna. Nella prima parte sono state incluse per completezza le Oscillazioni elettriche e nella seconda le Correnti alternate e le Onde meccaniche, anche se riteniamo difficile che possano essere svolte nei nuovi corsi.

È evidente che ci troviamo di fronte ad un difficile passaggio, se ci proponiamo di mantenere anche nella laurea triennale un insegnamento e un accertamento del risultato qualitativamente in linea con la nostra tradizione e nello stesso tempo vogliamo adeguarci alla logica della riforma.

Per questa nuova edizione, il testo è stato rivisto apportando tra l’altro alcuni cambiamenti derivati da suggerimenti e osservazioni di colleghi e di studenti. La nuova veste tipografica è intesa a facilitare la lettura del testo.

Con ciò intendiamo continuare a dare il nostro contributo all’impegno professionale dei docenti e agli studenti uno strumento di apprendimento conforme agli attuali curricula che sia utile per la loro formazione, oltre che per il superamento dell’esame.

Paolo Mazzoldi, Massimo Nigro, Cesare Voci

Padova, agosto 2008

Indice generale

ELETTROMAGNETISMO

- 1 Forza elettrostatica. Campo elettrostatico 1**
- 1.1 Cariche elettriche. Isolanti e conduttori 1
 - 1.2 Struttura elettrica della materia 4
 - 1.3 La legge di Coulomb 7
 - 1.4 Campo elettrostatico 11
 - 1.5 Campo elettrostatico prodotto da una distribuzione continua di cariche 14
 - 1.6 Linee di forza del campo elettrostatico 17
 - 1.7 Moto di una carica in un campo elettrostatico 18
 - 1.8 Determinazione della carica elementare. Esperienza di Millikan 20
 - Riepilogo 22
 - Quesiti 23
 - Problemi 23
- 2 Lavoro elettrico. Potenziale elettrostatico 27**
- 2.1 Lavoro della forza elettrica. Tensione, potenziale 27
 - 2.2 Calcolo del potenziale elettrostatico 30
 - 2.3 Energia potenziale elettrostatica 33
 - 2.4 Il campo come gradiente del potenziale 40
 - 2.5 Superficie equipotenziali 43
 - 2.6 Il rotore del campo elettrostatico 45
 - 2.7 Il dipolo elettrico 46
 - 2.8 La forza su un dipolo elettrico 47
 - Riepilogo 50
 - Quesiti 51
 - Problemi 52
- 3 La legge di Gauss 56**
- 3.1 Flusso del campo elettrostatico. Legge di Gauss 56
 - 3.2 Dimostrazione della legge di Gauss 58
 - 3.3 Alcune applicazioni e conseguenze della legge di Gauss 61
 - 3.4 La divergenza del campo elettrostatico 65
 - Riepilogo 66
 - Quesiti 67
 - Problemi 67
- 4 Conduttori. Dielettrici. Energia elettrostatica 70**
- 4.1 Conduttori in equilibrio 70
 - 4.2 Conduttore cavo. Schermo elettrostatico 73
 - 4.3 Condensatori 76
 - 4.4 Collegamento di condensatori 79
 - 4.5 Energia del campo elettrostatico 82
 - 4.6 Dielettrici. La costante dielettrica 85
 - 4.7 Polarizzazione dei dielettrici 92
 - 4.8 Equazioni generali dell'elettrostatica in presenza di dielettrici 95
 - Riepilogo 99
 - Quesiti 100
 - Problemi 101
- 5 Corrente elettrica 106**
- 5.1 Conduzione elettrica 106
 - 5.2 Corrente elettrica. Corrente elettrica stazionaria 107
 - 5.3 Legge di Ohm della conduzione elettrica 110
 - 5.4 Modello classico della conduzione elettrica 115
 - 5.5 Resistori in serie e in parallelo 117
 - 5.6 Forza elettromotrice 119
 - 5.7 Carica e scarica di un condensatore attraverso un resistore 122
 - 5.8 Corrente di spostamento 125
 - 5.9 Leggi di Kirchhoff per le reti elettriche 126

- 5.10 Alcuni circuiti particolari in corrente continua 130
- Riepilogo 134
- Quesiti 136
- Problemi 137

