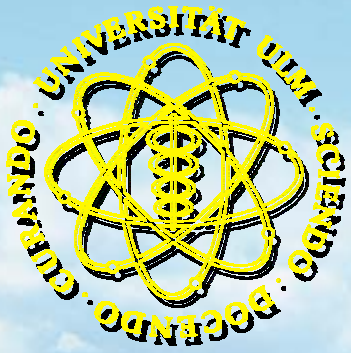




Beyond the Standard Model

Wolfgang Schleich
Abteilung für Quantenphysik
Universität Ulm

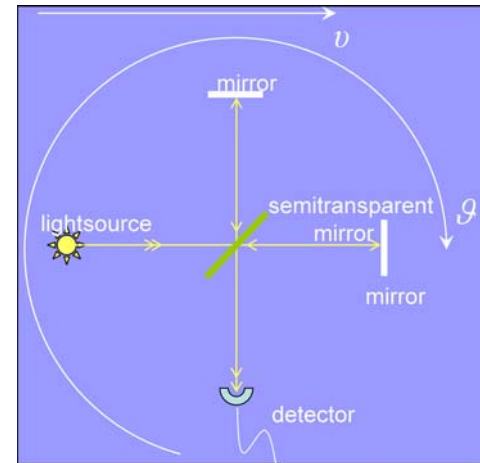
Overview

- Foundations
- Rotation
- Entanglement
- Schrödinger cat
- Decoherence
- Bose-Einstein condensates
- Quantum gyroscopes

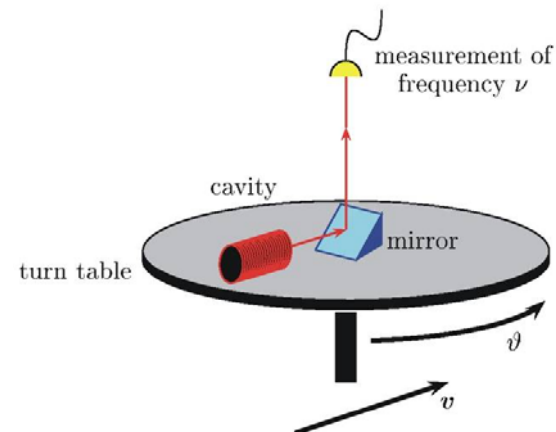
Bedrock of Special Relativity

Velocity of light: $c = c(\vec{v}, v)$

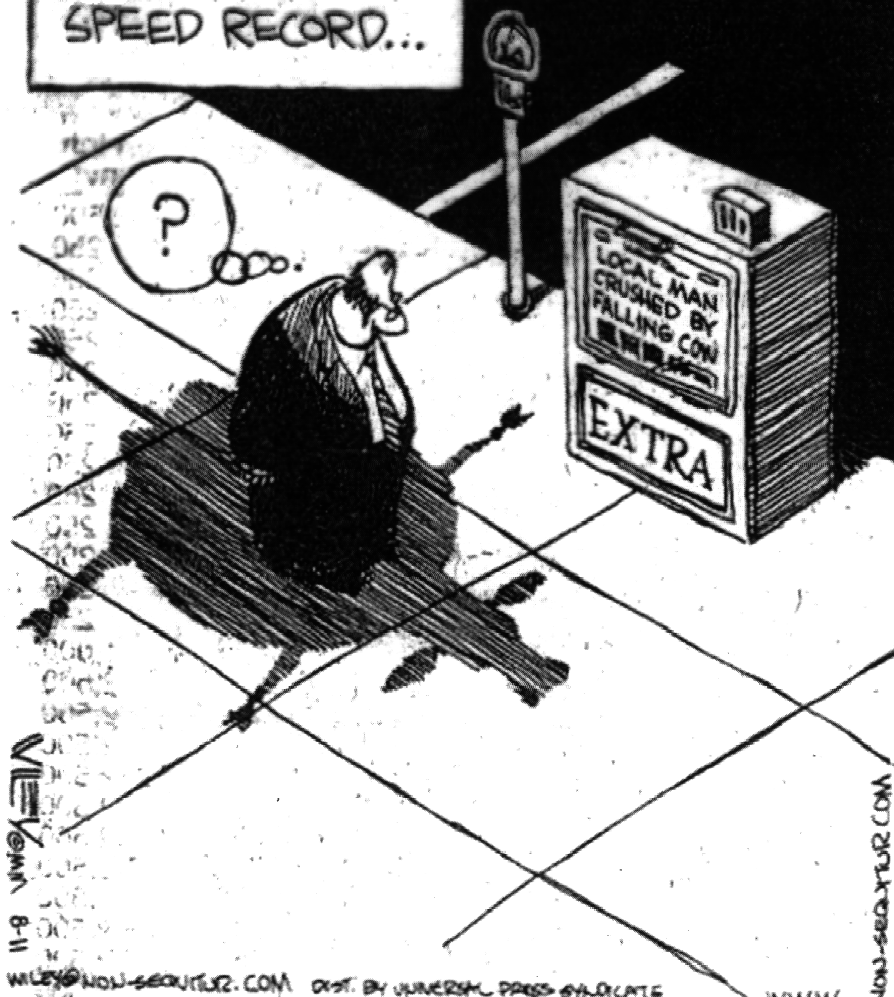
Isotropy of space:
Michelson-Morley



Inertial system:
Kennedy - Thorndike



SETTING THE
NEWS DELIVERY
SPEED RECORD...



Equivalence Principle

- Weak EP: $m_i \ddot{x} = eE \rightarrow \ddot{x} = \frac{e}{m_i} E$

$$m_i \ddot{x} = m_g \mathcal{G} \rightarrow \ddot{x} = \mathcal{G}$$

- Redshift: $\frac{\nu_2}{\nu_1} = 1 - \frac{U_2 - U_1}{c^2}$

- Einstein EP



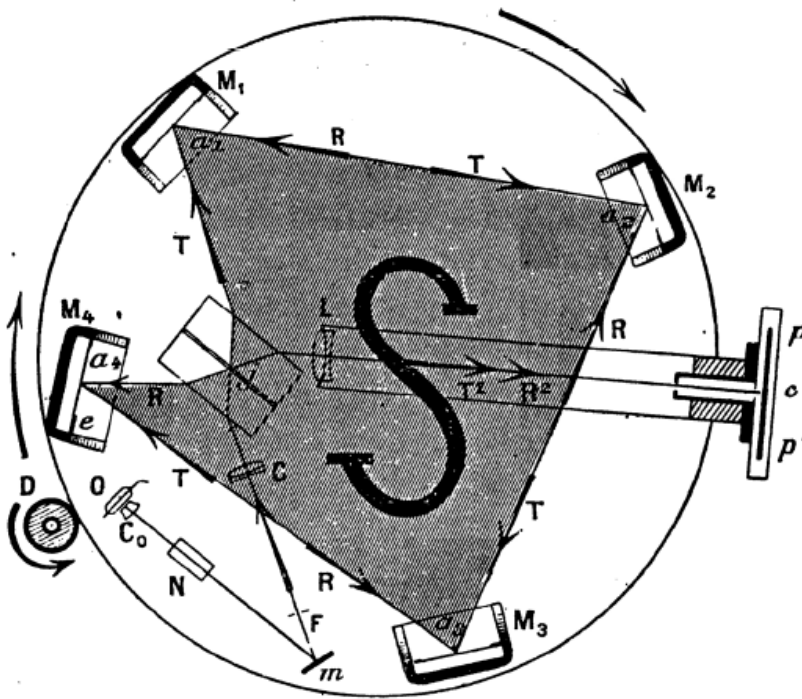
Foucault pendulum



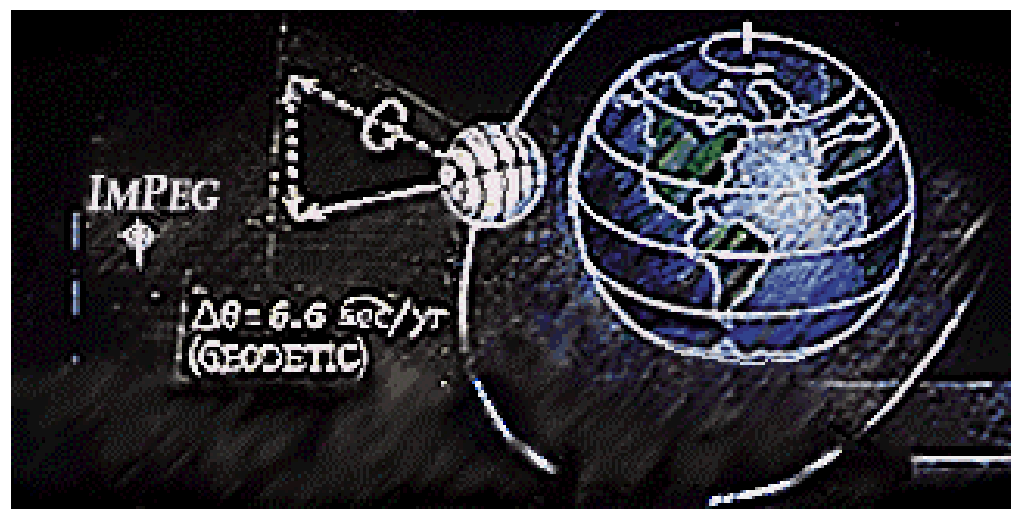
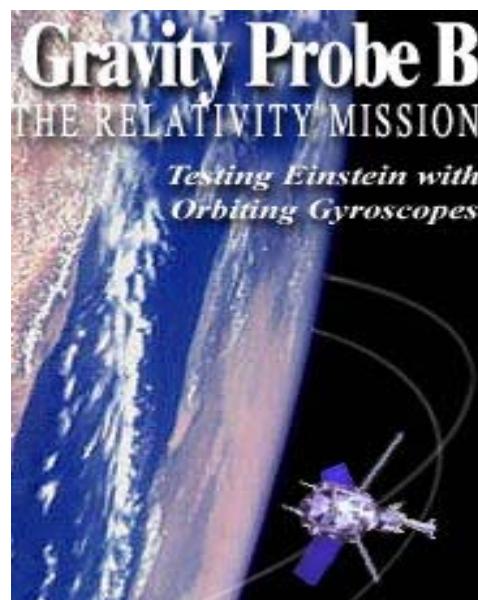
Georges Sagnac's Rotating Interferometer

The Luminiferous Ether Demonstrated by the Effect of the Relative Motion of the Ether in an Interferometer in Uniform Rotation. Note of Monsieur G. Sagnac, presented by Monsieur E. Bouty.

