



Ministério da Educação  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro de Filosofia e Ciências Humanas  
Departamento de Filosofia  
Campus Universitário Trindade - CEP: 88040/900  
Tel.: 3721-4457 E-mail: [wfil@cfh.ufsc.br](mailto:wfil@cfh.ufsc.br)

## PLANO DE ENSINO

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Nome da Disciplina:</b><br>Filosofia da Física   | <b>Curso:</b> quinta feira 13.30-15.10<br><b>Turma:</b> 07307<br><b>Fase:</b><br><b>Tipo:</b><br>( ) obrigatória<br>( X ) optativa | <b>Carga Horária:</b> 90hs<br><b>PCC:</b> 18h/a de PCC. |
| <b>Pré-requisitos:</b>  |  |   |
| <b>Equivalências:</b>   |  |   |
| <b>Semestre:</b> 2022/1   |  |   |
| <b>Professor:</b> Christian de Ronde  | <b>E-mail:</b> <a href="mailto:cderonde@gmail.com">cderonde@gmail.com</a>  |   |
| <b>Ementa:</b> Exame de algumas investigações filosóficas acerca de princípios e ideias fundamentais da física.   |  |   |
| <b>Objetivos:</b> Esta disciplina tem o objetivo de discutir o problema do realismo no contexto da ciência contemporânea y em particular, da mecânica quântica. Buscaremos abordar os problemas a partir de alguns de seus conceitos fundamentais como emaranhamento quântico, estado puro, estado misto, partícula quântica, superposição quântica, entre outros. Procuraremos discutir como o processo de desenvolvimento histórico do debate realismo-antirrealismo a partir de esses conceitos, o debate entre Albert Einstein e Niels Bohr, e o posterior debate entre as diferentes variantes realistas e antirrealistas contemporâneas. Também, como essas noções características da teoria quântica deram origem a um grande número de novas tecnologias, como o teletransporte quântico, a criptografia quântica ou a computação quântica. |  |   |
| <b>Conteúdo Programático:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>● Problema do realismo no contexto histórico da mecânica quântica.</li><li>● Criação dos conceitos de: ‘estado puro’, ‘estado misto’, ‘partícula quântica’, ‘superposição quântica’, emaranhamento quântico.</li><li>● O debate filosófico do realismo e antirrealismo em torno do emaranhamento quântico: Albert Einstein vs. Niels Bohr.</li><li>● Tecnologias quânticas baseadas em emaranhamento.</li><li>● A interpretação da mecânica quântica: “a map of madness”.</li></ul>   |  |   |

**Metodologia:** A disciplina é autocontende e não requer conhecimento prévio. O curso será realizado por meio de exposições de 1:30h, sempre às quarta feiras, das 13:30 às 15:00h. Haverá um intervalo de 15 min e o professor ficará das 16:15h às 17:15h à disposição para dúvidas e discussões adicionais.

**Cronograma:**

1. Realismo e anti-realismo na física.
2. Postulado quântico de Max Planck y observações intensivas.
3. Formalismo do matricial do Heisenberg e formalismo ondulatório de Schrödinger. Regla de Born e interpretação da probabilidade quântica.
4. Niels Bohr: Princípio de correspondência e princípio de complementaridade.
5. Relações ou Princípio da Incerteza de Heisenberg.
6. Colapso quântico de Dirac e origem do “problema de medição”.
7. As O experimento de Einstein-Podolsky-Rosen. O gato de Schrödinger. Superposições quânticas e emaranhamento quântico.
8. Um mapa interpretativo: princípios metafísicos e formalismos. Heisenberg e o retorno do hilemorfismo aristotélico (causalidade final). Bohm e o retorno do atualismo newtoniano (causalidade eficiente).
9. Os problemas empiristas dentro da mecânica quântica: o “não-problemas”. A representação conceptual do formalismo matemático: Invariância e realidade física. Reversão de problemas: contextualidade e superposições.
10. Realismo: Interpretação “standard” do formalismo quântico e metafísica das particulas.
11. Emaranhamento quântico e uma nova era tecnologica: tele transporte quântico, criptografia quântica ou computação quântica. Emaranhamento quântico como codificação de relacionamentos potenciales.
12. Realismo e anti-realismo do emaranhamento quântico.
13. O problema da interpretação como um “map of madness”.

