1

Capitolo T85
sviluppi di idee della fisica

Contenuti delle sezioni

a. fisica e astronomia nell'antichità p. 2
b. recupero rinascimentale della scienza ellenistica p. 3
c. cinematica e dinamica classica p. 4
d. rifrazione, interferenza e diffrazione p. 5
e. prima rivoluzione industriale p. 6
f. natura e velocità della luce p. 7
g. termodinamica, energia, meccanica statistica p. 11
h. nozione di campo di forze p. 12
i. sviluppi dell'elettromagnetismo p. 13
j. scoperta dell'elettrone p. 14
k. raggi X e radioattività p. 15
l. nozione di nucleo atomico e primi modelli di atomo p. 16
m. quantizzazione dell'energia p. 18
n. fondamenti della meccanica quantistica p. 19

19 pagine

T85 0.01 Capitolo dedicato alla presentazione di un insieme di sviluppi che hanno portato al consolidamento delle conoscenze riguardanti quelle che riteniamo le più rilevati nozioni della fisica.

Vediamo per grandi linee l'atteggiamento assunto.

.....

T85 a. fisica e astronomia nell'antichità

T85 a.01 Sono rimasti pochi testi e mlte scuole non comunicavano

T85 a.02 ricerca iniziale a carattere filosofico magico con limitate possibilità di sperimentare
Talete, Anassimandro, Democrito, Epicuro, Empedocle

T85 a.03 Platone, Aristotele, le scuole

T85 a.04 L'influenza dei matematici (geometri, Eudosso, Euclide, Apollonio, logici)
Archimede, Eratostene, museion e biblioteca di Alessandria

T85 a.05 Ctesibio, Erofilo, scuola di Ippocrate

T85 a.06 Scomparsa delle scuole, rifugio in Bisanzio

T85 a.07 Cenno a India e Cina

T85 a.08 Eredità e innovazione presso gli arabi

T85 b. recupero rinascimentale della scienza ellenistica

T85 b.01 Derivazioni dagli arabi
Caduta di Costantinopoli e recupero delle conoscenze antiche

T85 b.02 Vivacità rinascimentale e innovazioni
Roger Bacon

T85 b.03 Problemi astronomici Kopernik, Brahe, Kepler,
telescopi, Galileo e seguaci

T85 c. cinematica e dinamica classica

T85 c.01 Galileo, Newton

T85 c.02 Cavendish

T85 c.03 Daniel Bernoulli, Eulero

T85 d. rifrazione, interferenza e diffrazione

T85 d.01 Snell, Huygens, lenti,

T85 d.02 Newton, strumenti ottici, telescopi, microcopi

T85 d.03 Young, interferometria

T85 e. prima rivoluzione industriale

T85 e.01 mulini e prime fabbbriche

T85 e.02 macchina a vapore e ferrovie

T85 e.03 navigazione a vapore

T85 f. natura e velocità della luce

T85 f.01 La natura della luce ha costituito fin dall'atichità uno dei maggiori problemi dello studio della natura che ci circonda.

Ora sappiamo che i fenomeni luminosi percepibili dagli uomini sono dovuti a una ben definita parte delle radiazioni elettromagnetiche, ma nel passato sono state avanzate molte congetture contrastanti che sono state accompagnate da intensi dibattiti con toni dai puramente speculativi a quelli più documentati e scientifici, in relazione alla crescente disponibilità di dispositivi sperimentali e di strumenti matematici.

Una prima teoria della luce è stata avanzata da Empedocle nel V secolo; egli riteneva che i fenomeni luminosi fossero dovuti a movimento di qualcosa e quindi la luce si propagasse con velocità finita. Egli sosteneva anche la cosiddetta teoria dell'emissione: gli occhi emettono la luce che raggiunge gli oggetti visibili consentendo di percepirli.
Questa congettura fu prevalente nell'antichotà; in particolare fu accolta da Euclide e da Claudio Tolomeo.