6 Campo magnetico. Forza magnetica 141

- 6.1 Interazione magnetica. Campo magnetico 141
- 6.2 Elettricità e magnetismo 144
- 6.3 Forza magnetica su una carica in moto 145
- 6.4 Forza magnetica su un conduttore percorso da corrente 147
- 6.5 Momenti meccanici su circuiti piani 150
- 6.6 Effetto Hall 153
- 6.7 Moto di una particella carica in un campo magnetico 155
- 6.8 Esempi di moti di particelle cariche in campo magnetico uniforme 158
- Riepilogo 163
- Quesiti 164
- Problemi 165

7 Sorgenti del campo magnetico. Legge di Ampère. Proprietà magnetiche della materia 169

- 7.1 Campo magnetico prodotto da una corrente 169
- 7.2 Calcoli di campi magnetici prodotti da circuiti particolari 171
- 7.3 Azioni elettrodinamiche tra fili percorsi da corrente 176
- 7.4 Legge di Ampère 177
- 7.5 Proprietà magnetiche della materia. Permeabilità e suscettività magnetica 182
- 7.6 Meccanismi di magnetizzazione e correnti amperiane 187
- 7.7 La legge di Gauss per il campo magnetico 190
- 7.8 Equazioni generali della magnetostatica in presenza di mezzi magnetizzati 194
- Riepilogo 196
- Quesiti 197
- Problemi 198

8 Campi elettrici e magnetici variabili nel tempo 202

- 8.1 Legge di Faraday dell'induzione elettromagnetica 203
- 8.2 Origine del campo elettrico indotto e della forza elettromotrice indotta 205
- 8.3 Applicazioni della legge di Faraday 209
- 8.4 Autoinduzione 212
- 8.5 Energia magnetica 216
- 8.6 Induzione mutua 219
- 8.7 Legge di Ampère-Maxwell 221
- 8.8 Le equazioni di Maxwell 223
- 8.9 Le equazioni di Maxwell in forma differenziale 224
- Riepilogo 227
- Quesiti 228
- Problemi 230

9 Oscillazioni elettriche. Correnti alternate 236

- 9.1 Oscillazioni elettriche 236
- 9.2 Circuiti in corrente alternata 239
- 9.3 Il circuito *RLC* in serie. Risonanza 242
- 9.4 Potenza nei circuiti a corrente alternata 245
- 9.5 Il trasformatore ideale 246
- Riepilogo 248
- Quesiti 249
- Problemi 250

10 Onde elettromagnetiche 253

- 10.1 Introduzione alle onde elettromagnetiche. Onde piane 253
- 10.2 Onde elettromagnetiche piane 256
- 10.3 Deduzione delle onde elettromagnetiche piane dalle equazioni di Maxwell 262
- 10.4 Energia di un'onda elettromagnetica piana. Vettore di Poynting 262
- 10.5 Quantità di moto di un'onda elettromagnetica piana. Pressione di radiazione 265
- 10.6 Polarizzazione dell'onda elettromagnetica piana 267
- 10.7 Radiazione elettromagnetica prodotta da un dipolo elettrico oscillante 270

- 10.8 Spettro delle onde elettromagnetiche 273
 - Riepilogo 275
 - Quesiti 276
 - Problemi 277

Guida alla risoluzione dei problemi di Elettromagnetismo. Risultati numerici 279

ONDE

11 Riflessione e rifrazione della luce 313

- 11.1 La luce. L'indice di rifrazione 313
- 11.2 Principio di Huygens-Fresnel 315
- 11.3 Le leggi della riflessione e della rifrazione 316
- 11.4 Intensità delle onde elettromagnetiche riflesse e rifratte 322
- 11.5 Polarizzazione della luce per assorbimento selettivo e per diffusione 326
- 11.6 Rifrazione anomala. Attività ottica 331
 - Riepilogo 333
 - Quesiti 334
 - Problemi 335

12 Ottica geometrica 339

- 12.1 Leggi della riflessione e della trasmissione 339
- 12.2 Definizioni e convenzioni 340
- 12.3 Specchi 342
- 12.4 Diottri 347
- 12.5 Lenti sottili 351
- 12.6 Aberrazioni 355
- 12.7 L'occhio umano 357
- 12.8 Strumenti ottici 360
 - Riepilogo 365
 - Quesiti 366
 - Problemi 367

13 Interferenza 371

- 13.1 Fenomeni d'interferenza. Sorgenti luminose coerenti 371
- 13.2 L'esperimento di Young 372
- 13.3 Interferenza della luce su lamine sottili 379
- 13.4 L'interferometro di Michelson 384