Comptes Rendus . . . de l'Académie des Sciences (Paris) 157 (1913): 708–710, 1410–1413.



$$\Delta\varphi \sim \frac{A \Omega}{\lambda}$$



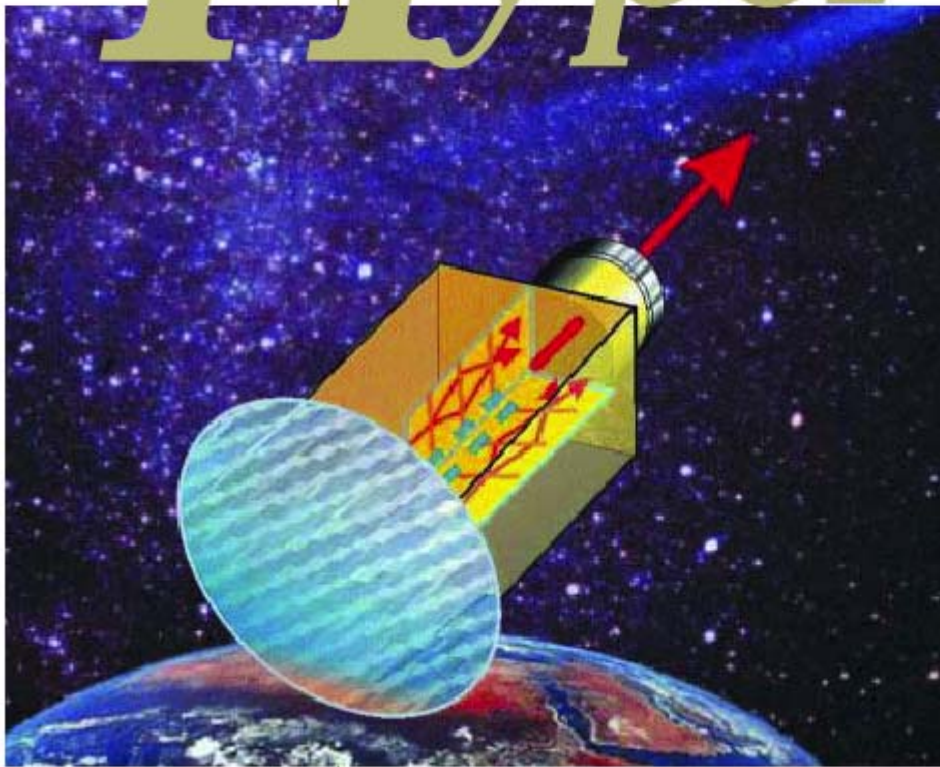
Über den Einfluß der Eigenrotation der Zentralkörper auf die Bewegung der Planeten und Monde nach der Einsteinschen Gravitationstheorie.

Von J. Lense und H. Thirring.

In einer kürzlich erschienenen Arbeit¹⁾ hat der eine von uns das Feld im Inneren einer rotierenden Hohlkugel nach der Einsteinschen Gravitationstheorie angenähert berechnet. Dieses Beispiel schien von prinzipiellem Interesse für die Beantwortung der Frage, ob die Rotation ferner Massen nach der Einsteinschen Theorie tatsächlich ein Gravitationsfeld erzeugt, das einem „Zentrifugalfelde“ äquivalent ist. In einer anderen Hinsicht interessant scheint nun die mit denselben Mitteln leicht durchführbare Integration der Feldgleichungen für eine rotierende Vollkugel zu sein. Denn solange man auf dem Boden der Newtonschen Theorie stand, konnte man das Feld im Außenraume einer mit konstanter Raumdichte geladenen (ruhenden oder rotierenden) Kugel exakt durch das Feld eines materiellen Punktes gleicher Masse ersetzen. Auch nach der Einsteinschen Theorie ist das Feld einer ruhenden Kugel aus inkompressibler Flüssigkeit äquivalent dem eines Massenpunktes²⁾, das gilt aber nicht mehr für rotierende Kugeln. Hier treten, wie im nachfolgenden gezeigt wird, Zusatzglieder auf, welche Zentrifugal- und Corioliskräften entsprechen. Da sich nun die Planeten im Felde der selbst rotierenden Sonne und die Monde wiederum im Felde der rotierenden Planeten bewegen, erschien es von vornherein nicht ausgeschlossen, durch Beobachtung der Störungen, welche sich aus diesen Zusatzgliedern ergeben, eine neuerliche astronomische Bestätigung der Einsteinschen Theorie zu erhalten. Die im folgenden durchgeführte nume-

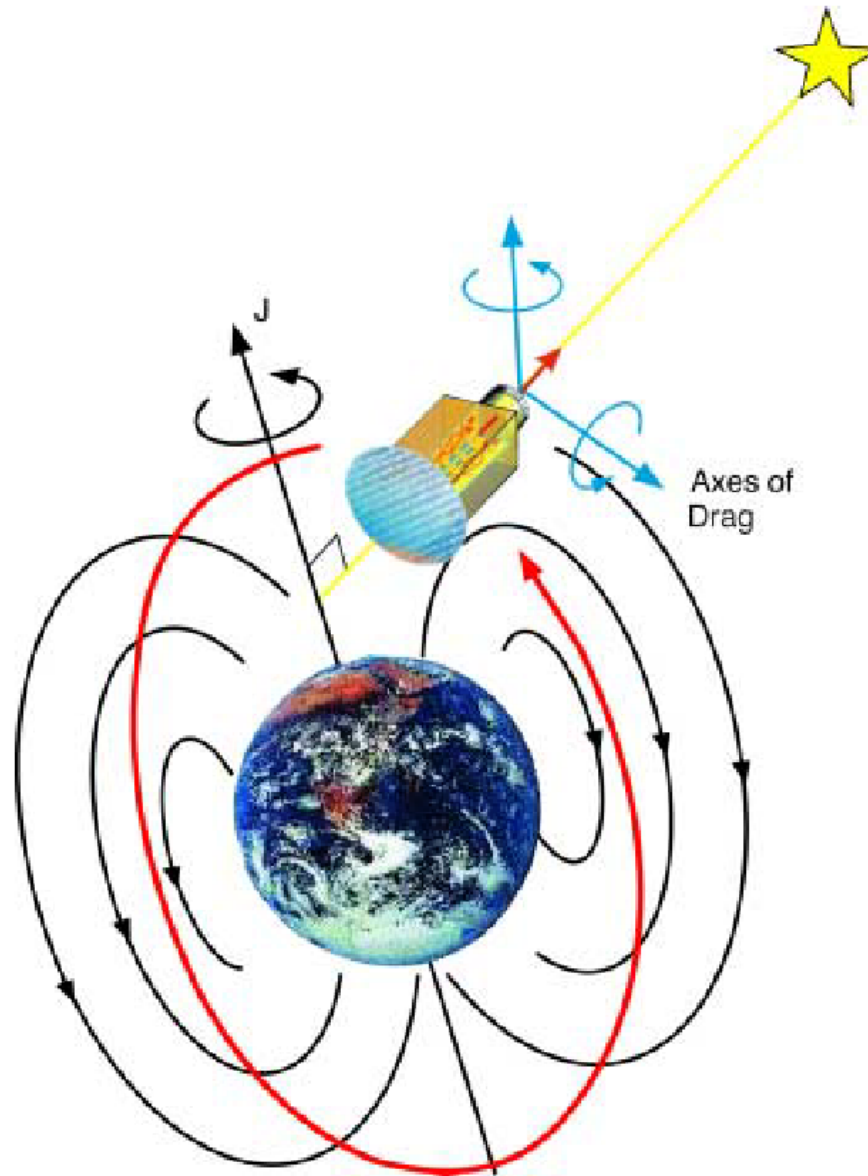
Hyper

Mission Summary

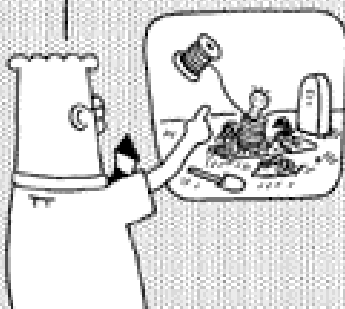


Hyper-precision
cold atom
interferometry
in space

HYPER Project: Lense-Thirring effect

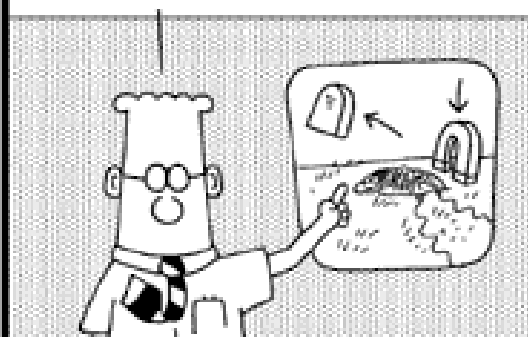


WE DUG UP THE FOUNDER
OF OUR COMPANY AND
WRAPPED HIM IN
COPPER WIRE.



www.dilbert.com
scottadams@aol.com

THEN WE REPLACED HIS
TOMBSTONE WITH A
HUGE MAGNET.



