

TFYA35 Molekylfysik  
Föreläsning 4 - Tolkningar av kvantmekaniken

Thomas Ederth  
Linköpings universitet  
IFM

## Inte mycket verkar säkert här...?

**Våg-partikeldualitet** Ett system kan ha både våg- och partikelegenskaper i samma experiment.

**Vågfunktionen** har en sannolikhetsstolkning.

**Heisenbergs osäkerhetsrelation** begränsar vad vi kan veta om världen.

**Superposition** – kan ett system kan befinna sig i flera tillstånd samtidigt?

**Tunnling** Hur kan en partikel ta sig igenom en barriär trots att energin inte räcker till?

Kommer sig osäkerheten av att vår beskrivning av naturen är ofullständig, eller av att den fysiska verkligheten är genuint obestämd?

# EPR-paradoxen

MAY 15, 1935

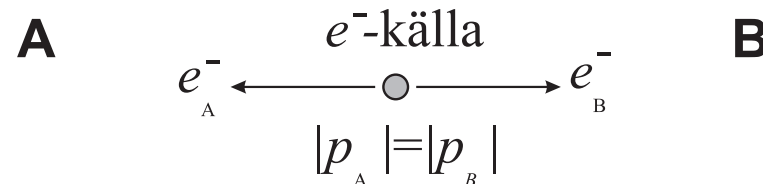
PHYSICAL REVIEW

VOLUME 47

## Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?

A. EINSTEIN, B. PODOLSKY AND N. ROSEN, *Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey*

Elektronerna A och B har motsatt rörelsemängd och lämnar källan samtidigt. Om man mäter  $p_A$  i A, kan man då mäta  $x_B$  i B med godtycklig precision?



I så fall kan man *antingen* bestämma både  $p_A$  och  $x_A$  noggrannare än Heisenbergs osäkerhetsrelation medger, *eller* så påverkar mätning på en elektron omedelbart tillståndet för den andra elektronen, oavsett avståndet mellan dem.

Einstein, Podolsky och Rosen ansåg att paradoxen visade att kvantmekaniken är ofullständig (och således ett argument för existensen av dolda variabler).

- Tillstånden för A och B är *sammanflätade* ("entangled") och beror på varandra utan att information överförs, d.v.s. kvantmekaniken är *icke-lokal*
- En "mätning" kan inte göras utan att påverka systemet; mätning av någon egenskap på den ena elektronen påverkar omedelbart den andra.

# Bells teorem (Bells olikheter)

## ON THE EINSTEIN PODOLSKY ROSEN PARADOX\*

J. S. BELL<sup>†</sup>

*Department of Physics, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin*

Enligt klassisk fysik ska en fysikalisk teori vara...:

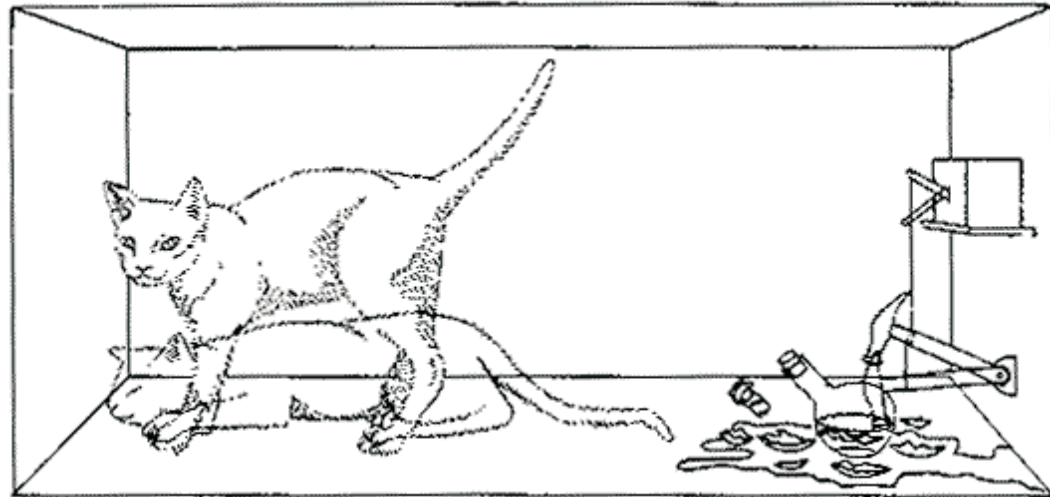
- Fullständig; den ska i sig själv räcka för att beskriva fenomen.
- Lokal; händelser sker på en given plats, och information kan inte överföras snabbare än ljushastigheten.
- Deterministisk; med givna initialvillkor kan utfallet förutses.
- Utan dolda variabler.
- En beskrivning av *ett* universum.

Bells teorem är egentligen en serie olikheter med experimentellt testbara gränser för mätningar på partiklar i olika situationer (som t.ex. experimentet i EPR-paradoxen). Experiment som testar olikheterna har visat att kvantmekaniken inte kan ha alla egenskaperna ovan.

# Schrödingers katt

Är dessa märkligheter begränsade till mikroskopiska partiklar? För att visa att det inte kan finnas en enkel barriär mellan mikro- och makrovärldarna (och det absurda med idén om superposition av tillstånd och kollaps av vågfunktioner vid mätning) föreslog Schrödinger ett tankeexperiment: Stäng in en katt i en låda med en atom som kan sönderfalla radioaktivt, och en mekanism som frigör ett gift när atomen sönderfaller.

Atomens tillstånd är en superposition av två möjligheter; sönderfallen eller inte, men då är rimligen också kattens tillstånd en superposition av tillstånden levande och död.

