

Elaborati triennali - Fisica teorica

Mattia Bruno

January 8th, 2026

Quantum Field Theories

How to describe correctly the interaction between electrons and photons, respecting Quantum Mechanics and Special Relativity?

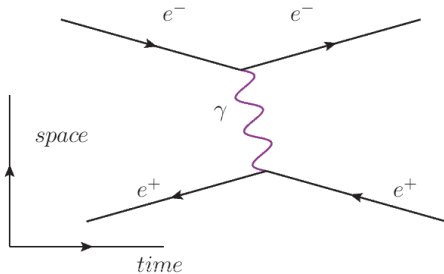
- ▶ Maxwell's eqs: classical field theory for electromagnetism
- ▶ Relativistic invariance
- ▶ Particle creation/destruction

QFT is ordinary QM formulated in a relativistically invariant way and applied to continuous fields

Symmetries play a fundamental role: interactions among particles generated from particular internal symmetries

Interactions among particles

Feynman (Nobel '65): graphs and path-integral formulation
particles “talk” by exchanging virtual particles (bosons)



Quantum Electrodynamics first QFT, opened the path to “larger” theories [Theoretical Physics I and II](#), [Quantum Field Theory I and II](#)

Standard model of particles

	1 st	2 nd	3 rd		
Quarks	u up	C charm	t top	γ photon	H Higgs Boson
	d down	s strange	b beauty	W^{\pm} W boson	
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	Z^0 Z boson	
	ν_e neutrino electron	ν_{μ} neutrino muon	ν_{τ} neutrino tau	g gluon	
				Gauge Bosons	

(known) elementary particles: but only a few in ordinary matter
the others unstable, created at colliders, short-lived

e.g. μ lives for 2 millionths of a second

→ are there other unknown particles and forces?

Masses: electron approx. $10^{-29}g$

and muon x200 electron ... and top quark x2000 muon!

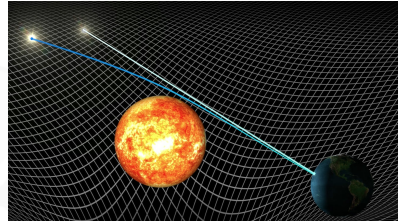
→ why such a large difference/hierarchy?

... and many more open questions ...

General relativity

Geometrical interpretation of gravity

- ▶ Precession of the perihelion of Mercury's orbit
- ▶ Deflection of light by the Sun
- ▶ Gravitational redshift of light



Einstein's equation

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

Black holes and Schwarzschild solution, gravitational waves ...

Several advanced topics - I

- ▶ Statistical ensembles, phase transitions, critical phenomena ...
Statistical mechanics
- ▶ Numerical integration, Monte Carlo methods, simulation of quantum system...
Theoretical Computational Physics Lab
- ▶ Foundations and applications of electroweak and strong interactions ...
Theory and phenomenology of fundamental interactions
- ▶ Formulation and applications of effective field theories ...
Effective field theories and non-perturbative methods for particle physics

Several advanced topics - II

- ▶ Theory of groups and their representations, Lie Algebras and their classification ... [Mathematical methods for Physics](#)
- ▶ Entanglement, Bell's inequalities, quantum algorithms ... [Theory of quantum information and quantum computing](#)
- ▶ Black hole thermodynamics, Hawking radiation, holographic principle ... [Quantum gravity](#)
- ▶ Riemannian and complex manifolds, differential forms, notion of topology ... [Geometrical methods for theoretical physics](#)

Research groups

- ▶ Non-perturbative quantum field theories: aka lattice group
M. Bruno, M. Cé, M. Dallabrida, L. Giusti, M. Pepe (INFN)
- ▶ Perturbative quantum field theories: aka collider pheno group
S. Alioli, C. Oleari, E. Re, L. Rottoli
- ▶ String theory and Planck-scale physics: aka string group
A. Belin, S. Pasquetti, S. Penati, A. Zaffaroni, A. Tomasiello (Dip. Matematica), N. Mekareeya (INFN)

Elaboratori teorici triennale

Tipicamente gli argomenti di fisica teorica sono compilativi o computazionali

- ▶ **tesi compilativa**
lo studente, con una certa autonomia, approfondisce un argomento particolare e ne scrive una breve trattazione, includendo (laddove necessario/possibile) risultati sperimentali recenti con la relativa discussione.
- ▶ **elaborati computazionali**
lo studente, con una certa autonomia, approfondisce un problema di natura classica, quanto-meccanica o statistica attraverso l'utilizzo di algoritmi numerici sviluppati al computer

List of topics - I

A list of possible topics is collected in a shared document, accessible from the Dept. webpage at

