



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

DEPARTAMENTO: FILOSOFÍA

SEMINARIO (de grado y de doctorado): Problemas metafísicos en la filosofía de la mecánica cuántica: contextualidad, modalidad y representación.

PROFESOR: Christian de Ronde

CUATRIMESTRE: SEGUNDO

AÑO: 2012

Martes y jueves de 21.00 a 23.00 (COMIENZA EL 7 de AGOSTO)



1. Fundamentación y descripción

La creación de la mecánica cuántica a comienzos del siglo XX fue concomitante con la llegada del positivismo lógico a la escena filosófica. Pero mientras que la teoría cuántica parecía acercar a los físicos por los caminos de la especulación filosófica (que muchos de ellos consideraban como metafísica), el positivismo lógico resultaba un movimiento contrario a la profunda tendencia metafísica del pensamiento occidental. Si bien este movimiento –enmarcado en la tradición analítica–, que había comenzado subvirtiendo las condiciones del pensamiento *a priori* y la metafísica kantiana, “fue rápidamente alterado por fuerzas reaccionarias. Y ya antes de mitad del siglo XX sus más allegados seguidores comenzaron a hacer del mundo, otra vez, un lugar seguro para la metafísica” (van Fraassen, 2002, p. xviii). Hoy, más de un siglo después del nacimiento de la teoría cuántica, el debate respecto de la posibilidad o imposibilidad de un desarrollo metafísico de la física permanece abierto. La mecánica cuántica ha jugado un rol central en este debate debido a que, pese a su gran poder predictivo, el formalismo ortodoxo de la teoría establece la imposibilidad de brindar una interpretación basada en un *modelo representacional* que dé cuenta de aquello que sucede en un experimento cuántico. La imposibilidad de concebir a la teoría en términos de un modelo ‘visualizable’, ‘inteligible’ o ‘intuitivo’ (*anschaulich*) determinó que muchos evitaran la discusión respecto de la representación conceptual de la teoría. Pero más allá de posiciones instrumentalistas o anti-metafísicas, existen también muchos filósofos de la ciencia que sostienen una genuina preocupación respecto de la necesidad de proveer de una interpretación metafísica al formalismo cuántico e inclusive autores que manifiestan una posición empirista como van Fraassen sostienen al mismo tiempo la necesidad de considerar una interpretación metafísica de la teoría.

Una de las nociones que permite comprender la distancia entre la idea de *representación* en la física clásica y en la mecánica cuántica es el de *contextualidad cuántica*. Un

‘contexto’ se encuentra determinado por un arreglo experimental en el que se observan un conjunto completo de observables que conmutan (CCOC). La contextualidad cuántica muestra que si bien es posible pensar éste o aquél experimento así como el conjunto de propiedades que se derivan de ellos, existe una imposibilidad de orden formal para pensar simultáneamente la existencia de las propiedades del sistema independientemente de la *representación del experimento*. Este problema fue discutido por Bohr y Einstein respecto del experimento de la doble rendija, el cual muestra que no es posible considerar como *existentes* en forma simultánea a las propiedades expuestas en la ‘representación de onda’ y en la ‘representación de partícula’. La noción de contextualidad en la teoría cuántica resulta un concepto completamente extraño a las teorías de la física clásica, puesto que la idea de que un sistema cuántico pueda exponer propiedades mutuamente *incompatibles*, dependiendo de la elección del contexto, se encuentra en completa contradicción con la presuposición clásica de discutir respecto de un objeto físico *preexistente* a la medición de sus propiedades actuales.

El *problema de la representación* en el caso particular de la mecánica cuántica se encuentra expuesto claramente en las llamadas interpretaciones modales. Si bien la mecánica cuántica se encuentra relacionada con la modalidad desde su origen, cuando Max Born desarrolló en 1926 su interpretación de la función de onda cuántica Ψ en términos de una densidad de probabilidad de detectar una partícula en una posición particular, la estructura formal de la teoría determina un cambio cualitativo en la naturaleza de lo que puede ser considerado *posibilidad*. Según Heisenberg (1958, p. 42), resultaba evidente que la *posibilidad cuántica* era algo completamente diferente a la posibilidad considerada en las teorías clásicas desde Newton y debería ser considerada como una tendencia o una potencia “hacia algo”. Las llamadas “interpretaciones modales” de la mecánica cuántica, desarrolladas por un conjunto de filósofos de la ciencia desde los años 80, incluyen una discusión tanto filosófica como formal de la noción de *posibilidad*. Dentro de este conjunto de interpretaciones sin un límite bien establecido, el proyecto de tinte realista propuesto por Dieks (ver Dickson & Dieks, 2002) de referirse a “sistemas con propiedades definidas” se encuentra limitado por severas inconsistencias expuestas a partir de la contextualidad cuántica. Una propuesta para recuperar una imagen de objeto cuántico en algún sentido similar a la de objeto clásico es la de referirse no ya a las *propiedades actuales* sino a las *propiedades posibles*. La noción de posibilidad se encuentra intrínsecamente ligada a las