Essa venne invece rifiutata da Alhazen che nel suo Libro sull'ottica del 1021 sostenne e fece prevalere la cosiddetta teoria dell'intromissione, secondo la quale la luce proviene da un oggetto visibile e giunge all'occhio comportando la sua percezione. Dunque la luce deve avere velocità finita, ma tanto grande da sfuggire ai sensi unmani; Alhazen sostenne inoltre che la sua velocità si riduce quando attraversa un mezzo trasparente, e tanto più quanto più il mezzo è denso.

Al Biruni poco dopo osservò che la velocità della luce è sicuramente molto maggiore delle velocità del suono.

prgf.02 Le idee di Alhazed sono state accolte in Europa nel secolo XII da Roger Bacon, ma la convinzione a favore della propagazione istantanea della luce è stata presente per molto tempo, in particolare nelle opere di Kepler e Cartesio.
All'opposto Fermat assumeva la finitezza della velocità della luce e la faceva entrare nella sua dimostrazione della legge di Snell sulla rifrazione.
I primi tentativi di misurazione di c, il simbolo adottato per la velocità della luce derivato dal termine latino *celeritas*, sono stati fatti con eperienze che seguivano uno schema proposto di Galileo nel 1638: un primo sperimentatore scopriva una lanterna, un secono posto a una distanza ragguardevole (1000 - 1500 metri) scopriva di conseguenza una sua lanterna e il primo osservatore misurava il ritardo della sua percezione del secondo evento: la brevissima durata dei due percorsi dei segnali luminosi non consentiva di valutare decentemente questo ritardo (valutabile in circa 10 milionesimi di secondo).

La prima stima di c con una verifica condivisibile della sua finitezza, è stata effettuata dal danese Romer nel 1676; egli ha misurato la differenza tra i due periodi di rotazione del satellite di Giove chiamato IO intorno al suo pianeta, periodi misurati quando a Terra si avvicina a Giove e quando se ne allontana. Combinando questa differnza di circa 20 minuti con il diametro dell'orbita della Terra Huygens ha ottenro una velocità i circa 220000 km/s.

Nel 1729 James Bradley ha scoperto l'aberrazione stellare, ossia il fatto che dalla Terra si vede una stella in una posizione che essa aveva occupato quando aveva emesso la radiazione che ha poi raggiunto l'osservatore terrestre dopo aver percorsa una lunga distanza.
Tenendo conto di questo svolgersi di eventi si è giunti a valutare la velocità della luce nello spazio in 301 000 000 m/s.

Newton nel 1704 ha osserato che la mancanza di colori nelle ombre delle eclissi osservate da Romer consentiva di affermare che la velocità della luce nello spazio è indpendente dalla frequenza.

prgf.03 Nella prima parte del secolo XIX Fizeau e Foucault hanno effettuato le prime misurazioni terrestri della velocità della luce.
Venivano misurati i tempi di percorrenza di un raggio pulsato ottenuto con una ruota dentata da Fizeau e con uno specchio (Foucault) posti in rotazione tra la sorgente, uno specchio riflettente distante e il dispositivo di osservazione ottenendo, risp., 315 000 km/s e 298 000 km/s.

Successivamente si ottennero valori di velocità simili per la velocità di scarica di una bottiglia di Leyda e per la velodella corrente elettrica in un conduttore di bassissima resistenza.
Nel 1865 Maxwell ha enunciato un sistema di equazioni, ora note come **equazioni di Maxwell**, che riuscivano a trattare unitariamente i vari fenomeni elettrici e magnetici conosciuti.
Esse hanno riconosciuto la nozione di campo di forze fisiche (nozione alla quale ha contributo anche Helmoltz e Lord Kelvin) e riguardano in perticolare il campo elettrico e il campo magnetico.
Inoltre queste equazioni hanno prevista l'esistenza di onde elettromagnetiche in grado di propagarsi nello spazio e attraverso opportuni mezzi; nel vuoto con la velocità c della luce.
Questo consentìa Maxwell nel 1868 di affermare che la luce fosse dovuta alla propagazione di onde di forze elettromagnetiche.
L'esistenza di queste onde è stata dimostrata sperimentalmente da Hertz negli anni 1887-1889.