DIDATTICA

- Corsi di studio
 - Corso di Laurea triennale in Fisica
 - Argomenti per la prova finale del terzo anno
 - Fisica Teorica
 - Consulta l'elenco dei possibili argomenti

Direct link available here

<https://www.fisica.unimib.it/it/didattica/corsi-studio/corso-laurea-triennale-fisica/argomenti-prova-finale-del-terzo-anno/argomenti-prova-finale-del-terzo-anno-fisica-teorica>

List of topics - II

A1	ARGOMENTI PER LA PROVA FINALE DEL TERZO ANNO - FISICA TEORICA				
	A	B	C	D	E
1	ARGOMENTI PER LA PROVA FINALE DEL TERZO ANNO - FISICA TEORICA				
2					
3	Titolo elaborato	Docente	Assegnazione	Sessione di laurea	Studente
4					
5	MECCANICA QUANTISTICA - elaborati compilativi				
6	Proprietà di analiticità della serie perturbativa in meccanica quantistica	Zaffaroni	assegnabile		
7	Il comportamento a grandi ordini della teoria perturbativa	Pasquetti	assegnabile		
8		Zaffaroni	assegnabile		
9	Istantoni in meccanica quantistica	Alioli	assegnabile		
10		Oleari	assegnabile		
11		Pasquetti	assegnabile		
12		Penati	assegnabile		
13		Re	data recentemente	marzo 2024	Fumagalli
14		Zaffaroni	assegnabile		
15	Integrale di cammino di Feynman in meccanica quantistica, in associazione con uno o più dei possibili argomenti associati:				
16	descrizione di Aharonov-Bohm col path integral	Penati	assegnabile		
17		Re	assegnabile		
18		Alioli	assegnabile		
19		Giusti	assegnabile		
20		Oleari	assegnabile		
21		Pasquetti	assegnata	settembre 2024	Andreose
22		Rapuno	assegnabile		
23		Zaffaroni	assegnabile		
24	stati metastabili	Alioli	assegnabile		
25		Giusti	assegnabile		
26		Re	assegnabile		
27		Oleari	assegnabile		
28		Pasquetti	assegnabile		
29		Penati	assegnabile		
30		Rapuno	assegnabile		
31		Zaffaroni	assegnabile		
32	decadimenti	Alioli	assegnabile		
33		Giusti	assegnabile		
34		Re	assegnabile		
35		Oleari	assegnabile		
36		Pasquetti	assegnabile		
37		Penati	assegnabile		

foto Gennaio 2025

Alcuni esempi

- ▶ Integrale di cammino di Feynman in meccanica quantistica, in associazione a un problema specifico
- ▶ Teoria (formale) dell'urto in meccanica quantistica, fase di berry, effetto Hall
- ▶ Soluzione numerica dell'eq. di Schroedinger in un generico campo elettromagnetico
- ▶ Il modello di Ising, transizioni di fase
- ▶ Problemi di meccanica classica: n pendoli, sistemi di Lorentz caotici, attrattori ...
- ▶ AI, quantum computing, integrabilità, teorie conformi, supersimmetria ...

Considerazioni e suggerimenti - I

- ▶ Gli argomenti elencati sono puramente indicativi. Ulteriori argomenti possono essere proposti dagli studenti e/o concordati di volta in volta con i docenti. Si consiglia anche di visitare le pagine personali dei docenti stessi.
- ▶ Gli studenti sono pregati di rivolgersi direttamente ai vari docenti e di discutere con loro gli argomenti dei possibili elaborati, verso il termine degli esami del triennio.
- ▶ Si consiglia inoltre di distribuirsi uniformemente tra i docenti disponibili.

Considerazioni e suggerimenti - II

- ▶ Lingua: italiano o inglese (qualora sufficiente dimestichezza)
- ▶ Ottima occasione per imparare \LaTeX
- ▶ Attenzione ai tempi. Non sottostimare i tempi richiesti dai docenti per leggere e correggere gli elaborati.
- ▶ Non sottostimare il riassunto in italiano e inglese. È molto importante e va consegnato con anticipo ai docenti per eventuali feedback/correzioni

Presentazione

La presentazione durante la vostra discussione in sede di Laurea è molto importante.

- ▶ Introdurre bene l'argomento, facendo capire che si possiede la visuale d'insieme del problema trattato. Questo è un punto importantissimo che non va tralasciato.
- ▶ Creare delle slide con molto testo o troppe equazioni rende difficile seguire l'esposizione
- ▶ Utilizzare figure, diagrammi, tabelle spesso è la chiave per trasmettere in maniera chiara un risultato o un concetto (spesso una figura vale più di mille parole)
- ▶ Assistere alle presentazioni di altri studenti è spesso utile ed informativo

Questions? Domande?

- ▶ per qualunque problema non esitate a scrivere al referente di indirizzo `mattia.bruno at unimib.it`