

## Ficha Trabajo Fin de Grado

Departamento:

FÍSICA APLICADA I

Título del tema:

Irreversibilidad en sistemas cuánticos

Plazas:

4

Objetivos:

Una de las características de la mecánica cuántica es que la información contenida en un sistema físico no se pierde bajo ninguna circunstancia. Este principio fundamental, que dimana de las reglas básicas que rigen la mecánica cuántica, genera algunas paradojas de difícil resolución. La más popular es la conocida como “paradoja de la información en los agujeros negros”, que, si bien es consecuencia de un proceso físico muy concreto y muy alejado de las experiencias habituales, está muy relacionada con las dificultades que nos encontramos para fundamentar la segunda ley de la termodinámica a partir de la teoría cuántica. En general, el incremento de entropía y la flecha del tiempo se explican considerando que el sistema físico en estudio pierde la información que contenía en el instante inicial y acaba relajando a un estado térmico, que puede describirse en función de unas pocas variables macroscópicas. Aunque esto no es un fenómeno físico real, sino una herramienta de gran utilidad a la hora de fundamentar la termodinámica, todavía sigue sin entenderse bien cómo, por qué y bajo qué circunstancias es lícito utilizar recurrir a ella. Por eso, y a pesar de que las leyes de la termodinámica fueron formuladas hace mucho tiempo, su fundamentación en base a leyes físicas fundamentales sigue sin estar completamente cerrada.

Motivado por lo anterior, el objetivo de este trabajo es analizar la relación entre la mecánica cuántica, los conceptos de entropía e información, y la irreversibilidad que caracteriza a cualquier proceso físico que tiene lugar en la naturaleza. Para ello, el alumno deberá familiarizarse, en primer lugar, con el estado actual de la disciplina, con sus bases físicas y con su terminología. A continuación, y dada la amplitud del tema, se centrará en una de las siguientes posibilidades, que constituyen distintas líneas de investigación activas, tanto teóricas como experimentales, en este campo:

- Procesos de no equilibrio en sistemas cuánticos: disipación y producción de entropía; diferencias con el régimen clásico.
- Fundamentación de la física estadística a partir de la mecánica cuántica.
- Entrelazamiento y entropía: cómo las correlaciones cuánticas pueden generar entropía y justificar el segundo principio de la termodinámica.
- El proceso de la medida: formulación cuántica de la medida, pérdida de información, generación de entropía y colapso de la función de ondas.
- Segundo principio de la termodinámica, disipación y temperaturas absolutas negativas.

En todos los casos, el alumno deberá entender el problema y su estado actual. En función de sus intereses, podrá profundizar en detalles sobre casos concretos (teóricos, experimentales o ambos) y/o realizar cálculos y

simulaciones sencillas que le permitan profundizar en el tema.

Metodología:

En todos los casos, el alumno deberá elegir una de las propuestas listadas en el apartado anterior y revisar su bibliografía básica, con el fin entender el problema y su estado actual. Después, en función de la orientación que adquiera el trabajo, podrá centrarse en:

- Realizar una búsqueda bibliográfica por su cuenta, para profundizar en aspectos concretos del problema elegido.
- Llevar a cabo cálculos o simulaciones sencillas en algún sistema físico adecuado al fenómeno en estudio.

Se recomienda que el alumno tenga bien asentados los conceptos básicos que se estudian en Física Cuántica I y II, y Física Estadística. Asimismo, en caso de elegir la posibilidad de llevar a cabo una simulación, es conveniente que posea alguna experiencia con lenguajes de programación y/o software científico (Fortran, C, Python, Matlab, Octave...), pues será el alumno quien desarrolle los códigos numéricos.

Bibliografía:

Generales (conceptos sobre mecánica cuántica, física estadística e información clásica y cuántica):

1. *Quantum thermodynamics, Emergence of thermodynamic behavior within composite quantum systems*, J. Gemmer, M. Michel, and G. Mahler, Lect. Notes Phys. 657 (Springer, Berlin Heidelberg 2005).
2. *The physics of forgetting: Landauer's erasure principle and information theory*, M. B. Plenio and V. Vitelli, arXiv: quant-ph/0103108 (2001).

Particulares (propias de cada tema propuesto, más concretas):

3. *Quantum Transport*, Y. V. Nazarov and Y. M. Blanter, (Cambridge University Press, 2009).
4. *Dynamics of a Quantum Phase Transition and Relaxation to a Steady State*, J. Dziarmaga, arXiv:0912.4034 (2010).
5. *Colloquium: Nonequilibrium dynamics of closed interacting quantum systems*, A. Polkovnikov, K. Sengupta, A. Silva, and M. Venalattore, Review of Modern Physics 83, 863 (2011).
6. *Equilibration, thermalisation, and the emergence of statistical mechanics in closed quantum systems*, C. Gogolin and J. Eisert, arXiv:1503.07538 (2015).
7. *Entanglement and the foundations of statistical mechanics*, S. Popescu, A. J. Short, A. Winter, Nature Physics 2, 754 (2006).
8. *Entropy production as correlation between system and reservoir*, M. Esposito, K. Lindenberg, and C. Van den Broeck, New Journal of Physics 12, 013013 (2010).
9. *Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical*, W. H. Zurek, Review of Modern Physics 75, 715 (2003).
10. *Maxwell's Demon, Szilard's engine and quantum measurements*, W. H. Zurek, arXiv:quant-ph/0301076 (2003).
11. *Negative Absolute Temperature for Motional Degrees of Freedom*, S. Braun, J. P. Ronzheimer, M. Schreiber, S. S. Hodgman, T. Rom, I. Bloch, and U. Schneider, arXiv:1211.0545 (2012).
12. *Thermodynamic laws in isolated systems*, S. Hilbert, P. Hänggi and J. Dunkel, arXiv:1408.5382 (2014).