Questo ha consolidato il successo delle equazioni di Maxwell ed ha avuto grande peso nella secolare diatriba tra chi sosteneva la natura corpuscolare della luce (come Newton) e chi sosteneva la sua natura ondulatoria (come Huygens).
A favore della teoria ondulatoria vanno citati gli studi e le realizzazioni riguardanti la rifrazione (Snell), la interferenza con la diffrazione (Thomas Young) e la polarizzazione.

Verso la fine del secolo XIX il modello corpuscolare era quindi prevalente; voa tuttavia osservato che altri fenomeni (radiazione del corpo nero, effetto Compton,) hanno portato nuovi argomenti a favore del modello corpuscolare della luce e che la diatriba ha trovato soluzione soddisfacente solo con lo sviluppo della fisica quantistica intorno a 1925.

T85 f.05 Nell'ultima parte del secolo XIX era opinione prevalente che tutte le onde (trasversali, acustiche, luminose e in generale le elettromagnetiche) per propagarsi avevano bisogno di un mezzo fisico.
Per le onde elettromagnetiche veniva ipotizzata l'esistenza di un etere mezzo materiale con debolissime interazioni con i comuni oggetti materiali e quindi molto sfuggente rispetto ai tentativi del suo riconoscimento sperimentale e delle sue misurazioni.
Questa ipotesi era stata avanzata fin dal secolo XVII da Robert Boyle che lo pensava costituito da particelle piccolissime ed era stata ampiamente accolta, in particolare da Huygens e da Newton.

Per la propagazione delle onde elettromagnetiche si parlava di etere liminifero invisibile ed elasico diffuso nell'intero universo e rispetto al quale la luce avrebbe velocità costante, pari a c nel caso di propagazione nel vuoto, ossia nel caso di assenza di ogni altro mezzo altrimenti osservabile.
Ogni corpo in movimento dovrebbe attraversare l'etere senza essere frenato, ma avrebbe dovuto percepire in qualche modo un "vento dell'etere".
Intorno al 1870 si pose quindi il problema di osservare questo vento dell'etere.

T85 f.06 In queste osservazioni si impegnò soprattutto il fisico statunitense di origine ebreo polacca Albert Abraham Michelson.

Egli intendeva misurare la differenza della velocità della luce osservata in percorsi in diverse direzioni in modo da riuscire a misurare la velocità della Terra rispetto all'etere che avrebbe dovuto valere circa 30 km/s.
I primi esperimento condotti nel 1981 non hanno mostrato alcuna differenza, ma questo è stato imputato alla scarsa precisione degli strumenti utilizzati.
successivamente Michelson, con l'aiuto di Edward Morley, ha costruito un dispositivo con una funzione di interferometro di grande precisione.
Con questo dispositivo un fascio di luce collimato viene diviso mediante uno specchio semiriflettente con una metà che prosegue nella direzione iniziale e l'altra metà che prosegue nella direzione ortogonale.
entrambi i raggi vengono riflessi da sspecchi posti a distanze lievemente diverse dallo specchio semiriflettente.
Qui i due raggi riflessi vengono ricomposti e inviati a un rilevatore in modo da formare su uno schermo finale delle fasce di interferenza.

T85 f.07 L'interferometro di M. permette di suddividere un fascio di luce in due fasci che seguono due cammini perpendicolari che vengono poi fatti convergere su uno schermo che consente l'osservazione accurata delle figure di interferenza.
Si dovrebbero avere diverse velocità di percorrenza dei diversi tratti dei percorsi. V. pag. A6, A7, A8, A9
Serie di osservazioni
Inizialmente egli perfezionò il metodo dello specchio rotante di Leon Foucault per la misura della velocità della luce e nel 1879 ottenne il valore di 299 910 $\pm$ 50 km/s.
Vento dell'etere che dovrebbe essere avvertite da parte di un osservatore in moto, in particolare da un osservatore sulla superficie della Terra