posiciones *metafísicas* y *anti-metafísicas* propias de las diferentes corrientes interpretativas (de Ronde, 2011). Discutiremos diferentes versiones de la posibilidad: i) *La posibilidad como estructura algorítmica*: En el contexto de la interpretación modal van Fraassen y Dieks sostienen una noción empirista o humeana de la posibilidad. ii) *La posibilidad como posibilidad clásica*: El caso de la interpretación de Bohm, dentro de lo que es considerado el programa de variables ocultas, aparece como un caso paradigmático que logra *restaurar una visión clásica respecto de lo que hay* al costo de perder la *localidad* de los eventos. iii) *La posibilidad à la Lewis*: La interpretación de muchos mundos sostiene la existencia ontológica de una multiplicidad de “mundos”. iv) *La posibilidad como potencialidad*: Interpretaciones que, en términos de un proyecto eminentemente ontológico, buscan recuperar la noción de *potencialidad* o *propensidad* para comprender la mecánica cuántica.

Es evidente que la mecánica cuántica ha permanecido ambigua con respecto a la metafísica desde su origen y aún hoy carece de una interpretación aceptada por la comunidad científica. Es tal vez, debido a los numerosos problemas filosóficos que plantea, que su interpretación y significado permanecen aún hoy como uno de los debates centrales de la filosofía de la ciencia contemporánea.

2. Objetivos

El objetivo general del curso es brindar una introducción a los problemas filosóficos de la mecánica cuántica. Discutir y analizar los debates y desarrollos filosóficos, que tuvieron lugar a lo largo del siglo XX, relacionados con la teoría cuántica. En particular, discutir y analizar la relevancia de la metafísica en el contexto de la física cuántica. El objetivo específico del curso es ofrecer una presentación de ciertos problemas particulares relacionados a las nociones de *posibilidad* y *contextualidad* así como también dar cuenta de las implicancias de dichas nociones en relación al problema de la *representación científica*.

3. Contenidos

Parte 1. La mecánica cuántica y la interpretación de la realidad física.

1.1 Filosofía de la ciencia: ¿a favor o en contra de la metafísica?

1.2 El debate histórico del significado de la realidad física en la mecánica cuántica.

1.3 El problema de la representación en la mecánica cuántica.

1.4 La experiencia clásica y los principios ontológicos de la mecánica cuántica.

Bibliografía: Curd & Cover (1998) Cap. 9; Heisenberg (1971) Cap. 4; Einstein Podolsky & Rosen (1935); Bohr (1935); Aerts, (1985); Pitowsky (1994); Dorato (2010); Howard (2004; 2005); de Ronde (2011) Caps. 3, 4 y 5.

Parte 2. Modalidad en el formalismo de la mecánica cuántica.

2.1 La interpretación modal de la mecánica cuántica.

2.2 El debate empirismo-realismo al interior de la interpretación modal.

2.3 Propiedades actuales (preexistentes) en la interpretación modal.

2.4 ¿Qué es una “interpretación metafísicamente sustentable”?

Bibliografía: van Fraassen (1991) Cap. 9; Dieks (1988); Dickson & Dieks (2002), Bacciagaluppi (1996) Introducción; Vermaas (1999) Introducción; de Ronde (2011) Caps. 7, 8 y 9.

Parte 3. Contextualidad y Representación en el formalismo de la mecánica cuántica.

3.1 Sobre la representación en la física.

3.2 Contextualidad: representaciones incompatibles en el formalismo cuántico.

3.3 El carácter contextual de la posibilidad cuántica.

3.4 El carácter contextual de las correlaciones cuánticas.

Bibliografía: Peres (1993) Cap. 6; van Fraassen (2008); de Ronde (2011) Caps. 10, 11 y 12.

Parte 4: La metafísica de la modalidad: posibilidad y potencialidad.

4.1 La metafísica de la actualidad y la potencialidad: de Aristóteles a Heisenberg y Popper.

4.2 La noción de *posibilidad* en las interpretaciones empiristas de la mecánica cuántica.

4.3 La noción de *posibilidad* en las interpretaciones realistas de la mecánica cuántica.

Bibliografía: Aristóteles (2000) Libro Θ ; Agamben (1999); Piron (1983); Smets (2005); Dieks (2010); Karakostas (2007); Dorato (2006); de Ronde (2011) Caps. 13 y 14; de Ronde (2012).