- 13.5 Onde elettromagnetiche stazionarie. Esperienza di Hertz 386
- 13.6 Interferenza di N sorgenti di onde elettromagnetiche sincrone 389
 - Riepilogo 393
 - Quesiti 394
 - Problemi 395

14 Diffrazione 398

- 14.1 Fenomeni di diffrazione di Fraunhofer e di Fresnel 398
- 14.2 Diffrazione di Fraunhofer ad una fenditura rettilinea 399
- 14.3 Diffrazione prodotta da un'apertura circolare e da un disco opaco 403
- 14.4 Limite di risoluzione delle lenti 406
- 14.5 Il reticolo di diffrazione 410
- 14.6 Potere risolutivo di un reticolo di diffrazione 414
- 14.7 Spettroscopia con il reticolo di diffrazione 416
- 14.8 Diffrazione dei raggi X 419
 - Riepilogo 422
 - Quesiti 423
 - Problemi 424

15 Proprietà corpuscolari e ondulatorie della radiazione e della materia 427

- 15.1 Introduzione 427
- 15.2 Radiazione termica. Corpo nero 427
- 15.3 Legge di Planck 430
- 15.4 Effetto fotoelettrico 431
- 15.5 Effetto Compton. Produzione di coppie 434
- 15.6 Righe spettrali dell'atomo di idrogeno 436
- 15.7 Il modello dell'atomo di Bohr 438

- 15.8 Onde materiali. Relazione di de Broglie 440
- 15.9 Principio di complementarità. Principio di indeterminazione 442
 - Riepilogo 445
 - Quesiti 446
 - Problemi 447

16 Onde meccaniche **450**

- 16.1 Fenomeni ondulatori 450
- 16.2 Onde piane armoniche 452
- 16.3 Onde in una corda tesa 454
- 16.4 Propagazione dell'energia in una corda tesa 456
- 16.5 Onde sonore 458
- 16.6 Onde sonore armoniche 460
- 16.7 Effetto Doppler. Onda d'urto 464

- 16.8 Interferenza di onde sonore armoniche 467
- 16.9 Onde stazionarie in una corda tesa 470
- 16.10 Onde stazionarie in una colonna di gas 474
- 16.11 Battimenti 476
 - Riepilogo 478
 - Quesiti 479
 - Problemi 481

**Guida alla risoluzione
dei problemi di Onde.
Risultati numerici 483**

Indice analitico 498

ELETTROMAGNETISMO

Forza elettrostatica. Campo elettrostatico

capitolo

1

1.1 CARICHE ELETTRICHE. ISOLANTI E CONDUTTORI

Tra le interazioni fondamentali esistenti in natura la prima ad essere scoperta e studiata quantitativamente è stata l'interazione gravitazionale, responsabile di gran parte dei fenomeni che si osservano su scala macroscopica nell'universo. Il moto dei pianeti attorno al sole come il moto rispetto alla terra, sia di un corpo qualsiasi che di un satellite artificiale, sono regolati dalla *legge di Newton*, figura 1.1, che fornisce, per il modulo della forza gravitazionale, l'espressione

$$F_g = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} : \quad (1.1)$$

due corpi di masse m_1 e m_2 , posti a distanza r molto grande rispetto alle dimensioni dei corpi stessi, interagiscono con una forza attrattiva la cui intensità è proporzionale al prodotto delle masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza.

Le masse dei corpi, da cui dipende l'interazione, possono essere assunte eguali alle masse inerziali, cioè a quelle che compaiono nelle legge del moto $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$. La costante $\gamma = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$, che descrive l'intensità dell'interazione, è *universale*: il suo valore è indipendente sia dal valore che da qualsiasi altra caratteristica delle masse interagenti.

Un'altra *interazione* fondamentale, che gioca un ruolo essenziale nella costituzione della materia, è quella *elettromagnetica*, le cui leggi vennero formulate in modo quantitativo tra la fine del settecento e la metà dell'ottocento. Un aspetto particolare dell'interazione elettromagnetica è la **forza elettrica**: le sue proprietà costituiscono l'argomento dei primi capitoli di questo volume.