T85 f.08 Michelson con Morley dal 1887 ha lavora per rendere l'apparato interferometrico sempre più accurato.
Proseguirà a perfezionare il suo sistema fini al 1927

Al fine di ridurre al minimo il disturbo delle vibrazioni dovute all'ambiente circostante, l'interferometro viene montato su una pesante lastra di pietra posta a galleggiare su mercurio liquido; per confrontare le frange di interferenza ottenute con l'apparato nelle due orientazioni mutuamente ortogonali la lastra viene ruotata molto lentamente.
Per aumentare la precisione delle misure sulle frange si organizza il percorso della luce in modo da avere 8 spostamenti andata-ritorno.
Si opera con luce sia bianca che monocromatica con diverse frequenze.
Non si osserva alcuno spostamento e l'esito negativo delle esperienze viene dichiarato nel 1888?
Va notato che Michelson e Morley non hanno affermato la costanza di c, nè hanno cercato di spiegarla; hanno agito da fisici puramente sperimentali.

T85 f.09 I procedimenti per la misurazione di c sono stati continuamente perfezionati.
Michelson nel 1926 ha ottenuto una misura con l'incertezza di 12 milionesimi; nel 1950 esaminando una cavità risonante si è ottenuta l'incertezza di 0.14 milionesi; nel 1972 madiante interferometria laser incertezza di 6 miliardesimi.
Il fatto di conoscere c con una altissima precisione ha indotto, fin dal 1983, a considerare questa grandezza fondamentale; lo stesso è accaduto per l'unità di misura dei tempi.
I campioni adottati in precedenza per metro e secondo erano conosciuti con incertezze maggiori.

In situazioni analoghe si trovavano le altre 5 unità di misura fondamentali.
Nel 2019 il Sistema Internazionale ha deciso di assumere come fondamentali 7 grandezze fisiche dimensionalmente composite, ma giudicate di portata "universale" e note con precisioni molto elevate e in progressivo miglioramento.
In particolare si è deciso di assumere come unità di misura delle lunghezze/distaze il metro definito come durata di un certo numero, 9 192 631770, di periodi di oscillazioni della radiazione emessa con la transizione iperfina dallo stato fondamentale del Cesio 139: frequenza $\Delta_{Cs133} = 9192631770$ Hz.
Si è poi definito il metro, in quanto unità ddi misura delle lunghezze, come la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in una certa frazione di secondo, 1 / 299 792 458.
In tal modo si assume il valore $c = 299792458$ m/s.

T85 f.10 Il problema della spiegazione della indipendenza di c dal moto dell'osservatore è stato affrontato da importanti fisici teorici e matematici.
FitzGerald, Hendrik Lorentz, Henri Poincaré
Si era osservato anche la non invarianza delle equazioni di Maxwell rispetto alle trsformszioni di Galileo che nel caso di due osservatori in moto relativo uniforme nella direzione dell'asse x scriviamo

$$t' = t \quad , \quad x' = x + v_x\, t$$

Lorentz nel 1892 propone le formule di trasformazione con il suo nome che sonoin grado di garantire la indipendenza di c dall'osservatore.
Ancora nel caso di due osservatori in moto relativo uniforme nella direzione dell'asse x queste equazioni hanno la forma

$$t' = \gamma\left(t + \frac{v_x}{c^2}\right) \quad , \quad x' = \gamma(x - v_x\, t \quad , \quad y' = y \quad , \quad z' = z \quad ,$$

dove $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1 - {v_x}^2/c^2}}$ viene detto fattore di FitzGerald.
Evidentemente facendo tendere a 0 il valore del rapporto $\dfrac{v_x}{c}$ si ottengono le trasformazioni di Galileo; quindi la dinamica di Galileo-Newton va considerata una approssimazione per movimenti sensibilmente inferiori alla velocità della luce di una dinamica più precisa.

Nel 1905 Einstein fornisce una spiegazione che si basa fisico operativa che, dopo non poche difficoltà iniziali, sarà accettata da tutti i fisici.

