

© Wissenschaftskolleg

K. Birgitta Whaley, Ph.D.

Professorin der Chemie

University of California, Berkeley

Born in 1956 in Barnehurst, UK
Studied Chemistry at Oxford University and Harvard University and Chemical Physics at the University of Chicago

SCHWERPUNKT

ARBEITSVORHABEN

Quantenmechanische Kohärenz in der Biologie

My research within the quantum biology focus group will address the characterization and elucidation of quantum dynamical effects in biological systems with the overall goals of understanding both the mechanism and the role of such unusual quantum manifestations. We shall use methods of quantum control and quantum measurement to enhance coherence sensitive tools of quantum physics and to develop new probes for quantum dynamic phenomena such as excitonic energy transfer in photosynthesis and magnetic field-dependent spin dynamics in cryptochromes. For example, the role of the protein environment in quantum coherent energy transport during light harvesting will be studied by analyzing features of the protein dynamics that are coupled to electronic energy transfer by adapting techniques such as quantum control, quantum tomography, and parameter estimation to the exploration and refinement of environmental enhancement factors for finite temperature coherence. We will draw on our experience in the fields of chemical physics, quantum information, and quantum information processing to develop a molecular level understanding of when, where, and why quantum dynamics are to be found in biological systems and to characterize these both in vivo and in vitro. These dynamical quantum phenomena pose fundamental questions to the quantum physics and chemistry communities as well as to the biology community. By their nature, they demand an interdisciplinary approach of study that combines and unites all three scientific communities. Our goal is to develop and apply such an approach in order to gain new insights into the quantum aspects of biological processes, insights that go beyond the notions of the structure, energetics, and stability of biomolecules to address the influence of quantum dynamics.

Recommended Reading

Sarovar, M., A. Ishizaki, G. R. Fleming, and K. B. Whaley (2010). "Quantum entanglement in photosynthetic light harvesting complexes." Nature Physics 6: 462.
DiVincenzo, D. P., D. Bacon, J. Kempe, G. Burkard, and K. B. Whaley (2000). "Universal quantum computation with the exchange interaction." Nature 408: 339-342.
Lidar, D. A., I. L. Chuang, and K. B. Whaley (1998). "Decoherence-Free Subspaces for Quantum Computation." Phys. Rev. Lett. 81: 2594-2597.

DIENSTAGSKOLLOQUIUM, 14.05.2013

Welche Rolle spielt die Quantenmechanik in der Biologie?

Die Entwicklung der Quantenmechanik zu Beginn des 20. Jahrhunderts veränderte sowohl die Physik als auch die Chemie von Grund auf, da sie zu einem neuen Verständnis des mikroskopischen Verhaltens von Atomen und Molekülen führte. Um 1930 begannen Physiker auch, nach den Folgen der Quantenmechanik für die Biologie zu fragen. Einige (vor allem Bohr und Jordan) konzentrierten sich auf Vitalismus und die Suche nach einem biologischen Gegenstück des Komplementaritätsprinzips. Andere, von Delbrück ausgehend, arbeiteten mit Chemikern und Biologen zusammen, um biologische Systeme mit Quantentechnik wie Röntgenstrahlen zu erforschen, die entscheidende Aspekte ihrer Struktur, Stabilität und deren Beziehung zur Funktion aufdecken konnte. Die begriffliche Grundlage dieser ersten Ära der Quantenbiologie, die 1953 in der Veröffentlichung der DNA-Struktur gipfelte, beruhte auf der Erkenntnis der Quantennatur von Energieniveaus, was innerhalb des kombinierten Rahmens von Quantenphysik und Statistischer Physik die Analyse sowohl der Struktur als auch der Stabilität ermöglichte.

Als Beginn der zweiten Ära der Quantenbiologie können wir die Entwicklung von Lasern in den 1960er Jahren betrachten. Dies leitete eine neue Generation von Experimenten ein, die Dynamik in biologischen Systemen in den sehr kurzen Zeitskalen erforschen können, die für Atom- und Molekularbewegungen maßgeblich sind. Durch die zunehmende Komplexität dieser Experimente erwachte das Interesse an der Quantenbiologie neu und richtet sich nun in erster Linie auf quantendynamische Effekte. Heute treiben Fortschritte in Quantenwissenschaft und Nanotechnologie die Entwicklung neuartiger Untersuchungen lebender Zellen und mikroskopischer Untersuchungen biologischer Phänomene voran, die nicht triviale Quanteneffekte wie Verschränkungen miteinbeziehen könnten.

Ich werde einen kurzen Überblick über die Bandbreite der Phänomene geben, in denen dynamischen Quanteneffekten eine Rolle zugeschrieben wird, ob diese Behauptungen sich nun aus experimentellen Beobachtungen oder theoretischen Überlegungen herleiten. Dann werde ich die verschiedenen Fragen ansprechen, die diese Untersuchungen für unser Verständnis der Natur aufwerfen. Ich teile sie in drei Kategorien ein:

I. Grundlegende Fragen für unser Verständnis der Quantenphysik komplexer Systeme und der Trennung zwischen Quantenverhalten und klassischem Verhalten.
II. Fragen, inwieweit Quanteneffekte entscheidende mechanistische Komponenten der maßgeblichen molekularen Prozesse sind und möglicherweise sogar entscheidend für die Funktionalität des biologischen Systems.
III. Umfassendere Fragen zum anspruchsvolleren Thema, die in heute lebenden Organismen gemessenen Quanteneffekte im Kontext der Evolution zu verstehen. Wir können zum Beispiel fragen, ob solche Quanteneffekte die Fitness verbessert haben und/oder bei der Diversifikation und Anpassung von pflanzlichen und bakteriellen Organismen an sich verändernde Umweltbedingungen geholfen haben. Oder sind sie lediglich Folgen einer Anpassung an Zwänge, die wenig mit den Prozessen zu tun haben, in denen wir sie heute beobachten?

Die Betrachtung dieser Fragen führt uns dazu, unser Verständnis der Quantenmechanik, der biologischen Welt, in der wir leben, und von uns selbst zu überprüfen.

PUBLIKATIONEN AUS DER FELLOWBIBLIOTHEK

Whaley, K. Birgitta (2013)

Design principles and fundamental trade-offs in biomimetic light harvesting

https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=755820800

Whaley, K. Birgitta (2011)

Quantum entanglement phenomena in photosynthetic light harvesting complexes

https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=755818474

Whaley, K. Birgitta (2010)

Limits of quantum speedup in photosynthetic light harvesting

https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=755823044

Whaley, K. Birgitta (2010)

Quantum entanglement in photosynthetic light-harvesting complexes

https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=755818989

Whaley, K. Birgitta (College Park, MD,2003)

Quantum random-walk search algorithm

https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=755820193