L'osservazione di fenomeni legati alla forza elettrica, ovvero di natura elettrica, risale al settimo secolo a.C., quando si scoprì che l'ambra, l'ebanite e altri materiali, strofinati con un panno di lana, acquistano la proprietà di attirare corpuscoli leggeri, quali granelli di polvere e pagliuzze. Queste osservazioni, tramandate inalterate per oltre venti secoli, vennero riprese nel sedicesimo secolo da W. Gilbert il quale, attraverso un'analisi sistematica, individuò tutta una serie di sostanze, dal diamante al vetro e allo zolfo, che presentano lo stesso comportamento. Egli chiamò *elettrizzati* i materiali che acquistavano la proprietà di attirare i corpuscoli leggeri e *forza elettrica* la forza che si manifestava (dal termine *electron*, che è il nome greco dell'ambra).

Oggi noi attribuiamo le forze in parola a **cariche elettriche**, che preesistono nei corpi e che passano da un corpo all'altro durante lo strofinio, per cui i corpi elettrizzati si chiamano anche *eletticamente carichi*.

Legge di Newton

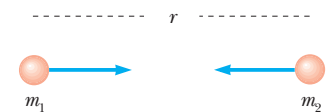


Figura 1.1

Forza gravitazionale tra due masse puntiformi.

Forza elettrica

Carica elettrica

Isolanti e conduttori

Questi corpi che si caricano per strofinio sono detti **isolanti**, in quanto capaci di trattenere la carica elettrica, mentre altri, come ad esempio i metalli e il corpo umano stesso, non trattengono la carica e sono detti **conduttori**; in effetti, se proviamo a strofinare con un panno una bacchetta di metallo, constatiamo che essa non si elettrizza.

Il metodo dell'elettrizzazione per strofinio può essere applicato sistematicamente a un gran numero di materiali *isolanti*, tra cui anche i materiali sintetici attualmente disponibili (bachelite, plexiglass, materie plastiche in generale), con i seguenti risultati che rivestono carattere generale:

- esistono due specie di materiali isolanti, quelli che si comportano come il vetro e quelli che si comportano come la bachelite;
- tra due bacchette elettrizzate della medesima specie (entrambe tipo vetro o entrambe tipo bachelite) si manifesta sempre una forza repulsiva, figura 1.2a;
- tra due bacchette elettrizzate di specie diversa (una tipo vetro e l'altra tipo bachelite) si manifesta sempre una forza attrattiva, figura 1.2b;
- una forza attrattiva si manifesta in ogni caso tra la bacchetta di isolante e il materiale con cui è stata elettrizzata per strofinio.

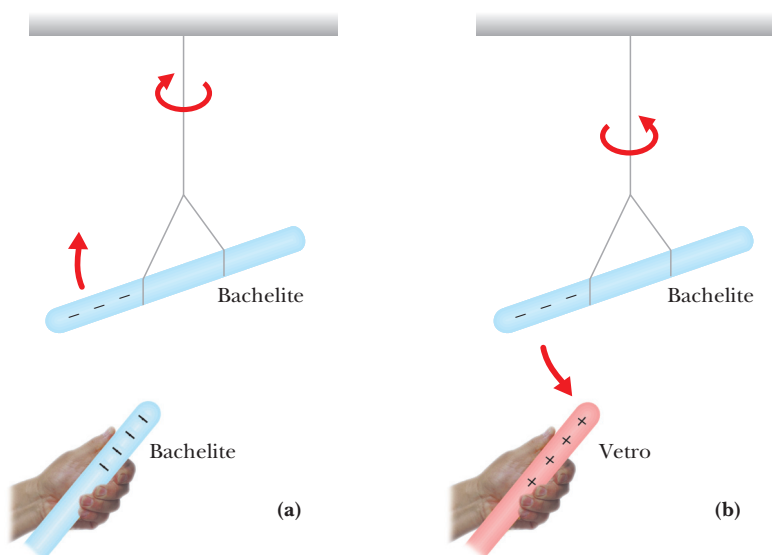


Figura 1.2

Forza tra due bacchette cariche dello stesso segno (a) e di segno opposto (b).

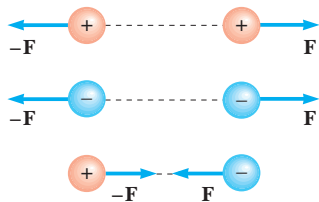


Figura 1.3

Forza tra due cariche elettriche puntiformi.