T85 g. termodinamica, energia, meccanica statistica

T85 g.01 Necessità di conocere meglio le macchine a vapore alla base della prima rivoluzione industriale
Sadi Carnot, Clausius, Gibbs

T85 h. nozione di campo di forze

T85 h.01

azione a distanza? linee di forza di Faraday. Nozione di campo
Helmhotz, Maxwell

T85 i. sviluppi dell'elettromagnetismo

T85 i.01 elettrostatica Ampere, Coulomb, e Gauss;

T85 i.02 unificazione di elettricità e magnetismo, Faraday;

T85 i.03 formalizzazione unitaria di Maxwell con le sue dodici equazioni scalari ridotte a 4 vettoriali per opera di Heaviside

T85 j. scoperta dell'elettrone

T85 j.01 Le prime idee sulla esistenza dell'elettrone sono emerse dalle esperienze di Crookes sulla scarica elettrica in ambienti di gas rarefatti.
Si serve di cosiddetti tubi di Geissler (enwp), costruiti dal vetraio tedesco Heinrich Geissler

T85 j.02 Altre osservazioni sulla scarica nei gas a pressione tendenzialmente bassa effettuati da Eugen Goldstein (1886) distingue raggi catodici e raggi anodici.
Wilhelm Wien scopre come vengono deflessi da campi elettrico e magnetico; tiene presenti legge di Lorentz e legge di Newtom

$$\mathsf{F} \;=\; Q(\mathsf{E} + \mathsf{v} \wedge \mathsf{B}) \quad , \quad \mathsf{F} \;=\; m\mathsf{a}$$

ottenendo

$$\frac{m}{Q}\mathsf{a} \;=\; \mathsf{E} + \mathsf{v} \wedge \mathsf{B} \; .$$

T85 j.03 Successivamente J.J. Thompson effettua esperienze più precise ed efficaci e si serve di lastra fotografica per distinguere i diversi tipi di ioni. dagli elettroni. distingue elettroni e ioni negativi molto più pesanti precisa che $Q = ze$ con E carica dell'elettrone.
Distingue i diversi isotopi di diversi elementi
figura in `Mass-to-charge ratio (we)`
Riesce a calcolare il rapporto tra carica e massa dell'elettrone nel 1897.
Costruisce il primo spettrografo di massa facendo nascere una tecnica di indagine analitica molto feconda: la spettrometria di massa sccessivamente raffinata e differenziata e utili a molte attività di ricerca (chimica, farmacologia, biologia) industriali e alimentari.
Vengono anche distinte le masse di ioni con velocità paragonabili a c nel 1901, prima della loro spiegazione relativistica.

T85 j.04 Forte appoggio al corpuscolarismo, ossia all'idea che tutta la materia sia composta da particelle e che dai loro movimenti si possano spiegare tutti i fenomen fisici.

T85 k. raggi X e radioattività

T85 k.01 Scoperti facendo passare corrente eettrica in tubi a vuoto fin dal 1785 (Willima Morgan) e studiati da Humphry Davy e Michael Faraday. Poi Philip Lenard e Helmoltz, vari fotografi e tra questi Tesla
Nel 1895 Roentgen li individua lavorando con tubi di Crookes e di Lenard.
R. ha proposto di utilizzarli per radiografie mediche.

T85 k.02 Grande interesse immediato. Utilizzi clinici dal 1896, per una operazione chirurgica.
Presto si scopre la loro pericolosità.
Assimilati ai raggi gamma in quanto radiazioni elettromagnetiche
T85 k.03 Utilizzati in cristallografia da Max von Laue, Bragg

T85 k.04 Legge di Henry Moseley nel 1913 che collega frquenza a numero atomico del metallo emettente.
Uso in microscopia e in telescopia.