4. Bibliografía complementaria general

- Aerts, D., 1985, “The physical origin of the Einstein Podolsky Rosen paradox”, En *Open Questions in Quantum Physics: Invited Papers on the Foundations of Microphysics*, 33-50, G. Tarozzi and A. van der Merwe (Eds.), Kluwer Academic, Dordrecht.
- Agamben, G., 2008, *Potentialities*, Stanford, Stanford University Press.
- Aristóteles, 1995, *Metafísica*, Gredos.
- Bacciagaluppi, G., 1996, *Topics in the Modal Interpretation of Quantum Mechanics*, Doctoral dissertation, University of Cambridge, Cambridge.
- Bitbol, M., 1997, *Mechanique Quantique, une introduction philosophique*, Champs Flammarion, Paris.
- Bitbol, M., 2010, “Reflective Metaphysics: Understanding Quantum Mechanics from a Kantian Standpoint”, *Philosophica*, **83**, 53-83.
- Bohr, N., 1935, “Can Quantum Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?”, *Physical Review*, **48**, 696-702.
- Bokulich, A., 2004, “Open or Closed? Dirac, Heisenberg, and the Relation between Classical and Quantum Mechanics”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **35**, 377-396.
- Bokulich, A., 2006, “Heisenberg Meets Kuhn: Closed Theories and Paradigms”, *Philosophy of Science*, **73**, 90-107.
- Bokulich, P., & Bokulich, A., 2005, “Niels Bohr’s Generalization of Classical Mechanics”, *Foundations of Physics*, **35**, 347-371.
- Carnap, H., Hahn, H. & Neurath, O., 1929, “The Scientific Conception of the World: The Vienna Circle”, *Wissenschaftliche Weltauffassung*.
- Dickson, W. M., 1998, *Quantum Chance and Nonlocality: Probability and Nonlocality in*

- the Interpretations of Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Dickson, M. & Dieks, D., 2002, "Modal Interpretations of Quantum Mechanics", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2002 Edition)*, E. N. Zalta (Ed.), URL: <http://plato.stanford.edu/archives/win2002/entries/qm-modal/>.
- Dieks, D., 1988, "The Formalism of Quantum Theory: An Objective Description of Reality", *Annalen der Physik*, **7**, 174-190.
- Dieks, D., 2010, "Quantum Mechanics, Chance and Modality", *Philosophica*, **83**, 117-137.
- Dorato, M., 2006, "Properties and Dispositions: Some Metaphysical Remarks on Quantum Ontology", *Proceedings of the AIP*, **844**, 139-157.
- Dorato, M., 2010, "Physics and metaphysics: interaction or autonomy?", *HumanaMente*, forthcoming.
- Einstein, A., Podolsky, B. & Rosen, N., 1935, "Can Quantum-Mechanical Description be Considered Complete?", *Physical Review*, **47**, 777-780.
- Fuchs, C. & Peres, A., 2000, "Quantum theory needs no 'interpretation' ", *Physics Today*, **53**, 70.
- Granger, G. G., 2001, *Sciences et réalité*, Editions Odile Jacob, Paris.
- Hacking, I., 1983, *Representing and Intervening*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Heisenberg, W., 1958, *Physics and Philosophy*, World perspectives, George Allen and Unwin Ltd., London.
- Heisenberg, W., 1971, *Physics and Beyond*, Harper & Row.
- Heisenberg, W., 1973, "Development of Concepts in the History of Quantum Theory", En *The Physicist's Conception of Nature*, 264-275, J. Mehra (Ed.), Reidel, Dordrecht.
- Howard, D., 2004, "Who Invented the 'Copenhagen Interpretation?' A Study in Mythology", *Philosophy of Science*, **71**, 669-682.
- Howard, D., 2005, "Albert Einstein as a Philosopher of Science", *Physics Today*, **58**, 34-40.
- Jammer, M., 1974, *The Philosophy of Quantum Mechanics*, John Wiley and sons, New York.
- Jammer, M., 1987, "The EPR Experiment in its Historical Development", En *Symposium on the foundations of Modern Physics 1987*, 129-149, P. Lathi and P. Mittlestaedt (Eds.), World Scientific, Singapore.
- Karakostas, V., 2007, "Nonseparability, Potentiality and the Context-Dependence of Quantum Objects", *Journal for General Philosophy of Science*, **38**, 279-297.

