

## I Principi della Relatività e della Meccanica Quantistica

Carlo Cosmelli

Dipartimento Fisica, Sapienza Università di Roma

### Il Corso proposto

Con questo corso ci si propone di offrire ai Docenti di Fisica delle scuole superiori un mini-corso di aggiornamento che possa fornire loro le basi linguistiche e concettuali dei Principi della Relatività, della Meccanica Quantistica e di alcuni dei maggiori problemi nati dagli sviluppi della Scienza moderna nell'ultimo secolo. E' noto come qualunque trattazione approfondita dei principali temi delle Scienze Naturali, ed in particolare della Fisica del XX secolo non possa fare a meno di un apparato matematico che si è fatto sempre più determinante per una completa comprensione dei fenomeni trattati; ed è anche ovvio come non sia possibile proporre, nelle scuole, lezioni che prevedano conoscenze matematiche al livello richiesto per una trattazione formale e completa degli argomenti. Sorge quindi il problema di unire due esigenze a prima vista incompatibili: l'esigenza di limitare al massimo la trattazione matematica, e quella di mantenere uno stretto rigore concettuale.

L'idea che sta alla base di questo Corso è che questa caratteristica può essere soddisfatta focalizzandosi sulla spiegazione e discussione dei principi di base, senza troppi riferimenti ad entità matematiche complesse, pur mantenendone il significato concettuale. Quest'aspetto può essere discusso, una volta chiarito il significato dei termini di cui si parla, senza particolari approfondimenti formali, utilizzando le conoscenze di matematica che dovrebbero essere il patrimonio comune di ogni studente di scuola superiore, unite ad alcune nozioni supplementari che verranno introdotte al momento. Le principali conseguenze dei Principi trattati possono essere così raccontate e spiegate nelle loro linee generali per trasmettere come la Relatività e dalla Meccanica Quantistica abbiano cambiato la nostra visione del mondo, entrando quotidianamente nella nostra vita.

### Struttura del corso

Il Corso si articolerà in quattro pomeriggi della durata indicativa di quattro ore. Durante ogni pomeriggio si terranno due lezioni, dando spazio a discussioni e chiarimenti sui temi trattati.

Alla fine di ogni lezione verrà proposto un questionario di autovalutazione da fare a casa.

### Programma delle lezioni.

#### 1. Lezione: Il punto della situazione

- 1.1. Il XX secolo: nascono due nuove teorie fisiche.  
Il punto della situazione.  
La scienza agli inizi del '900.
- 1.2. Alcune cose non tornano  
La velocità della luce.  
Magnetismi e correnti elettriche.
- 1.3. Il problema delle asimmetrie nei fenomeni elettro-magnetici  
Altre cose che non tornano.  
Le soluzioni a questi problemi.  
Elettromagnetismo e luce.

 Homework #1

#### 2. Lezione: La teoria della Relatività Speciale

- 2.1. A. Einstein 30.6.1905.  
Trasformazioni di coordinate.

- Sistemi di riferimento.  
SdR inerziali.  
La relatività di Galileo.
- 2.2. Relatività Speciale 2  
I principi della RS.  
Lo spazio tempo di Minkowski.  
Le trasformazioni di Lorentz.  
Come cambia il mondo.
- 2.3. Relatività Speciale 3  
Contrazione delle lunghezze.  
Dilatazione dei tempi.  
Il mistero dei mesoni mu.

 *Homework #2*

**3. Lezione:  $E=mc^2$  e la Relatività Generale**

- 3.1.  $E=mc^2$ .
- 3.2. Un problema difficile: la gravità  
Massa Inerziale e Massa Gravitazionale.  
L'ascensore di Einstein.  
Il Principio di Equivalenza.  
Lo spazio-tempo curvo.
- 3.3. Lo spazio-tempo è curvato dalle masse.  
Le equazioni di Einstein.  
La metrica. Le geodetiche.  
Le conseguenze su tempi e lunghezze.  
Effetti misurabili e quotidiani.

 *Homework #3*

**4. Lezione: Gli inizi della meccanica quantistica.**

- 4.1. Fatti che non tornano, o che non si spiegano.  
Spettri di emissione e di assorbimento.
- 4.2. M. Planck e A. Einstein  
19 ottobre 1900: nasce la MQ – M. Planck.  
Lo spettro del corpo nero.  
La radiazione è scambiata per quanti indivisibili.  
17 marzo 1905 – A. Einstein – L'effetto fotoelettrico.  
1912 N. Bohr – Le orbite atomiche sono quantizzate.
- 4.3. de Broglie - Le particelle sono anche onde.  
1924 - de Broglie: la lunghezza d'onda associata a ogni particella.  
Onde. Effetti strani delle onde. Diffrazione e interferenza.  
de Broglie spiega la quantizzazione delle orbite atomiche.

 *Homework #4*

**5. Lezione: La MQ, passi successivi nella costruzione della teoria.**

- 5.1. La funzione d'onda, com'è.  
Perché spesso non si vedono gli effetti quantistici.  
E. Schrödinger e W. Heisenberg, gli ultimi tasselli della teoria, per il momento.
- 5.2. La funzione d'onda, come funziona.  
La Funzione d'onda e la probabilità.  
L'ampiezza di probabilità.  
L'equazione di Schrödinger.
- 5.3. Il Principio di Indeterminazione – Le due fenditure.  
1927: W. Heisenberg, il rifiuto della visualizzabilità.  
Qualche calcolo.  
Un esperimento tipicamente quantistico: le due fenditure.

Proiettili, Onde ed Elettroni contro due fenditure.