© 2004 Scott Adams, Inc./Dist. by UFS, Inc.

WITH ANY LUCK, OUR
BUSINESS PRACTICES
WILL MAKE HIM SPIN
IN HIS GRAVE AND
GENERATE ELECTRICITY.



An Example of a New Type of Cosmological Solutions of Einstein's Field Equations of Gravitation

KURT GÖDEL

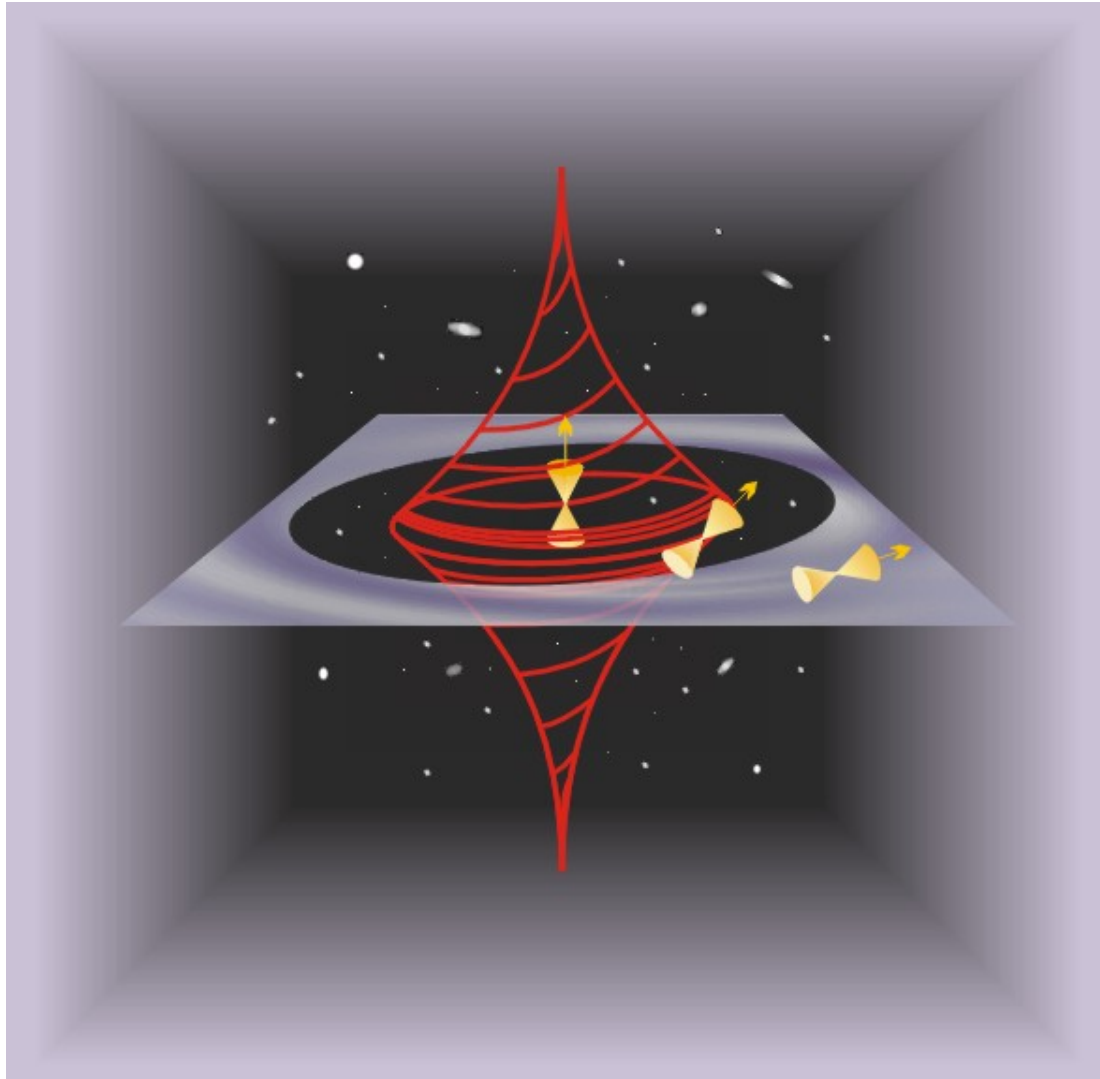
Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey

1. THE MAIN PROPERTIES OF THE NEW SOLUTION

ALL cosmological solutions with non-vanishing density of matter known at present¹ have the common property that, in a certain sense, they contain an "absolute" time coordinate,² owing to the fact that there exists a one-parametric system of three-spaces everywhere orthogonal on the world lines of matter. It is easily seen that the non-existence of such a system of three-spaces is equivalent with a rotation of matter relative to the compass of inertia. In this paper I am proposing a solution (with a cosmological term $\neq 0$) which exhibits such a rotation.



Gödel Universe: Space-Time



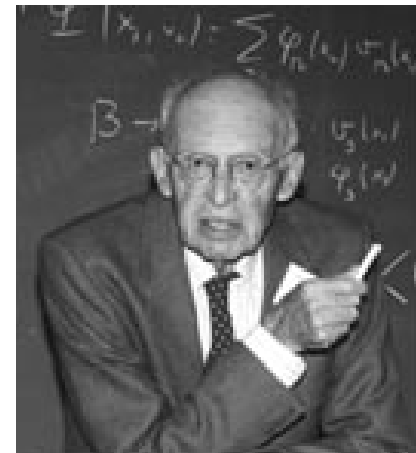
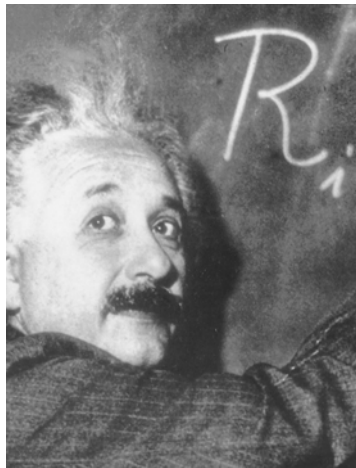
Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?

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

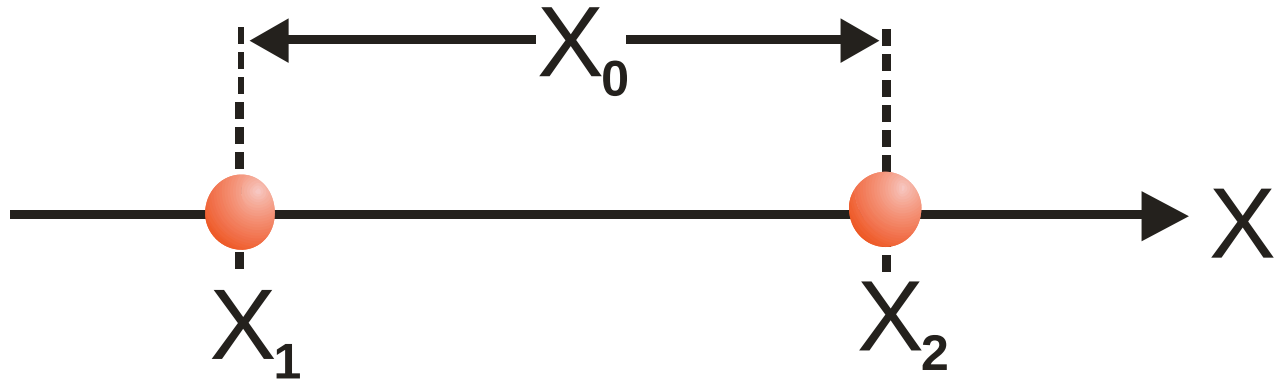
(Received March 25, 1935)

In a complete theory there is an element corresponding to each element of reality. A sufficient condition for the reality of a physical quantity is the possibility of predicting it with certainty, without disturbing the system. In quantum mechanics in the case of two physical quantities described by non-commuting operators, the knowledge of one precludes the knowledge of the other. Then either (1) the description of reality given by the wave function in

quantum mechanics is not complete or (2) these two quantities cannot have simultaneous reality. Consideration of the problem of making predictions concerning a system on the basis of measurements made on another system that had previously interacted with it leads to the result that if (1) is false then (2) is also false. One is thus led to conclude that the description of reality as given by a wave function is not complete.



