

Università di Udine, Facoltà di Scienze della Formazione
Corso di Storia della Scienza (12)
Einstein e la relatività
La meccanica quantistica



**Universitas
Studiorum
Utinensis**

Giorgio T. Bagni
 Dipartimento di Matematica e Informatica
 Università di Udine
bagni@dimi.uniud.it
www.syllogismos.it

L'eredità di Newton e di Maxwell

- “L’opera maxwelliana incontrò molte difficoltà a livello di accettazione. (...)
- Oggi è certamente più facile **riconoscere alla teoria del campo elettromagnetico classico un peso conoscitivo pari, se non superiore, a quello attribuibile alla meccanica newtoniana.** Lo stato delle scienze fisiche nel Novecento consente, in altri termini, di vedere che non è operazione retorica quella di trovare nei *Principia* del 1687 e nel *Treatise* del 1873 le radici prime della moderna conoscenza umana sull’Universo” (Bellone, 1990, p. 231).

L'eredità di Newton e di Maxwell


- “Lo sviluppo della fisica nei primi decenni del nostro secolo è ricostruibile solo a patto di **ricoscerne le radici classiche** e, nello stesso tempo, di capire che la scienza classica non fu una esercitazione formale destinata a infrangersi sugli scogli d’un crollo del metodo, ma costituì una forma innovativa della conoscenza umana” (Bellone, 1990, p. 9).
- In particolare, come vedremo, **i collegamenti tra la fisica classica e le evoluzioni del XX secolo devono essere correttamente intesi:** ad esempio, il valore dell’impostazione classica non viene “sminuito” dalla relatività o dalla meccanica quantistica.

La fisica all’inizio del XX secolo

- Meccanica classica.
- Struttura atomica e leggi chimiche.
- Descrizione accurata di fenomeni termici.
- Fenomeni elettromagnetici ed equazioni di Maxwell.
- Alcuni problemi aperti: righe spettrali; irraggiamento.
- Inoltre: nel 1887 **Michelson e Morley** dimostrarono sperimentalmente la non esistenza dell’etere cosmico e l’**indipendenza della velocità della luce dal moto dell’osservatore.**
- **Quest’ultimo dato creava problemi con l’approccio della meccanica classica.**

Einstein e la relatività

- **Albert Einstein** (1879-1955) introdusse la **meccanica relativistica** (relatività ristretta: 1905; relatività generale: 1915), secondo la quale la velocità della luce è una velocità limite.
- Le previsioni teoriche della meccanica relativistica furono confermate da accurate osservazioni sperimentali.



Einstein e la relatività

- Le trasformazioni di Lorentz, valide per la meccanica relativistica, hanno un collegamento teorico essenziale con l’elettromagnetismo di Maxwell.
- In particolare, si dimostra che **le equazioni di Maxwell non variano se trasformate mediante le trasformazioni di Lorentz.**



Einstein e la relatività

- I principi di conservazione dell'energia, della massa e della quantità di moto furono sostituiti da un **generale principio di conservazione** di energia-massa-quantità di moto, stabilendo l'equivalenza tra massa ed energia.
- **Principio fondamentale di invarianza:** le leggi naturali devono avere la stessa espressione matematica in tutti i sistemi di riferimento che si muovono di moto rettilineo uniforme.
- Il principio di invarianza è uno strumento analitico sulla base del quale è possibile distinguere le leggi fondamentali dalle altre affermazioni sulla natura (per le quali il principio stesso può non essere verificato).

Einstein e la relatività

- **“La relatività generale ha ottenuto il suo maggior successo nel campo della cosmologia**, un settore che può essere studiato solo parzialmente, se non per nulla, con la teoria gravitazionale newtoniana. Nel 1916 Einstein applicò la sua teoria gravitazionale all'universo nella sua globalità e dedusse un modello statico (che non presentava né espansione né contrazione).
- Altri cosmologi, che hanno seguito Einstein, hanno mostrato che la sua teoria **porta anche a modelli di universo non statico**, tra i quali un modello in espansione” (Motz & Weaver, 1991, p. 305).

Einstein e la relatività

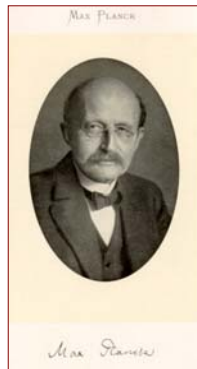
- “Nessun evento individuale nella storia della scienza ha avuto un così profondo effetto sul pensiero umano come l'enunciazione della teoria della relatività (...).
- La fusione dello spazio tridimensionale e del tempo unidimensionale in una varietà spazio-temporale quadridimensionale, richiesta dalla teoria della relatività, ha enormemente modificato la filosofia (...).
- Per tutto ciò che attiene alla fisica, la teoria della relatività sta sopra tutte le altre, essendo una specie di teoria fondamentale, in rapporto alla quale tutte le altre teorie devono essere commisurate” (Motz & Weaver, 1991, pp. 287-288).