✧ Homework #5

## 6. Lezione: Ancora le due fenditure – L'effetto tunnel - Il gatto

- 6.1. L'interferenza di un elettrone con se stesso.  
Heisenberg e le due fenditure: non posso sapere da dove è passato l'elettrone.
- 6.2. La funzione d'onda e la misura - L'effetto tunnel.  
Come "funziona" la f.d.o.?  
L'effetto tunnel.
- 6.3. La sovrapposizione delle soluzioni.  
Il gatto di Schrödinger.

✧ Homework #6

## 7. Lezione: Einstein, Podolski e Rosen mettono in crisi la MQ.

- 7.1. 25 marzo 1935 - La meccanica quantistica è completa?  
La polarizzazione della luce.  
Il polarizzatore.  
Il polarizzatore se ho un solo fotone.
- 7.2. Autovalori e autostati.  
La funzione d'onda di due stati sovrapposti.
- 7.3. Misure ideali con due fotoni  
Stati entangled (interlacciati).  
Realismo e località.  
L'argomento EPR.  
Le necessarie conclusioni: La MQ è incompleta.

✧ Homework #7

## 8. Lezione: J. Bell

- 8.1. 1964 – J. Bell propone un esperimento per verificare la località della realtà.  
Le previsioni di Bell.
- 8.2. La realtà (talvolta) non è locale  
1982 – A. Aspect fa l'esperimento  
La realtà, talvolta, non è locale.  
La MQ è completa.  
Cosa ci si può fare con dei fotoni interlacciati.
- 8.3. Un piccolo riassunto di quello che abbiamo fatto.  
La visione del mondo.  
Il modello standard.  
La cosmologia.

✧ Homework #8

## 🔗 Testi e materiale di riferimento

- In rete, sul sito del Docente, si possono scaricare alcune dispense relative ad un Corso analogo (Principi di Fisica) tenuto per gli studenti del Corso di Laurea in Filosofia della Sapienza.
- Sempre in rete, dal 24 febbraio, ci si può iscrivere (gratuitamente) al Corso “Come la Relatività e la Meccanica Quantistica hanno cambiato la nostra visione del Mondo”. Il Corso, della Sapienza, è inserito nella piattaforma COURSEERA.
- Un buon libro di “divulgazione”, ma estremamente profondo e corretto nella trattazione della MQ è il testo scritto da S.A. Camejo, quando aveva 18 anni, *Il bizzarro mondo dei quanti*, Springer (2008).
- Il miglior testo in assoluto se si vogliono capire a fondo i problemi concettuali legati alla descrizione che la MQ dà del nostro mondo è: G. C. Ghirardi, *Un’occhiata alle carte di Dio*, Il Saggiatore (2009).
- Per quel che riguarda la definizione di termini, voci, formule....guardare la voce corrispondente su Wikipedia.

**Carlo Cosmelli, Fisico sperimentale**, si laurea alla Sapienza con un magnetometro superconduttore per lo studio dell’emoglobina. Collabora con il gruppo di E. Amaldi sulla ricerca delle Onde Gravitazionali. L’anno di Ustica e di Reagan lavora negli USA, a Washington DC, al ritorno diventa ricercatore. Vince un concorso da Professore Associato all’Università di Salerno dove trascorre cinque anni in una delle case arroccate sul porticciolo di Vietri sul Mare insieme ad altri cinque fisici. Torna alla Sapienza dove crea un piccolo gruppo per studiare la non località della realtà macroscopica. Recita ne *“I Fisici”* di Dürrenmatt, nella parte di Möbius, ne *“Vita di Galileo”* di Brecht, nella parte del secondo astronomo, di un pretino, e dell’individuo losco, in un frammento di *“Antigone”* di Brecht nella parte del coro e della guardia.

Per tre anni collabora con GEO&GEO, su RAI3, per proporre esperimenti di fisica a basso costo. Gli esperimenti sono in rete, scaricabili gratuitamente, sul suo sito.

Attualmente si occupa di computazione quantistica (Qubit superconduttori), decadimento doppio beta senza neutrini ( $2p \rightarrow 2e + 2n$ ) nell’esperimento CUORE dell’INFN sotto il Gran Sasso, e rivelazione di fotoni tramite kids (Esperimento CALDER). E’ autore di circa 100 pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali con referee, e di materiale divulgativo e di orientamento alla scelta della Facoltà universitaria che ufficialmente non vale nulla.

Docente di Fisica 2 per la Laurea in Ingegneria Energetica e del Corso “Principi di Fisica” (Corso di Laurea in Filosofia) per un eroico drappello di studenti della Facoltà di Lettere e Filosofia della Sapienza. E’ responsabile del progetto *“Intrecci di stili linguistici: etica e correttezza della comunicazione scientifica”* finanziato dalla Sapienza. Dal 2013 tiene un corso di Laboratorio di Scienza e Teatro per gli studenti del DASS e/o della Sapienza. A Settembre 2013 lo spettacolo è stato rappresentato per la Notte della Ricerca per un pubblico di circa 950 persone.

## 🔗 Riferimenti in rete

- Sito Carlo Cosmelli  
<http://www.roma1.infn.it/exp/webmqc/cosmelli.html>
  - Cercare: News Studenti di Filosofia
- Link COURSEERA: <https://www.coursera.org/sapienza>
- INFN – particelle: [http://www.infn.it/multimedia/particle/paitaliano/summary\\_sm.html](http://www.infn.it/multimedia/particle/paitaliano/summary_sm.html)
- INFN – Divulgazione:  
[http://scienzapertutti.infn.it/index.php?option=com\\_content&view=frontpage&Itemid=1](http://scienzapertutti.infn.it/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=1)
- Uni Pisa, Fisica moderna (avanzato). [http://www2.ing.unipi.it/~a004361/FISICA\\_MODERNA/](http://www2.ing.unipi.it/~a004361/FISICA_MODERNA/)