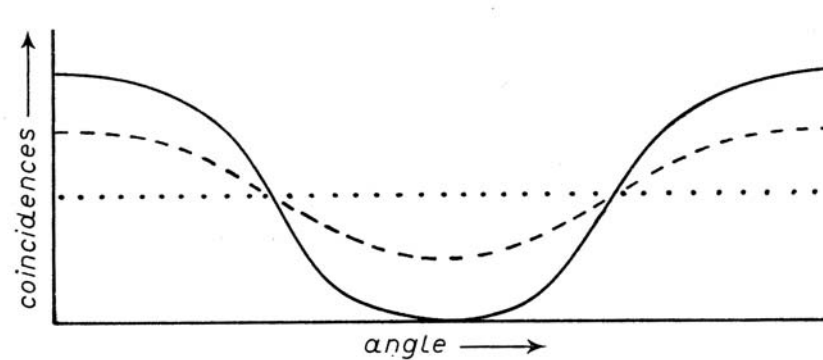
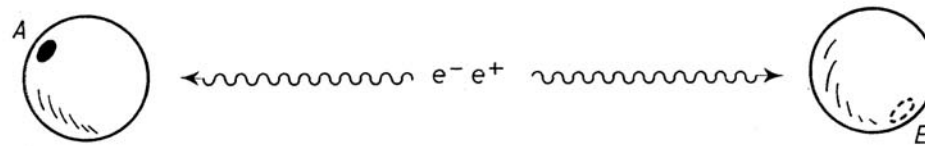
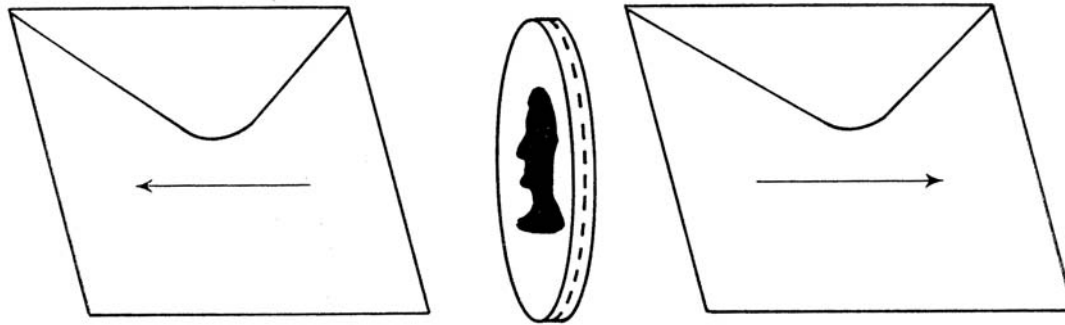
Entangled EPR-State



$$|\Psi\rangle = \int dx \, \delta(x_1 - x_2 + x_0) |x_1\rangle |x_2\rangle$$

Entanglement in EPR

J.A. Wheeler



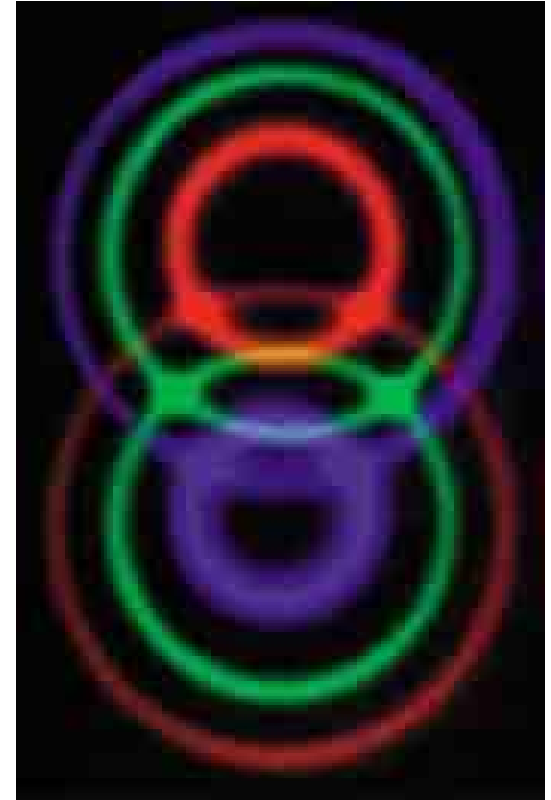
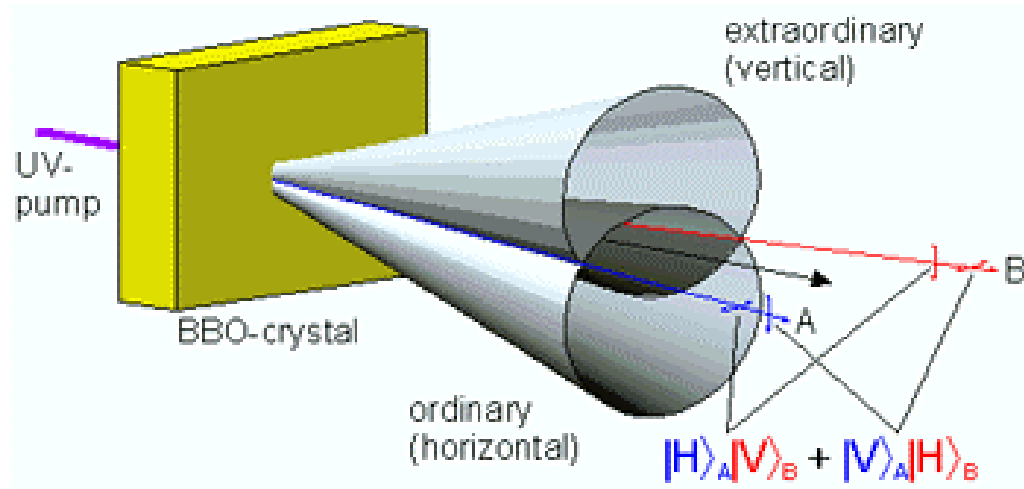
GOVERNOR,
IF WE WERE
TO TURN OFF
THE CAMERAS,
WOULD YOU
EXIST?

I DON'T
WANT TO
SPECULATE
ON THAT.