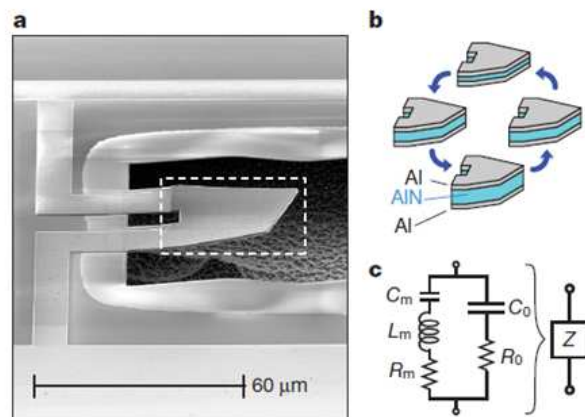


Men är katten *både* levande och död tills vi öppnar lådan och tittar efter (mäter)? Vår vardagliga erfarenhet säger oss att katten är levande *eller* död, oberoende av om någon tittar i lådan eller ej!

# Quantum ground state and single-phonon control of a mechanical resonator

A. D. O'Connell<sup>1</sup>, M. Hofheinz<sup>1</sup>, M. Ansmann<sup>1</sup>, Radoslaw C. Bialczak<sup>1</sup>, M. Lenander<sup>1</sup>, Erik Lucero<sup>1</sup>, M. Neeley<sup>1</sup>, D. Sank<sup>1</sup>, H. Wang<sup>1</sup>, M. Weides<sup>1</sup>, J. Wenner<sup>1</sup>, John M. Martinis<sup>1</sup> & A. N. Cleland<sup>1</sup>

Quantum mechanics provides a highly accurate description of a wide variety of physical systems. However, a demonstration that quantum mechanics applies equally to macroscopic mechanical systems has been a long-standing challenge, hindered by the difficulty of cooling a mechanical mode to its quantum ground state. The temperatures required are typically far below those attainable with standard cryogenic methods, so significant effort has been devoted to developing alternative cooling techniques. Once in the ground state, quantum-limited measurements must then be demonstrated. Here, using conventional cryogenic refrigeration, we show that we can cool a mechanical mode to its quantum ground state by using a microwave-frequency mechanical oscillator—a 'quantum drum'—coupled to a quantum bit, which is used to measure the quantum state of the resonator. We further show that we can controllably create single quantum excitations (phonons) in the resonator, thus taking the first steps to complete quantum control of a mechanical system.



För hur stora objekt är kvantmekaniken giltig (meningsfull)?



Olika försök att förklara dessa fenomen (och många fler) har lett till ett stort antal *tolkningar* av kvantmekaniken (minst ett dussin...), där man försöker förklara hur kvantmekanikens förutsägelser förhåller sig till den fysiska verkligheten.

**Köpenhamns-tolkningen** är den dominerande, och säger att kvantmekaniken bara är en beskrivning av sannolikheter; vid en mätning väljs slumpmässigt ett tillstånd av alla möjliga. (Born & Heisenberg)

**Dolda variabler** Universums tillstånd utvecklas kontinuerligt och deterministiskt (utan kollapsande vågfunktioner), och det finns ”dolda variabler” som beskriver detta, men vi kan inte mäta dessa direkt. (Bohm)

**Statistiska tolkningen** säger att vågfunktioner inte beskriver enskilda system, utan är en abstraktion som gäller för ett stort antal identiskt preparerade system. (Einstein)

**Many-worlds** Varje mätning (kollaps av vågfunktion) innebär att ett av många möjliga universum väljs ut, och alla andra möjligheter är realiteter i parallella universum, alltså ingen icke-deterministisk eller irreversibel kollaps av vågfunktioner.

**Relationell** Olika observatörer ”ser” olika tillstånd, och ett ”tillstånd” är en beskrivning av förhållandet mellan systemet och observatören, inte av systemet i sig.

... etc etc

Men kom hela tiden ihåg att...

- Den matematiska beskrivningen kan vara lika i alla dessa tolkningar, eftersom den inte säger något om den fysiska verkligheten.
- Det finns inga (kända) experiment som kan avgöra om någon tolkning är ”rätt”.



Problemet kommer nog inte heller lösas än på länge...

PRL **111**, 090402 (2013)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending  
30 AUGUST 2013

## No-Go Theorems for $\psi$ -Epistemic Models Based on a Continuity Assumption

M. K. Patra, S. Pironio, and S. Massar

*Laboratoire d'Information Quantique CP225, Université libre de Bruxelles (ULB), Avenue F. D. Roosevelt 50, 1050 Bruxelles, Belgium*  
(Received 4 February 2013; published 26 August 2013)

The quantum state  $\psi$  is a mathematical object used to determine the probabilities of different outcomes when measuring a physical system. Its fundamental nature has been the subject of discussions since the inception of quantum theory. Is it ontic, that is, does it correspond to a real property of the physical system? Or is it epistemic, that is, does it merely represent our knowledge about the system? Assuming a natural continuity assumption and a weak separability assumption, we show here that epistemic interpretations of the quantum state are in contradiction with quantum theory. Our argument is different from the recent proof of Pusey, Barrett, and Rudolph and it already yields a nontrivial constraint on  $\psi$ -epistemic models using a single copy of the system in question.

DOI: [10.1103/PhysRevLett.111.090402](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.111.090402)

PACS numbers: 03.65.Ta

Ontologi: Läran om det varande, det som finns.

Epistemologi: Läran om vårt vetande (kunskapsteori).