

# 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?

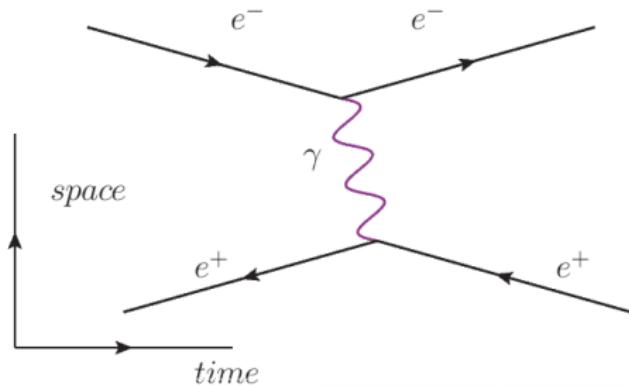
- ▶ Maxwell's eqs: classical field theory for electromagnetism
- ▶ Relativistic invariance
- ▶ Particle creation/destruction

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

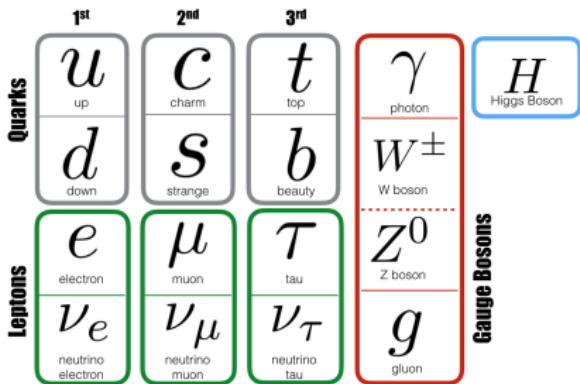
# Interactions among particles

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



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

e.g.  $\mu$  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!

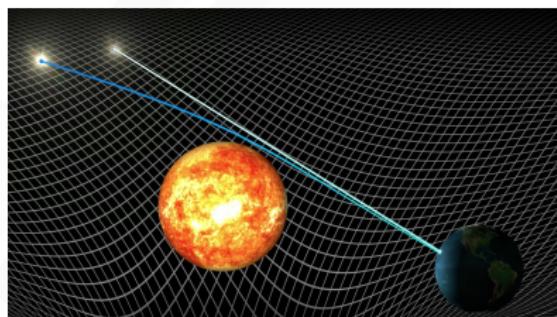
→ why such a large difference/hierarchy?

... 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-mecanica 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

| 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   | Docente   | Assegnazione      | Sessione di laurea | Studente   |  |
| 5   | <b>MECCANICA QUANTISTICA - elaborati compilativi</b>  |           |                   |                    |            |  |
| 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 |  |
| 14  |   | Zaffaroni | assegnabile       |                    | Fumagalli  |  |
| 15  | Integrale di cammino di Feynman in meccanica quantistica, in associazione con uno o piu' 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  |   | Rapuano   | 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  |   | Rapuano   | 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, integrabilitá, 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  $\text{\LaTeX}$
- ▶ 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