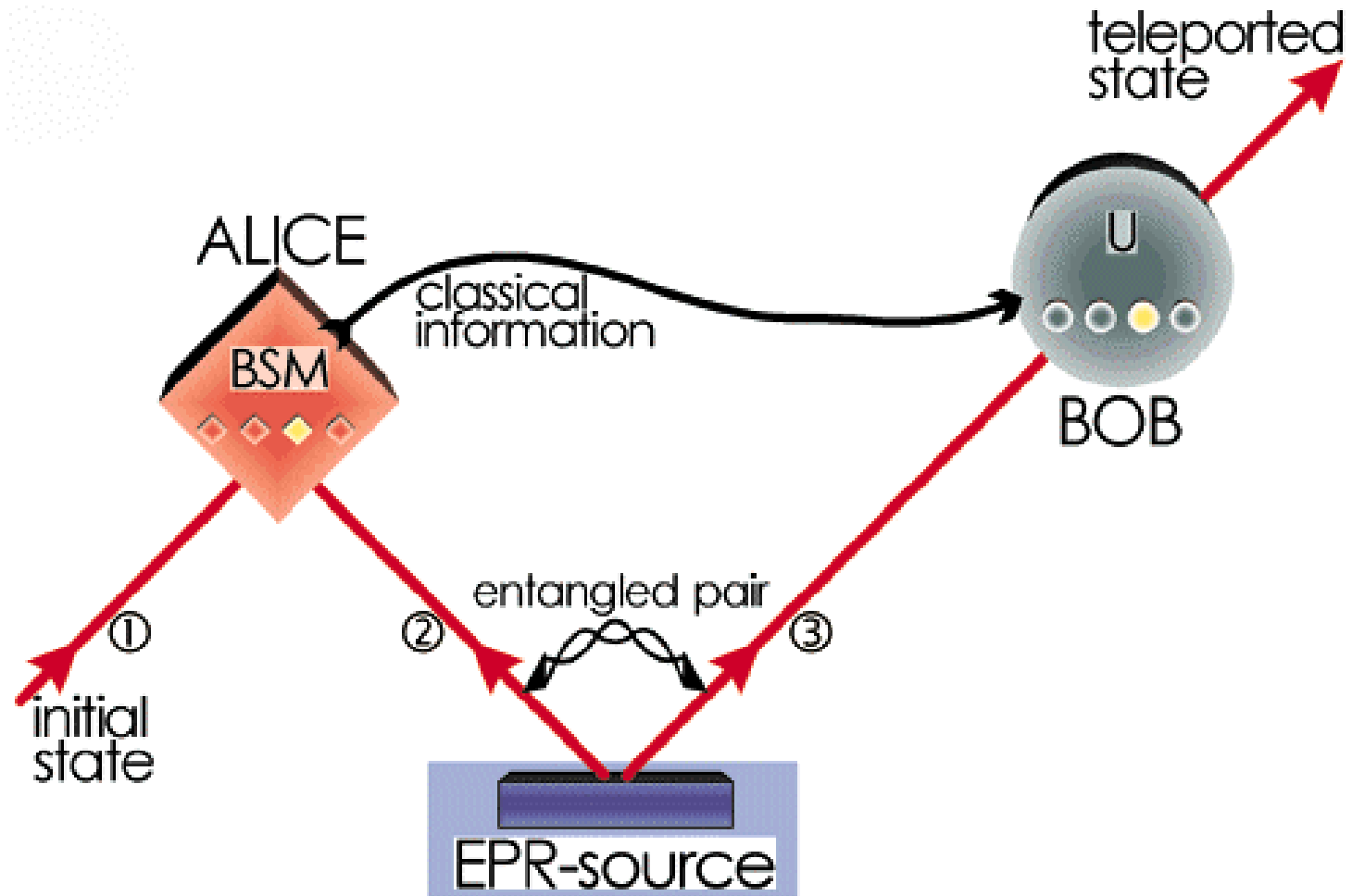


Entangled photons

A. Zeilinger (U. Wien)



Teleportation



DIE NATURWISSENSCHAFTEN

23. Jahrgang

29. November 1935

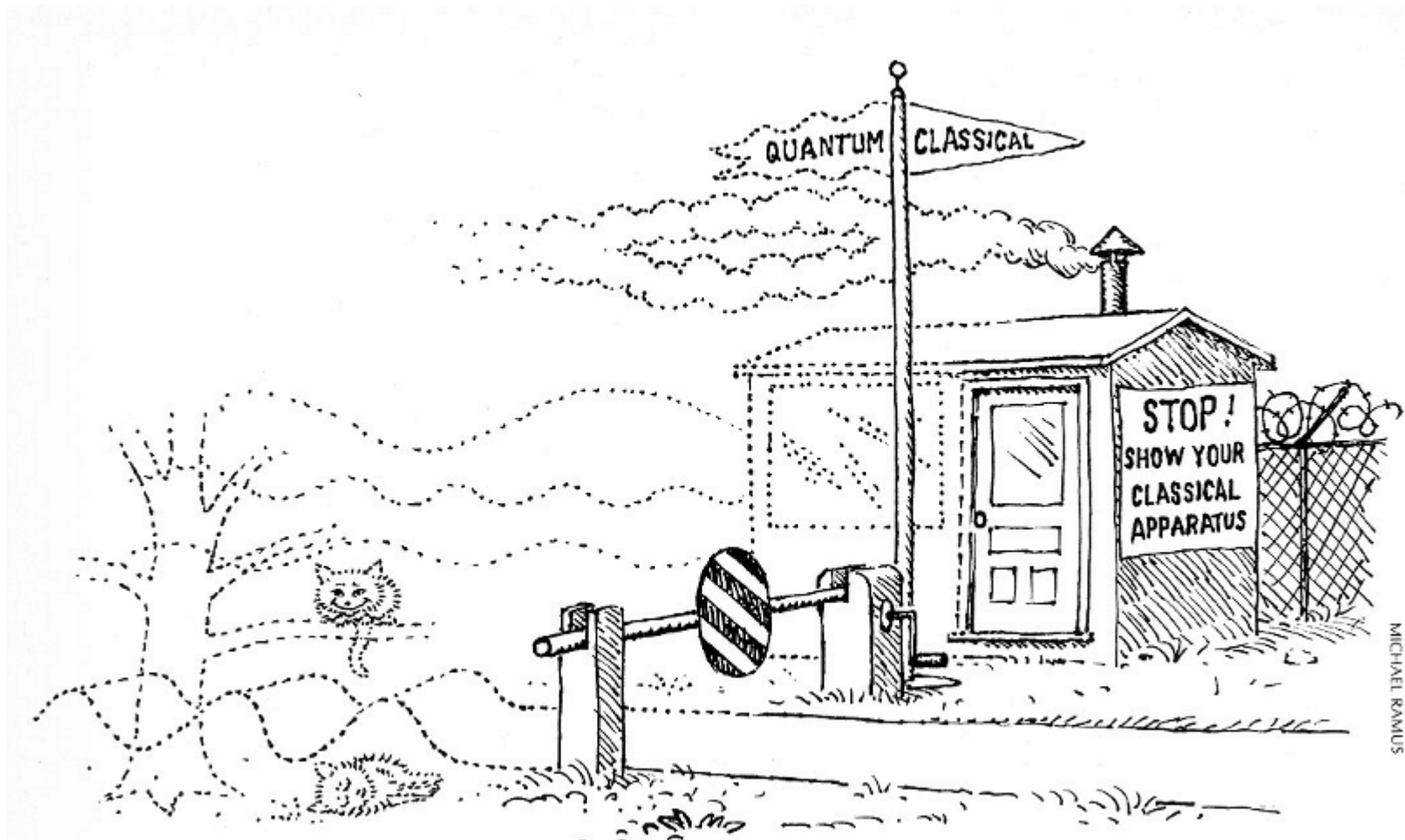
Heft 48

Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik.
Von E. SCHRÖDINGER, Oxford.



$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|a, i\rangle + |d, b\rangle)$$

Classical - Quantum Border



W.H. Zurek, Physics Today **44**, 36 (1991)

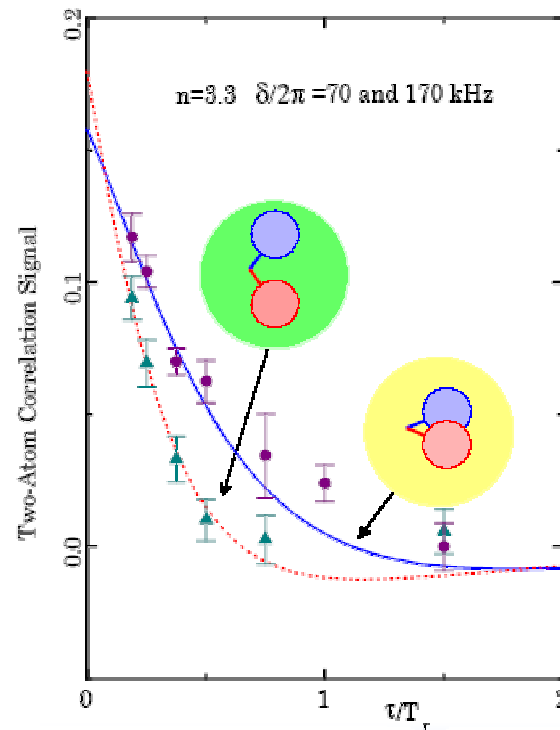
Observing the Progressive Decoherence of the “Meter” in a Quantum Measurement

M. Brune, E. Hagley, J. Dreyer, X. Maître, A. Maali, C. Wunderlich, J. M. Raimond, and S. Haroche

Laboratoire Kastler Brossel, Département de Physique de l'Ecole Normale Supérieure, 24 Rue Lhomond,*

F-75231 Paris Cedex 05, France

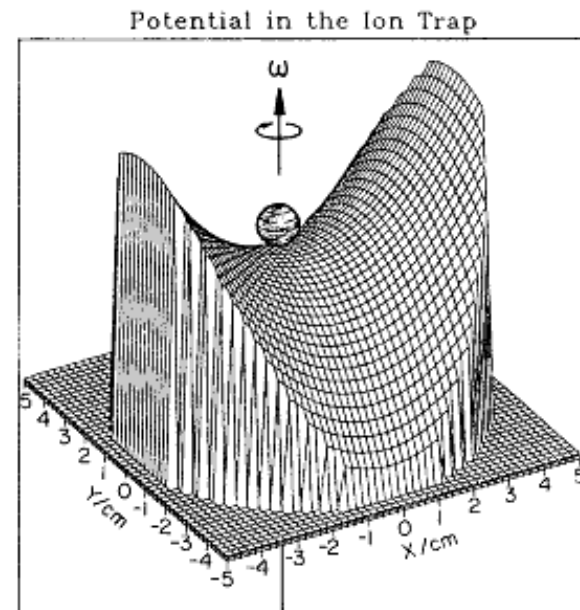
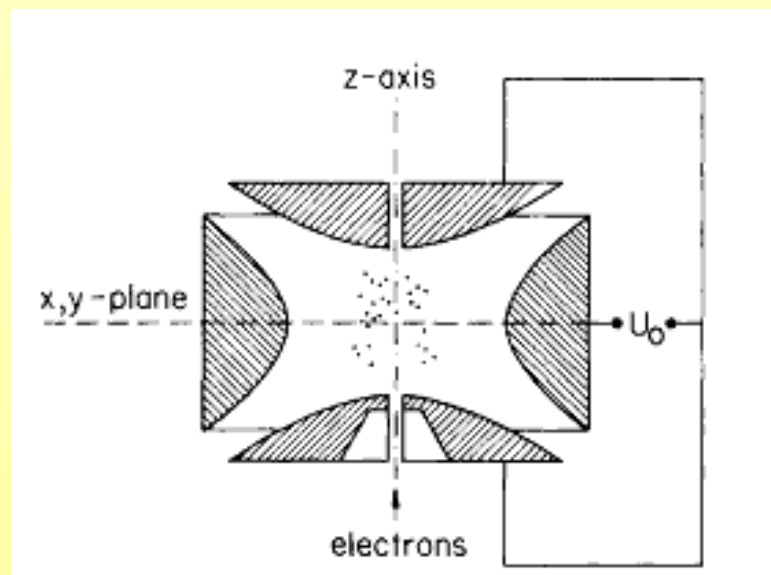
(Received 10 September 1996)