**PCC:** como atividade do PCC, os estudantes deverão avaliar um manual de filosofia empregado no ensino médio (a ser indicado pelo professor) e produzir um pequeno ensaio, indicando quais aspectos e conceitos presentes no tratamento de filosofia da física no manual considera apropriados para uma aula sobre o tema tratado no curso.

**5ª hora:** Reservada para realizar as atividades de PCC.

**Avaliação:** Haverá aulas expositivas e sessões de discussão dos textos da bibliografia básica. A cada semana, um dos participantes da disciplina ficará encarregado de entregar o fichamento de um dos textos indicados para a semana e postar esse fichamento em um fórum específico no Moodle até cada uma das datas indicadas no cronograma. Os demais participantes deverão interagir com dúvidas, apreciações críticas do texto, etc., nesse fórum. Essas atividades seram avaliadas e pontuadas para compor a nota da disciplina. Haverá um trabalho escrito de não mais do que 15 páginas sobre algum tema do curso a ser discutido com o professor e entregue até antes do final das aulas. O texto deverá ser na forma de um artigo.

**Frequência:** A frequência será verificada durante aula.

## Bibliografia básica:

- Da Costa, N. C. A. *O conhecimento científico*. São Paulo: Discurso editorial, 1999.
- Krause, D. *Introdução aos fundamentos axiomáticos da ciência*. EPU, 2002.
- Morgenbesser, S. (org.). *Filosofia da Ciência*. 3ª Edição. São Paulo: Cultrix, 1979.
- Pessoa Jr. O. *Conceitos de Física Quântica (2 vols.)*. São Paulo: Livraria da Física, 2003.

## Bibliografia complementar:

- Aerts, D., 1981, *The one and the many: towards a unification of the quantum a classical description of one and many physical entities*, Doctoral dissertation, Brussels Free University, Brussels.
- Aerts, D., 1984, “How do we have to change quantum mechanics in order to describe separated systems”, in *The Wave-Particle Dualism* pp. 419-431, S. Diner, D. Fargue, G. Lochak and F. Selleri (Eds.), Springer, Dordrecht.
- Aspect A., Grangier, P. & Roger, G., 1981, “Experimental Tests on Realistic Local Theories via Bell’s Theo- rem”, *Physical Review Letters*, **47**, 725-729.
- Albert, D. Z., 1994, *Quantum mechanics and experience*. Harvard Un. Press.
- Barnum, H., 2003, “Quantum information processing, operational quantum logic, convexity, and the foundations of physics”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **34**, 343-379.
- Bokulich, A. & Jaeger, G., 2010, *Philosophy of Quantum Information and Entanglement*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Bohr, N., 1935, “Can Quantum Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?”, *Physical Review*, **48**, 696-702.
- Bohr, N., 1948, “On the notions of causality and complementarity”, *Dialectica*, **2**, 312-319.
- Bruß, D., 2002, “Characterizing entanglement”, *Journal of Mathematical Physics*, **43**, 4237-4251.
- Bub, J., 2017, “Quantum Entanglement and Information”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2017 Edition)*, E.N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/qt-entangle/>.
- Cabello, A., 2017, “Interpretations of quantum theory: A map of madness”, in *What is Quantum Information?*, pp. 138-143, O. Lombardi, S. Fortin, F. Holik and C. López (eds.), Cambridge University Press, Cambridge.
- Carnap, H., Hahn, H. & Neurath, O., 1929, “The Scientific Conception of the World: The Vienna Circle”, *Wissendchafiliche Weltausfassung*.
- da Costa, N. and de Ronde, C., 2013, “The Paraconsistent Logic of Quantum Superpositions”, *Foundations of Physics*, **43**, 845-858.
- da Costa, N. and de Ronde, C., 2014, “Non-Reflexive Foundations for Quantum Mechanics”, *Foundations of Physics*, **44**, 1369-1380.
- da Costa, N. and de Ronde, C., 2014, “The Paraconsistent Approach to Quantum Superpositions Reloaded: Formalizing Contradictory Powers in the Potential Realm”, preprint.
- de la Torre, A.C., Goyeneche, D. & Leitao, L., 2010, “Entanglement for all quantum states”, *European Journal of Physics*, **31**, 325-332.
- de Ronde, C., 2016b, “Representational Realism, Closed Theories and the Quantum to Classical Limit”, in *Quantum Structural Studies*, pp. 105-136, R. E. Kastner, J. Jeknic-Dugic and G. Jaroszkiewicz (Eds.), World Scientific, Singapore.
- de Ronde, C., 2016, “Probabilistic Knowledge as Objective Knowledge in Quantum Mechanics: Potential Immanent Powers instead of Actual Properties”, in *Probing the Meaning of Quantum Mechanics: Superpo- sitions, Semantics, Dynamics and Identity*, pp. 141-178, D. Aerts, C. de Ronde, H. Freytes and R. Giuntini (Eds.), World Scientific, Singapore.