T85 k.05 Becquerel, Pierre Curie, Maria Sklodowska
Soddy

T85 I. nozione di nucleo atomico e primi modelli di atomo

T85 I.01 La scoperta dell'elettrone con lo studio dei raggi catodici e gli studi della radioattività hanno reso insostenibile la indivisibilità degli atomi e ha posto in primo piano il problema della struttura interna degli atomi.
Lo stesso J.J. Thompson ha pensato agli elettrono come componenti usuali degli atomi e portatori della corrente elettrica quando in grado di staccarsi dal proprio atomo.
Immagina quindi nel 1905 un modello di atomo normale, ossia non ionizzato, simile a un "budino" preferibilmente sferico che contiene al suo interno un certo numero di elettroni negativi che contribuiscono per meno di un millesimo alla sua massa e presentano una carica positiva diffusa in modo da risultare neutri.
Questo modello risultava insoddisfacente in quanto non si trovava una sua rapprrentazione quantitativa che lo rendesse stabile.
Una alternativa suggestiva fu proposta dal giapponese Hantano Nagaoka: l'atomo veniva assimilato a Saturno ciscondato dagli elettroni con traiettorie assimilabili agli anelli del pianete; anche questo modello non riusciva a dimostrarsi stabile.

T85 I.02 Il problema viene affrontato da Ernest Rutherford, studioso delle radiazioni alfa (che aveva scoperto nel 1899), beta, gamma e X; egli
Si sapeva che le particelle alfa sono dotate di carica positiva tale da equilibrare due elettroni e massa all'incirca quadrupla di quella dell'atomo di idrogeno (poco si sapeva degli atomi di elio). Egli aveva dimostrato che queste radiazioni provengono dalla disintegrazione di atomi evidentemente instabili.
Si osservo' che le particelle beta muovendosi in un mezzo subivano varie successive piccole deflessioni, mentre le particelle alfa subivano singole deflessioni molto marcate.
Questo era spiegabile pensando che gli atomi del mezzo con i quali le particelle alfa interagivano presentava una carica concentrata al centro del suo atomo
Dal 1906 collabora con Hans Geiger ed Ernest Marsden (1908-1913) Riescono a costruire contatore di particelle cariche (che si evolverà nel contatore di Geiger-Mueller destinato ad essere ampiamente usato) e a misurare la carica delle particelle alfa.
Lanciando particelle alfa emesse dal radio su un sottilizzimo foglio di metallo (in particolare oro) esse subiscono deviazioni anche molto marcate, superiori ai 90°.
Questo contraddiceva il modello di Thompson.
Fu allora proposto da Rutherford il modello che vedeva la massa e la carica positiva concentrata in quello che venne chiamato "nucleo atomico", modello che nel 1913 fu dimostrato in grado di spiegare lo scattering sia delle particelle alfa che delle beta.
Questo segna la nascita delle fisica nucleare e l'inizione della utilizzazione delle collisioni tra particelle come metodo di indagine principale per lo studio dei sistemi atomici, subatomici e anche molecolari.

Robert Millikan (1909) scopre e misura la quantizzazione della carica elettrica
[:j] nozione di elettrone, Crookes, e tubi con gas a basse pressioni
fenomeni di luminescenza e fluorescenza J.J. Thompson, valutazione dei rapporti Q/m. rapporto e/m, elettroni vs. ioni; spettrometria
Millikan?

[:k] raggi X, Roentgen, applicazioni mediche etc
radioattività, raggi beta e gamma,

[:l] Rutherford, Geiger e Marsden (1908-1913) scoperta del nucleo atomico

primi modelli dell'atomo, esperienze di scattering

T85 m. quantizzazione dell'energia

T85 m.01 Corpo nero, Plank

T85 m.02 spettroscopia

T85 m.03 modello atomico di Bohr

T85 n. fondamenti della meccanica quantistica

T85 n.01 dualismo corpuscolo onda e De Broglie

T85 n.02
Heisemberg e principio di indeterminazione,

T85 n.03 Schroedinger, equazione e comprensione degli spettri;

T85 n.04 Dirac e teorie unitaria.

T85 n.05 prime sistematiche applicazioni alla chimica molecolare (Linus Pauling) e alla tavola di Mendelejeff

T85 n.06
applicazioni all'elettronica, Richard Feynmann

Testo fruibile in https://www.mi.imati.cnr.it/alberto/ e https://arm.mi.imati.cnr.it/Matexp/matexp_main.php