Electromagnetic traps for charged and neutral particles

Wolfgang Paul

Physikalisches Institut, Universität Bonn, Bonn, Germany

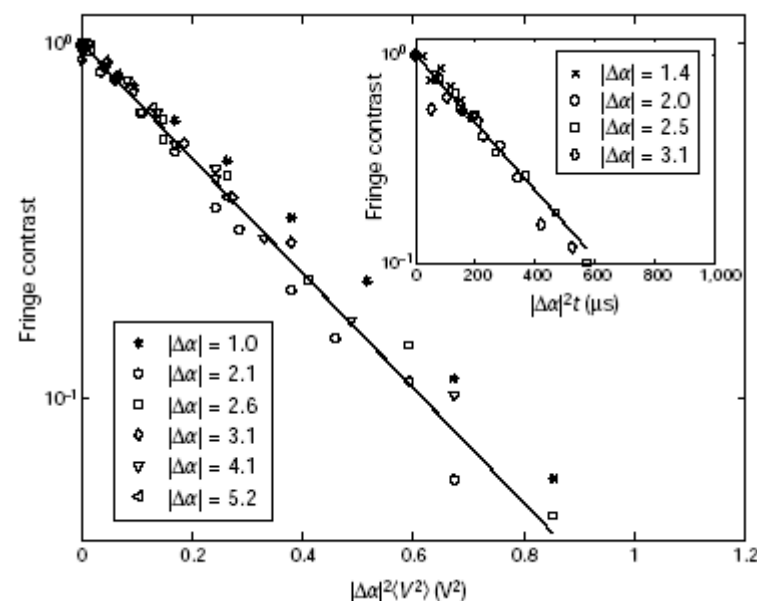
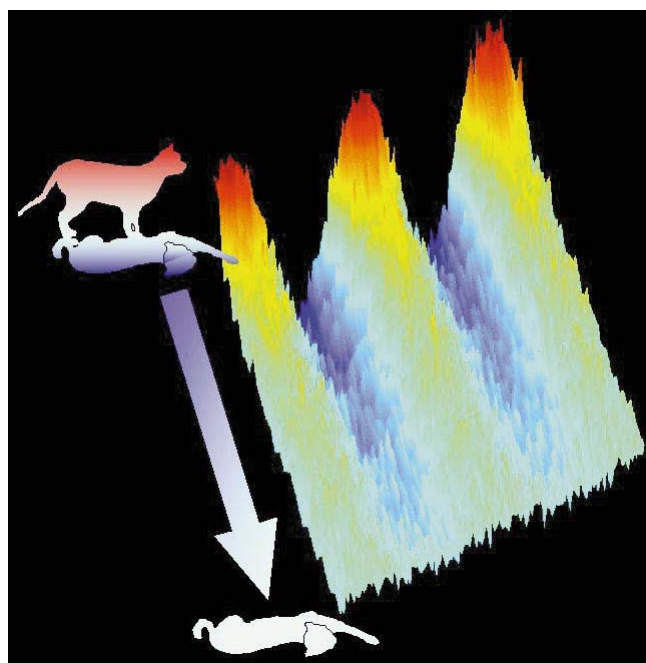


***This lecture was delivered 8 December 1989, on the occasion of the presentation of the 1989 Nobel Prize in Physics.**

Decoherence of quantum superpositions through coupling to engineered reservoirs

C. J. Myatt*, B. E. King*, Q. A. Turchette, C. A. Sackett, D. Kielpinski, W. M. Itano, C. Monroe & D. J. Wineland

National Institute of Standards and Technology, Div. 847.10, 325 Broadway, Boulder, Colorado 80303, USA



Plancks Gesetz und Lichtquantenhypothese.

Von **Bose** (Dacca-University, Indien).

(Eingegangen am 2. Juli 1924.)

Der Phasenraum eines Lichtquants in bezug auf ein gegebenes Volumen wird in „Zellen“ von der Größe h^3 aufgeteilt. Die Zahl der möglichen Verteilungen der Lichtquanten einer makroskopisch definierten Strahlung unter diese Zellen liefert die Entropie und damit alle thermodynamischen Eigenschaften der Strahlung.

Plancks Formel für die Verteilung der Energie in der Strahlung des schwarzen Körpers bildet den Ausgangspunkt für die Quantentheorie, welche in den letzten 20 Jahren entwickelt worden ist und in allen Gebieten der Physik reiche Früchte getragen hat. Seit der Publikation im Jahre 1901 sind viele Arten der Ableitung dieses Gesetzes vorgeschlagen worden. Es ist anerkannt, daß die fundamentalen Voraussetzungen der Quantentheorie unvereinbar sind mit den Gesetzen der klassischen Elektrodynamik. Alle bisherigen Ableitungen machen Gebrauch von der Relation

$$\varrho_\nu d\nu = \frac{8\pi\nu^2 d\nu}{c^3} E,$$

Quantentheorie des einatomigen idealen Gases.

VON A. EINSTEIN.

Eine von willkürlichen Ansätzen freie Quantentheorie des einatomigen idealen Gases existiert bis heute noch nicht. Diese Lücke soll im folgenden ausgefüllt werden auf Grund einer neuen, von Hrn. D. BOSE erdachten Betrachtungsweise, auf welche dieser Autor eine höchst beachtenswerte Ableitung der PLANCK'schen Strahlungsformel gegründet hat¹.

(4)

Quantentheorie des einatomigen idealen Gases.

(Eine ^(von willkürlichen Ansätzen freie) strenge Quanten-Theorie des einatomigen ^{idealen} Gases existiert bis heute noch nicht. Diese Lücke soll im folgenden ausgefüllt werden auf Grund einer ^(von Hrn. D. BOSE erdachten) neuen Betrachtungsweise, auf ~~Grund~~ ^{welcher} ~~dieser Autor~~ ^{Hrn. D. BOSE} eine höchst beachtenswerte Ableitung der Planck'schen Strahlungsformel gegründet hat.

Die Klammer drückt den Quanteneinfluß auf das MAXWELLSche Verteilungsgesetz aus. Man sieht, daß die langsamen Moleküle gegenüber den raschen häufiger sind, als es gemäß MAXWELLS Gesetz der Fall wäre.

SITZUNGSBERICHTE

1925.

I.

DER PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse vom 8. Januar.

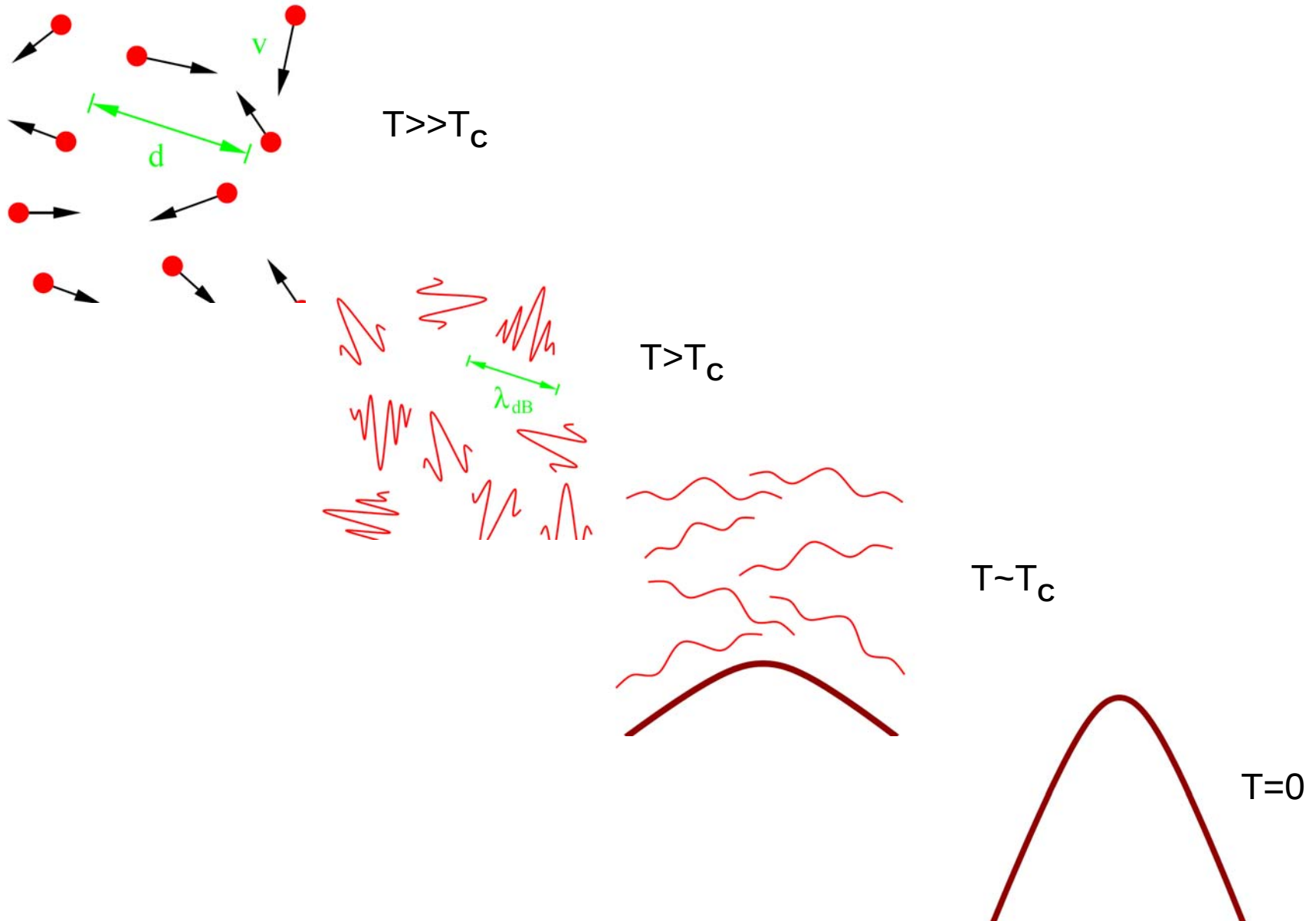
Quantentheorie des einatomigen idealen Gases.

Zweite Abhandlung.

