

## Abstract

The relentless quest for unraveling the true mechanisms that govern the Nature we observe and are part of have led physicists to rely on the adoption of fundamental principles. These assumptions have acted as a guiding light for the development of both theory and experiments since the moment in which Physics was born. Therefore, in order to further broaden the knowledge of the Universe surrounding us, it is natural to still have faith in the implications that a rational (though most of the times unexplainable) insight entails.

The aim of this thesis is to provide a self-contained analysis centered around some of the most important physical principles we currently have at our disposal: general covariance, equivalence principle and Heisenberg uncertainty relations. However, the attention is not exclusively focused on the relevant consequences of the aforementioned concepts, as we also insist on the possibility of going beyond them, thus allowing for the existence of a novel phenomenology which can only be unfolded by means of new physics. In this direction, we prove that intriguing perspectives for future investigations can be achieved in several ways. In particular, we show that:

- the requirement of general covariance fulfillment unambiguously leads to a theoretical check of the Unruh effect and to peculiar properties associated with the mixed nature of neutrinos in connection with the Unruh radiation;
- equivalence principle violation is a viable outcome both in the quantum realm and at finite temperature, thus showing that it might not be always valid at all regimes and regardless of the interaction of the studied system;
- Heisenberg uncertainty relations are not exact in the presence of a gravitational field, which induces modifications that become relevant at the Planck scale and that might in principle be revealed also at current energies.

Furthermore, we also remark that tests involving the Casimir effect are particularly sensitive and hence useful in the above frameworks, in that the measurable quantities related to it acquire a contribution that accounts for any violation/generalization of the aforementioned principles.

L'incessante ricerca per svelare i meccanismi che governano la Natura che osserviamo e di cui facciamo parte ha spinto i fisici a fare affidamento sull'utilizzo di principi fondamentali. Questi postulati hanno rappresentato una guida per lo sviluppo della teoria e degli esperimenti sin dalla nascita della Fisica. Pertanto, col fine di estendere ulteriormente la conoscenza sull'Universo che ci circonda, è naturale riporre la fiducia nelle implicazioni che una ragionevole assunzione comporta (sebbene essa possa sembrare il più delle volte inspiegabile).

Lo scopo della tesi si esplica nel fornire un'analisi autoconsistente legata ad alcuni dei più importanti principi fisici attualmente a nostra disposizione: covarianza generale, principio di equivalenza e relazioni di indeterminazione di Heisenberg. Tuttavia, l'attenzione non si incentra esclusivamente sulle importanti conseguenze dei suddetti concetti, dato che insistiamo anche sulla possibilità di superarli, contemplando quindi l'esistenza di una inedita fenomenologia spiegabile solo attraverso nuova Fisica. Ci sono diversi modi in cui un tale scenario può essere raggiunto. In particolare, nella tesi mostriamo che:

- la richiesta di covarianza generale conduce inevitabilmente a una verifica teorica dell'effetto Unruh e di proprietà peculiari legate alla natura ibrida dei neutrini appartenenti alla radiazione di Unruh;
- la violazione del principio di equivalenza può avvenire sia in regime quantistico che a temperatura finita, esibendo quindi come esso possa non valere sempre, indipendentemente dall'interazione del sistema studiato;
- le relazioni di indeterminazione di Heisenberg non sono esatte in presenza di un campo gravitazionale, il quale induce modifiche che diventano rilevanti alla scala di Planck e che in principio potrebbero essere rilevate anche alle scale attualmente raggiungibili.

Inoltre, evidenziamo che gli esperimenti che coinvolgono l'effetto Casimir sono particolarmente accurati e quindi adatti nei sopraccitati contesti, siccome le quantità misurabili associate a questo fenomeno acquistano un contributo extra che tiene conto di qualunque violazione/generalizzazione dei suddetti principi.