- Kauark-Leite, P., 2004, *The transcendental approach and the problem of language and reality in quantum mechanics*, PhD thesis, Centre de Recherche en Epistémologie Appliquée - École Polytechnique.
- Pauli, W., 1994, *Writings on Physics and Philosophy*, Enz, C. and von Meyenn, K. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin.
- Peres, A. (1993), *Quantum Theory: Concepts and Methods*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Piron, C., 1983, “Le réalisme en physique quantique: une approche selon Aristote”, en *The concept of physical reality*. Proceedings of a conference organized by the Interdisciplinary Research Group, University of Athens.
- Piron, C., 1999, “Quanta and Relativity: Two Failed Revolutions”, In *The White Book of Einstein Meets Magritte*, 107-112, D. Aerts J. Broekaert and E. Mathijs (Eds.), Kluwer Academic Publishers.
- Pitowsky, I., 1994, “George Boole’s ‘Conditions of Possible Experience’ and the Quantum Puzzle”, *The British Journal for the Philosophy of Science*, **45**, 95-125.
- Popper, K. R., 1982, *Quantum Theory and the Schism in Physics*, London, Hutchinson.
- Redhead, M., 1987, *Incompleteness, Nonlocality, and Realism: A Prolegomenon to the Philosophy of Quantum Mechanics*, Oxford, Clarendon Press.
- de Ronde, C., 2010, “For and Against Metaphysics in the Modal Interpretation of Quantum Mechanics”, *Philosophica*, **83**, 85-117.
- de Ronde, C., 2011, *The Contextual and Modal Character of Quantum Mechanics: A Formal and Philosophical Analysis in the Foundations of Physics*, PhD dissertation, Utrecht University.
- de Ronde, C., 2012, “La noción de potencialidad ontológica en la interpretación modal de la mecánica cuántica”, *Scientiae Studia*, **10**.
- de Ronde, C. & Bontems, V., 2011, “La notion d’entité en tant qu’obstacle épistémologique: Bachelard, la mécanique quantique et la logique”, *Bulletin des Amis de Gaston Bachelard*, **13**, 12-38.
- de Ronde, C. & Christiaens, W. (Eds.), 2010, For and Against Metaphysics in Quantum Mechanics, *Philosophica*, **83**.
- Simondon, G., 2005, *L’Individuation à la lumière des notions de forme et d’information*, Jérôme Millon, Paris.

- Selleri, F., 1994, *Le grand débat de la théorie quantique*, Paris, Flammarion.
- Smets, S., 2005, “The Modes of Physical Properties in the Logical Foundations of Physics”, *Logic and Logical Philosophy*, **14**, 37-53.
- Suppes, P., 2002, *Representation and Invariance of Scientific Structures*, Center for the Study of Language and Information Publications, Stanford.
- Van Fraassen, B., 1980, *The Scientific Image*, Oxford, Clarendon Press.
- Van Fraassen, B. C., 1991, *Quantum Mechanics: An Empiricist View*, Clarendon, Oxford.
- Van Fraassen, B., 2008, *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*, Oxford, Clarendon Press.
- Vermaas, P. E., 1999, *A Philosophers Understanding of Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Verelst, K. and Coecke, B., 1999, “Early Greek Thought and perspectives for the Interpretation of Quantum Mechanics: Preliminaries to an Ontological Approach”, En *The Blue Book of Einstein Meets Magritte*, 163-196, D. Aerts (Ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Von Weizsäcker, C. F., 1974, *La Imagen Física del Mundo*, Biblioteca de Autores Cristianos, Madrid.

5. Carga horaria

Cuatro horas semanales.

6. Actividades planificadas

Se consignarán las actividades planificadas: exposiciones del docente, exposiciones de los alumnos, trabajos prácticos, actividades especiales, etc.

7. Condiciones de regularidad y régimen de promoción

El seminario se dictará con cuatro horas semanales, los alumnos deberán asistir a no menos

del 80% de las reuniones. El profesor evaluará la participación de los alumnos con una nota no inferior a cuatro (4) puntos, para que los mismos estén en condiciones de entregar el trabajo monográfico. La calificación final resultará del promedio de ambas notas.

8. Recomendaciones

El curso está dirigido a introducir a los estudiantes de filosofía en los problemas filosóficos de la mecánica cuántica. Tiene como requisitos mínimos algunas nociones básicas de la filosofía general de la ciencia, y se recomienda haber cursado Filosofía Moderna y Metafísica. El curso no tiene como requisito poseer conocimientos de física. Los problemas específicos que serán trabajados pueden ser comprendidos sin la necesidad de conocimientos específicos del formalismo. La metodología del curso es la habitual en seminarios de grado. Combina las clases teóricas a cargo del profesor con las exposiciones de temas específicos por parte de los participantes y la discusión conjunta de problemas generales.