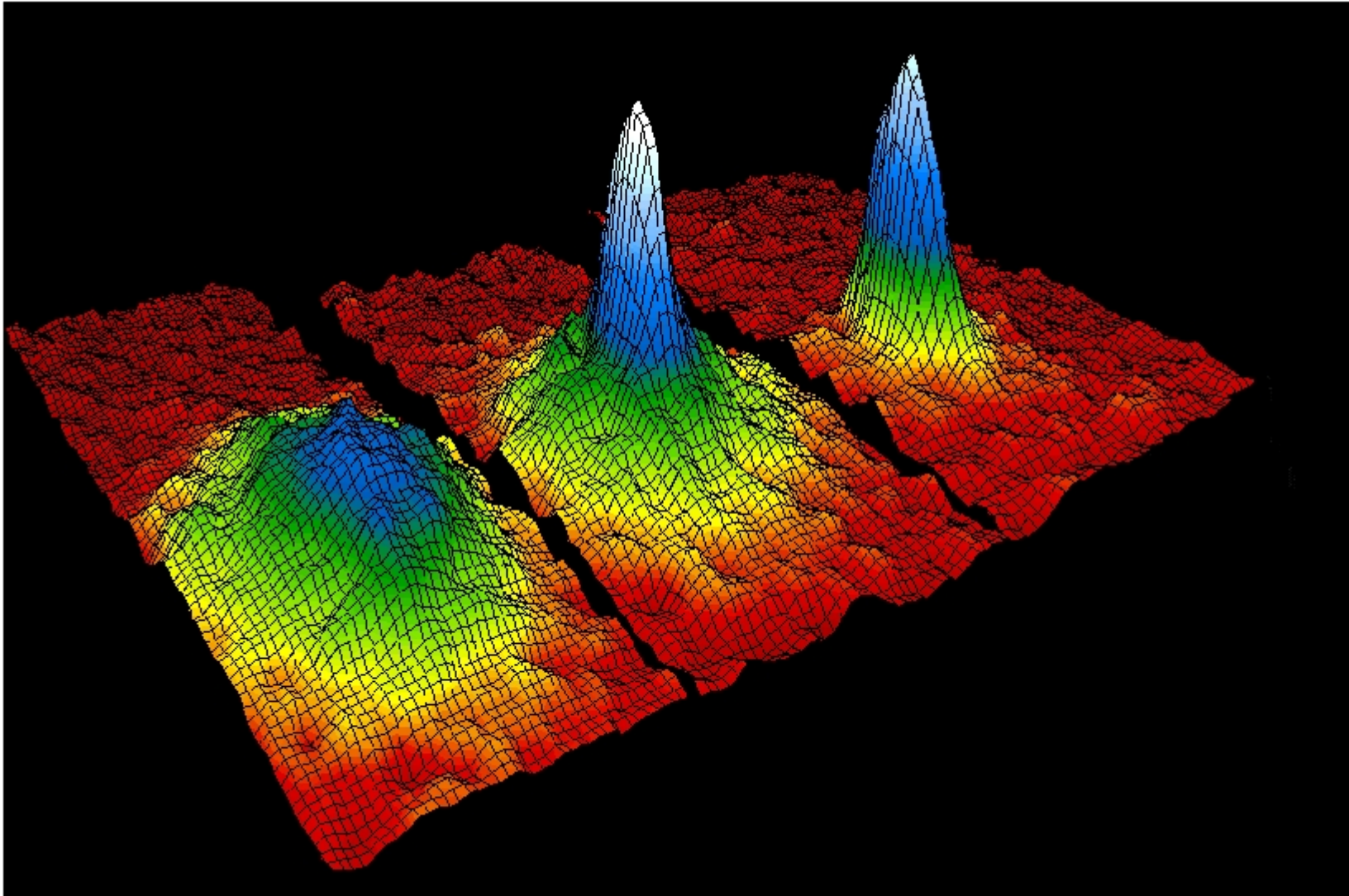
VON A. EINSTEIN.

Ich behaupte, daß in diesem Falle eine mit der Gesamtdichte stets wachsende Zahl von Molekülen in den 1. Quantenzustand (Zustand ohne kinetische Energie) übergeht, während die übrigen Moleküle sich gemäß dem Parameterwert $\lambda = 1$ verteilen. Die Behauptung geht also dahin, daß etwas Ähnliches eintritt wie beim isothermen Komprimieren eines Dampfes über das Sättigungsvolumen. Es tritt eine Scheidung ein; ein Teil »kondensiert«, der Rest bleibt ein »gesättigtes ideales Gas« ($A = 0 \quad \lambda = 1$).