- de Ronde, C., 2020, "Unscrambling the Omelette of Quantum Contextuality (Part I): Preexistent Properties or Measurement Outcomes?", *Foundations of Science*, **25**, 55-76.
- de Ronde, C., 2020, "The (Quantum) Measurement Problem in Classical Mechanics", in *Probing the Meaning of Quantum Mechanics*, D. Aerts, J. Arenhart, C. de Ronde and G. Sergioli (Eds.), World Scientific, Singapore, in press.
- de Ronde, C., 2020, "Understanding Quantum Mechanics (Beyond Metaphysical Dogmatism and Naive Empiricism)", preprint.
- de Ronde, C. & Fernández Mouján, R., 2018, "Epistemological vs. Ontological Relationalism in Quantum Mechanics: Relativism or Realism?", in *Probing the Meaning of Quantum Mechanics*, pp. 277-318, D. Aerts, M.L. Dalla Chiara, C. de Ronde and D. Krause (Eds.), World Scientific, Singapore.
- de Ronde, C., Freytes, H. & Sergioli, G., 2019, "Quantum probability: A reliable tool for an agent or a source of reality", *Synthese*, DOI:10.1007/s11229-019-02177-x.
- de Ronde, C. & Massri, C., 2019, "A New Objective Definition of Quantum Entanglement as Potential Coding of Intensive and Effective Relations", *Synthese*, DOI: 10.1007/s11229-019-02482-5.
- de Ronde, C. & Massri, C., 2020, "Against 'Particles' and 'Collapses' in Quantum Entanglement", sent (quant-ph/arXiv:1911.10990).
- D'Espagnat, B., 2006, *On Physics and Philosophy*, Princeton University Press, Princeton.
- Deutsch, D., 2004, *The Beginning of Infinity. Explanations that Transform the World*, Viking, Ontario.
- Dieks, D., 2020, "Identical Quantum Particles, Entanglement, and Individuality", *Entropy*, **22**, 134-140.
- Dirac, P.A.M., 1974, *The Principles of Quantum Mechanics*, 4th Edition, Oxford University Press, London.
- Hacking, I. (1983) *Representar e intervenir*. México: Paidós-UNAM, 1996.
- Fernandez Moujan, R., 2020, "Greek philosophy for quantum physics. The return to the Greeks in the works of Heisenberg, Pauli and Schrödinger" in *Probing the Meaning of Quantum Mechanics*, D. Aerts, J. Arenhart, C. de Ronde and G. Sergioli (Eds.), World Scientific, Singapore.
- French, S. & Krause, D. *Identity and individuality in physics. A historical, philosophical, and formal analysis*. Oxford: Oxford Un. Press, 2006.
- Earman, J., 2015, "Some Puzzles and Unresolved Issues About Quantum Entanglement", *Erkenntnis*, **80**, 303-337.
- Einstein, A., Podolsky, B. & Rosen, N., 1935, "Can Quantum-Mechanical Description be Considered Complete?", *Physical Review*, **47**, 777-780.
- Everett, H., 1957, "Relative State Formulation of Quantum Mechanics", *Review of Modern Physics*, **29**, 454.
- Freire Jr., O. 2015, *The Quantum Dissidents. Rebuilding the Foundations of Quantum Mechanics (1950-1990)*, Springer, Berlin.
- Fuchs, C.A. & Peres A., 2000, "Quantum theory needs no 'interpretation'", *Physics Today*, **53**, 70-71.
- Heisenberg, W., 1971, *Physics and Beyond*, Harper & Row, New York.
- Heisenberg, W., 1973, "Development of Concepts in the History of Quantum Theory", in *The Physicist's Conception of Nature*, pp. 264-275, J. Mehra (Ed.), Reidel, Dordrecht.
- Hilgevoord, J. & Uffink, J., 2001, "The Uncertainty Principle", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2001 Edition)*, E. N. Zalta (Ed.), URL: <http://plato.stanford.edu/archives/win2001/entries/qt-uncertainty/>.
- Horodecki, R., Horodecki, P., Horodecki, M. & Horodecki, K. "Quantum entanglement", *Reviews*