Da questo insieme di fatti sperimentali si deduce che esistono *due* diversi *tipi di cariche elettriche*; per convenzione è stata chiamata *positiva* la carica che compare sulla superficie delle sostanze tipo *vetro* quando vengono elettrizzate, mentre è stata chiamata *negativa* la carica che compare sulla superficie delle sostanze tipo *bachelite*. Possiamo allora sintetizzare così i risultati precedenti:

- due corpi isolanti carichi entrambi positivamente o entrambi negativamente si respingono;
- un corpo isolante carico positivamente e uno carico negativamente si attraggono;
- nel processo di carica per strofinio i due corpi, la bacchetta di isolante e il panno, acquistano sempre una carica di segno opposto.

La carica che si accumula per strofinio sugli isolanti si mantiene per tempi considerevoli, specialmente se l'aria nell'ambiente in cui si opera è secca.

Invece, come abbiamo già rilevato, non è possibile caricare per strofinio una bacchetta di metallo tenendola in mano, come si fa con le bacchette di isolante. Gli effetti di elettrizzazione si osservano però se la bacchetta di metallo è sostenuta da un supporto di materiale isolante e in tal caso il comportamento dei metalli è simile a quello degli isolanti.

L'assenza di elettrizzazione se non si adotta la suddetta precauzione si spiega col fatto, già ricordato, che i metalli e il corpo umano sono conduttori, cioè permettono il movimento della carica elettrica accumulatasi durante lo strofinio, a differenza di quanto avviene negli isolanti. Dal punto di vista di questi esperimenti hanno caratteristiche di conduttori anche il suolo, svariati liquidi tra cui l'acqua e anche l'aria umida. Allora, dalla bacchetta di metallo tenuta in mano e strofinata la carica si disperde (molto rapidamente) nel corpo umano e, se possibile, nel suolo; analogamente, in una giornata umida un corpo isolante carico mantiene meno facilmente la carica, che tende a disperdersi (lentamente) nell'aria conduttrice verso i corpi circostanti.

L'elettroscopio a foglie

L'**elettroscopio a foglie**, mostrato in figura 1.4a, è il primo strumento costruito per rivelare e riconoscere lo stato (relativo) di carica. Esso è costituito da due foglioline metalliche molto sottili, d'oro o di alluminio, sospese ad una asticciola metallica. Allo scopo di proteggere le foglie da movimenti dell'aria che ne altererebbero la posizione queste sono contenute in un involucro di vetro; l'asticciola esce dall'involucro attraverso un tappo di ottimo materiale isolante, ad esempio ambra.

Se si tocca con una bacchetta carica l'estremità dell'asticciola, le due foglie acquistano dalla bacchetta tramite l'asticciola una data carica, dello stesso segno, per cui tendono a divergere. L'equilibrio statico di ciascuna foglia (figura 1.4b), caratterizzato da un certo angolo di deflessione α , si raggiunge quando è nulla la risultante di tutte le forze agenti sulla foglia, come discuteremo nell'esempio 1.4. Lo strumento può essere completato da una scala graduata per la misura dell'angolo α .

L'elettroscopio permette di riconoscere il segno relativo della carica dei corpi. Se ad esempio tocchiamo l'elettroscopio precedentemente caricato con una carica di un dato segno con una bacchetta carica con lo stesso segno la deflessione delle foglie aumenta, mentre se la carica della bacchetta è di segno opposto la deflessione diminuisce.

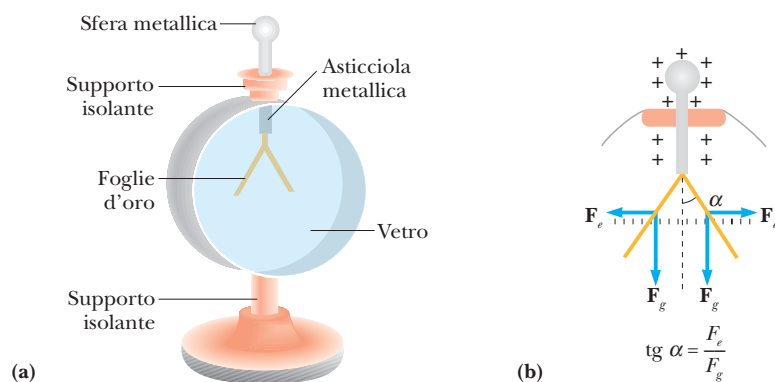


Figura 1.4

Elettroscopio a foglie d'oro (o alluminio) (a); equilibrio delle forze che agiscono sulle foglie di un elettroscopio carico (b).