Da Newton a Einstein

- **Einstein non ha “smentito” Newton:** l'impostazione relativistica ha solo preso in considerazione situazioni “estreme” delle quali la meccanica newtoniana non teneva conto.
- “Una legge scientifica ben stabilita non viene smentita dai progressi successivi, ma solo generalizzata, estesa cioè a condizioni più generali, delle quali la situazione precedente non rappresenta che un caso particolare. (...) Ogni legge fisica ha un suo ambito di validità all'interno del quale vale ed è sovrana, e al di fuori del quale perde colpi e non raggiunge il segno” (Boncinelli, 2004, p. 28).

Planck e la meccanica quantistica

- **Max Planck (1858-1947)**, si basò sui propri studi sull'irraggiamento del corpo nero e su studi (dovuti a Einstein) dell'effetto fotoelettrico.
- Stabilì che l'emissione di energia (luce, onde radio etc.) avviene in modo discontinuo per **quanti** sotto forma di fotoni.



Heisenberg e l'indeterminazione

- La meccanica quantistica **non consente la tradizionale descrizione del moto di masse puntiformi:** si limita a considerare la probabilità di trovare una singola particella in una posizione assegnata.
- Il **principio di indeterminazione di Heisenberg** sancì l'impossibilità di misurare simultaneamente due grandezze come posizione e velocità di una particella.
- Possiamo dire che ogni misurazione viene ad essere influenzata in termini decisivi dall'azione stessa dell'osservatore.



Heisenberg e l'indeterminazione

- “La difficoltà viene illustrata evidenziando che ogni «segnale» attraverso cui deve essere osservata la particella affinché possano esserne noti posizione e momento –per esempio una radiazione– **interferisce con lo stato della particella** (...) (una verità che è quasi banalmente ovvia negli esperimenti biologici).
- Una giustificazione migliore del principio di Heisenberg è affermare che esso deriva semplicemente dalle **equazioni della meccanica ondulatoria**: è un particolare aspetto di quella dualità onda-corpuscolo che è già paradossale. Come può infatti un'onda possedere una posizione e un momento precisi?” (Hall & Boas Hall, 1979, p. 402).



Oltre il determinismo

- La fisica classica si basava su di un'impostazione deterministica: l'evoluzione di un fenomeno poteva essere previsto, anche se tale previsione era ostacolata dalla molteplicità dei fattori in gioco.
- Le particelle subatomiche, invece, non hanno comportamenti singolarmente prevedibili: può essere previsto solamente il comportamento di “moltissime” particelle, poste nelle stesse condizioni e considerate tutte insieme.
- Dunque **il comportamento delle particelle subatomiche può essere descritto in termini probabilistici o statistici**.



La “rivoluzione” dei quanti

- È necessario sottolineare ancora una volta il rapporto tra la nuova teoria introdotta e la scienza precedente:
- “Per quanto grande e significativo sia stato il cambiamento concettuale introdotto dalla teoria quantistica, e nessuno lo può negare, non c'è stata nessuna falsificazione di conoscenze scientifiche precedenti, ma solo un loro ampliamento e completamento. (...) **La fisica della fine dell'Ottocento era incompleta, ma non sbagliata**. Serve infatti egregiamente anche oggi per risolvere la maggior parte dei compiti che si possono presentare” (Boncinelli, 2004, pp. 32 e 33).



Einstein e Planck

- La teoria della relatività e la teoria dei quanti fissano un punto di svolta per la fisica contemporanea:
- “Verso la fine del XIX secolo l'universo sembrava essere costituito da due entità distinte che interagivano tra loro ma assai diverse qualitativamente: **particelle e campi**.”
- Le particelle (per esempio elettroni e protoni) sono localizzate nello spazio e costituiscono tutta la materia dell'universo, mentre i campi non sono localizzati ma diffusi come onde e possono essere considerati pura energia” (Motz & Weaver, 1991, p. 436).



Einstein e Planck

- Questa dicotomia tra particelle e campi fu però annullata da Max Planck e Albert Einstein i quali scoprirono che il campo elettromagnetico si comporta sia come un fascio di particelle (fotoni) sia come un treno d'onde e diedero così inizio al **dualismo onda-corpuscolo**, ora alla base di tutta la fisica. Questo dualismo fu poi definito negli anni '20 con la scoperta del fatto che le particelle (...) hanno proprietà ondulatorie.
- Il cerchio si chiuse con la definizione di **un'unica disciplina fisico-matematica, la meccanica quantistica, per trattare particelle e campi**” (Motz & Weaver, 1991, pp. 436-437).



Gli ultimi cinquant'anni

- “La fisica, dopo la seconda guerra mondiale, ha (...) investito **un arco di problemi quanto mai vasto**, che va dalla cosmologia alla biofisica, dall'analisi delle particelle elementari allo studio dello stato solido, dalla teoria dell'informazione alla biochimica.
- Teorie come quella della relatività ristretta, che all'inizio del secolo stupiva molti intellettuali per l'audacia delle trasformazioni che essa implicava, sono ormai inglobate, oggi, in settori applicativi facenti parte dell'ingegneria.
- Nello stesso tempo **gli sviluppi dei metodi matematici e della tecnologia sperimentale** fanno intravedere nuovi orizzonti di lavoro” (Bellone, 1990, p. 405).

**A tutti grazie
dell'attenzione**