- of *Modern Physics*, **81**, 865-942.
- Howard, D., 2005, "Albert Einstein as a Philosopher of Science", *Physics Today*, **58**, 34-40.
- Huggett, N. *Everywhere and everywhen. Adventures in physics and philosophy*. Oxford: Oxford Un. Press.
- 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.
- Kosso, P., 1998, *Appearance and reality. An introduction to the philosophy of physics*. Oxford: Oxford Un. Press.
- Kuhn, T. S. (1962/1970) *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica, 2006. [Nueva traducción de Carlos Solís. La anterior traducción de Agustín Contín es deficiente].
- Laudan, L. (1990) *La ciencia y el relativismo*. Madrid: Alianza, 1993.
- Laudan, L. (1996) *Beyond Positivism and Realism: Theory, Method, and Evidence*. Boulder: Westview Press.
- Laurikainen, K.V., 1988, *Beyond the Atom, The Philosophical Thought of Wolfgang Pauli*, Springer-Verlag, Berlin.
- Lewis, P., 2016, *Quantum ontology*. Oxford: Oxford Un. Press.
- Maudlin, T., 2019, *Philosophy of Physics. Quantum Theory*, Princeton University Press, Princeton.
- Niniluoto, I. (1999) *Critical Scientific Realism*. Oxford: Oxford University Press.
- Pauli, W., 1994, *Writings on Physics and Philosophy*, Enz, C. and von Meyenn, K. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin.
- Popper, K.R., 1963, *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*, Routledge Classics, London.
- Rovelli, C., 1996, "Relational Quantum Mechanics", *International Journal of Theoretical Physics*, **35**, 1637- 1678.
- Smolin, L., 2007, *The trouble with physics. The rise of string theory, the fall of a science, and what comes next*, Mariner books, New York.
- Schrödinger, E., 1935, "The Present Situation in Quantum Mechanics", *Naturwiss*, **23**, 807-812. Translated to english in *Quantum Theory and Measurement*, J.A. Wheeler and W.H. Zurek (Eds.), 1983, Princeton University Press, Princeton.
- Shimony, A., 1995, "Degree of entanglement", *Annals New York Academy of Science*, **755**, 675-679.
- Sudbery, A., 2016, "Time, Chance and Quantum Theory", in *Probing the Meaning and Structure quantum Mechanics: Superpositions, Semantics, Dynamics and Identity*, pp. 324-339, D. Aerts, C. de Ronde, H. Freytes and R. Giuntini (Eds.), World Scientific, Singapore.
- 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.
- Vernant, J.-P., 2006, *Myth and Thought among the Greeks*, Mariner books, New York.
- Weinberg, S., 2015, *To Explain the World: The Discovery of Modern Science*, Harper Collins, New York.