1.2 STRUTTURA ELETTRICA DELLA MATERIA

I fenomeni descritti finora si spiegano in modo coerente con l'ipotesi della preesistenza delle cariche elettriche nei corpi, ovvero con l'ipotesi che i costituenti elementari della materia possiedono carica elettrica.

Protone, neutrone, elettrone

Per le nostre considerazioni possiamo dire che la materia stabile che ci circonda (corpi terrestri, pianeti, la nostra galassia) è formata da tre costituenti elementari, il **protone p**, il **neutrone n**, l'**elettrone e**.

La massa del protone, entro qualche permille, è eguale alla massa del neutrone e vale $m_p \cong m_n \cong 1.67 \cdot 10^{-27}$ kg; la massa dell'elettrone è $m_e \cong 9.11 \cdot 10^{-31}$ kg, circa 1840 volte più piccola della massa del protone e del neutrone (i valori precisi sono dati nella tabella 1.1 del paragrafo 1.3).

fermi

Sulla base dei dati sperimentali esistenti il protone e il neutrone hanno dimensioni dell'ordine di 10^{-15} m, cioè del *femtometro*, unità che in fisica nucleare è anche chiamata **fermi**. Con i mezzi di indagine attualmente disponibili si può affermare che le dimensioni dell'elettrone sono inferiori a 10^{-17} m: esso ci appare *puntiforme*, cioè privo di struttura interna.

Carica elementare

La carica elettrica dell'elettrone è la più piccola osservata sperimentalmente: essa è chiamata **carica elementare** ed è indicata con $-e$; il segno evidenzia l'assunzione che la carica dell'elettrone sia negativa. Il protone ha una carica positiva $+e$, eguale in valore assoluto a quella dell'elettrone, il neutrone invece ha carica elettrica nulla (è neutro).

Il carattere elementare della carica dell'elettrone è suffragato, oltre che dall'esperimento di Millikan (paragrafo 1.8), anche dal fatto che tutte le particelle subatomiche osservate hanno una carica che, in valore assoluto, è eguale alla carica elementare e oppure è multipla intera di questa. Questa situazione si esprime dicendo che la carica elettrica è una grandezza *quantizzata*.

I tre costituenti si aggregano in strutture che si chiamano **atomi**. Precisamente, un certo numero di protoni e neutroni, legati dall'**interazione forte** (un altro tipo di interazione fondamentale esistente in natura) costituiscono il nucleo dell'atomo, che risulta quindi carico positivamente; attorno al nucleo si muove un numero di elettroni, eguale al numero di protoni, sotto l'azione elettrica attrattiva esercitata dal nucleo. La configurazione di questi elettroni è determinata dalle leggi della meccanica quantistica ed è caratteristica del tipo di atomo.

La composizione di un atomo è descritta da due numeri:

Numero atomico Z

– il **numero atomico Z** che dà il numero di protoni ed elettroni esistenti nell'atomo;

Numero di massa A

– il **numero di massa A** = Z + N, somma del numero Z di protoni e N di neutroni che formano il nucleo dell'atomo.

Poiché il numero di protoni in ogni atomo è eguale al numero di elettroni, la carica elettrica totale, somma delle singole cariche, è nulla e l'*atomo* è *neutro*.

Le proprietà di massa di un atomo sono rappresentate dal numero di massa A; in effetti oltre il 99.9% della massa di un atomo è concentrato nel nucleo. Le dimensioni dei nuclei variano da 10^{-15} m (nuclei leggeri) fino a 10^{-14} m per i nuclei più pesanti; si è trovato sperimentalmente che il **raggio di un nucleo atomico** è dato con buona approssimazione dalla formula

Raggio del nucleo atomico

$$r = R_0 A^{1/3} \quad \text{con} \quad R_0 = 1.5 \cdot 10^{-15} \text{ m} .$$

La dipendenza da A è proprio quella attesa per una distribuzione uniforme di massa nel nucleo. Le dimensioni degli atomi sono dell'ordine di 10^{-10} m e coincidono con lo spazio entro cui si muovono gli elettroni.



ISBN 978-88-7959-478-3



9 788879 594783