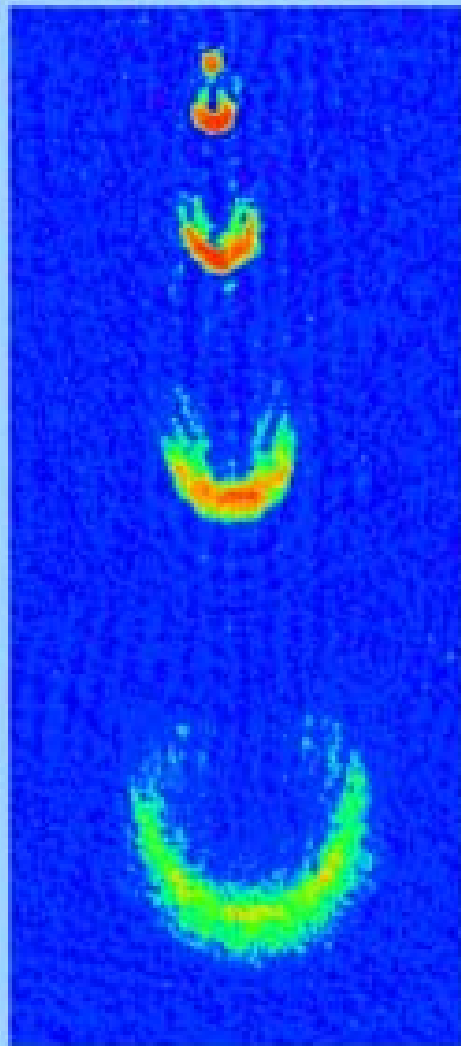
Towards Bose-Einstein condensation



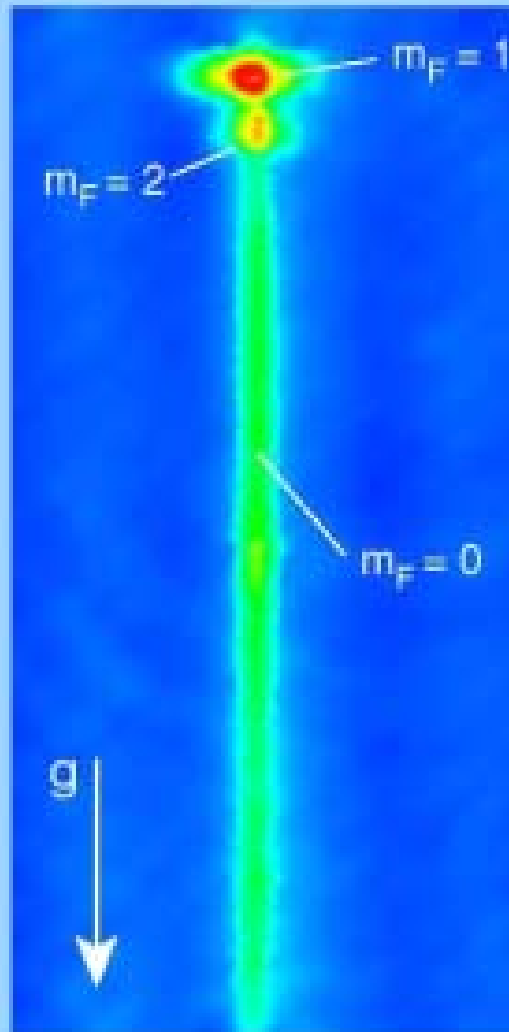
Boulder Rubidium condensate



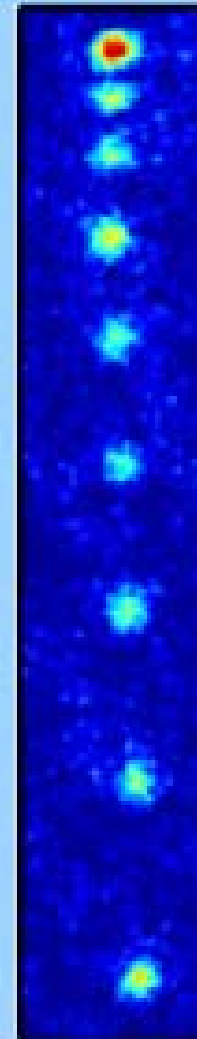
Atom laser gallery



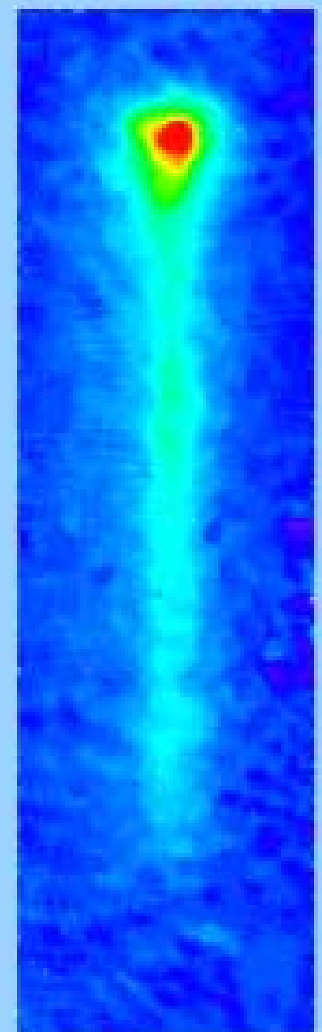
MIT '97



Munich '99

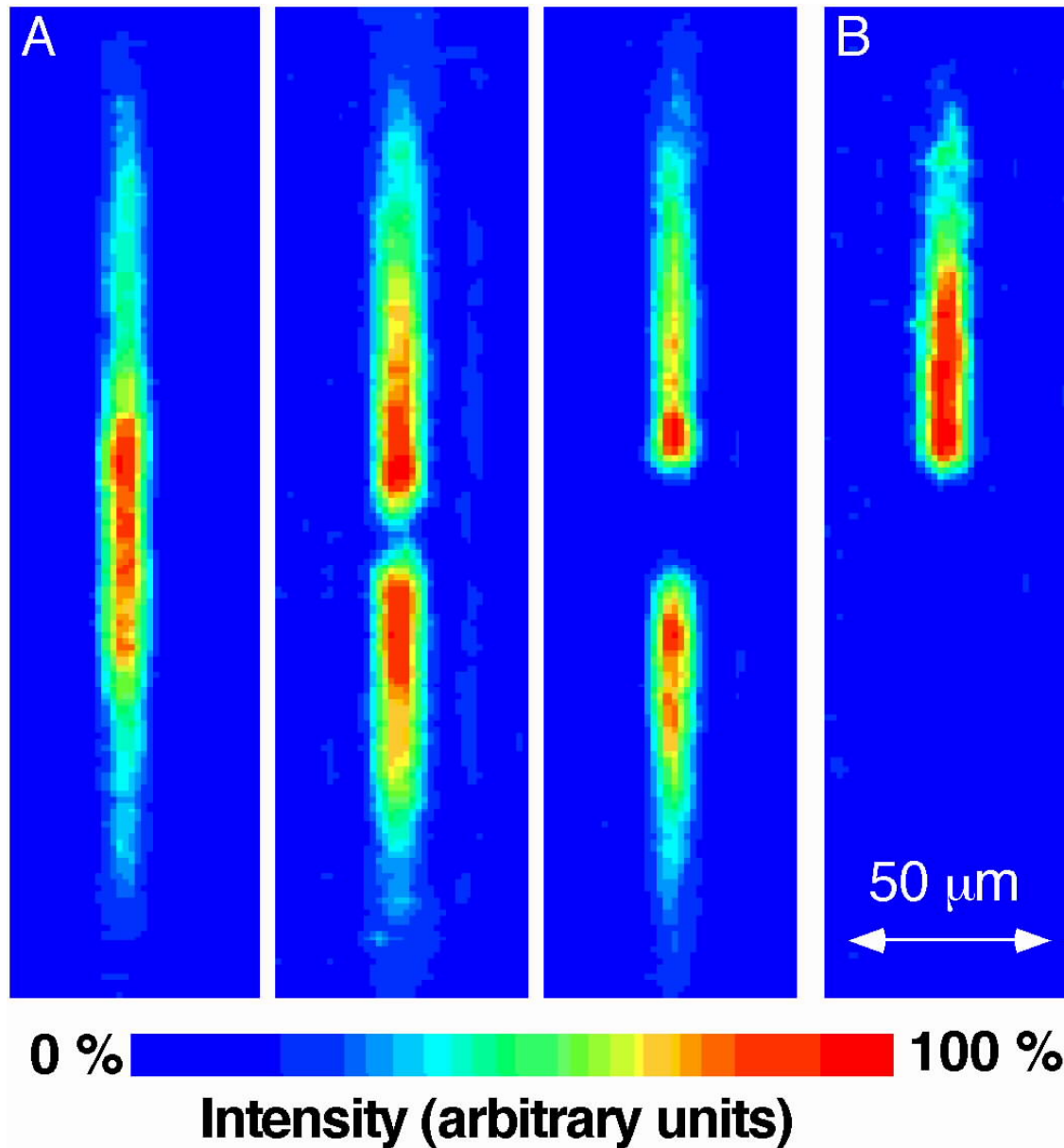


Yale '98

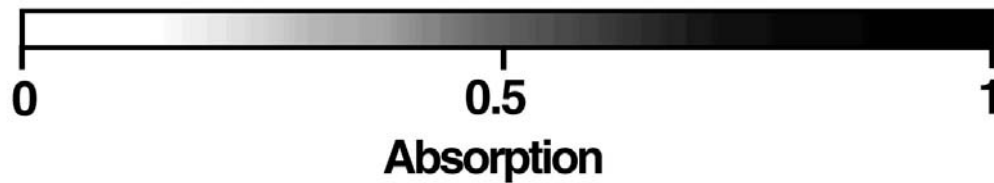
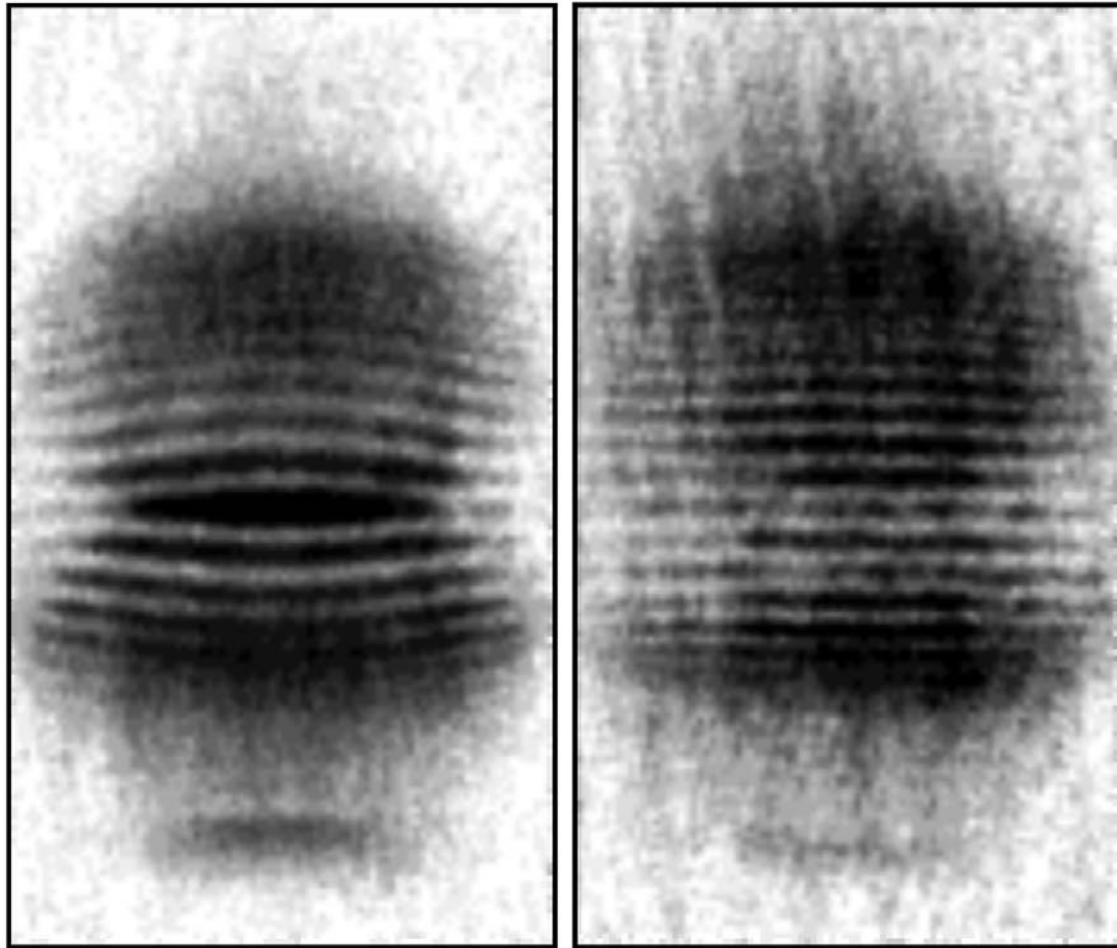


NIST '99

Quantum interference of two condensates



Interference fringes of two condensates

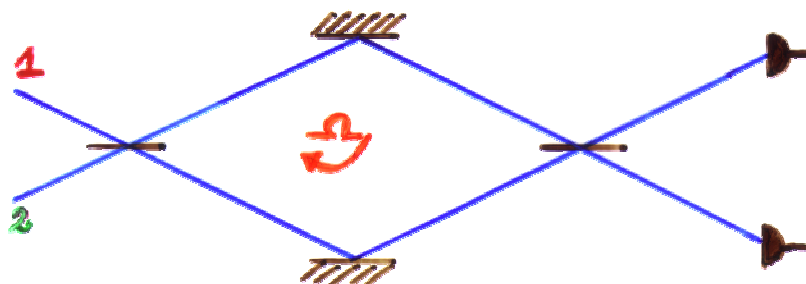


Correlated input-port, matter-wave interferometer: Quantum-noise limits to the atom-laser gyroscope

Jonathan P. Dowling*

*Weapons Sciences Directorate, AMSAM-RD-WS-ST, Missile Research, Development, and Engineering Center, Building 7804,
 U.S. Army Missile Aviation and Command, Redstone Arsenal, Alabama 35898-5000*

(Received 15 September 1997; revised manuscript received 9 February 1998)



$$|\psi_1\rangle \otimes |\psi_2\rangle$$

$$\mathcal{N} \left\{ \left| \frac{N+1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{N-1}{2} \right\rangle_2 + \left| \frac{N-1}{2} \right\rangle_1 \left| \frac{N+1}{2} \right\rangle_2 \right\}$$

$$\Omega_{\min}$$

$$\langle N \rangle^{-1/2}$$

$$\langle N \rangle^{-1}$$

Quantum gyroscopes and Gödel's universe: entanglement opens a new testing ground for cosmology

A Delgado¹, W P Schleich¹ and G Süssmann²

¹ Abteilung für Quantenphysik, Universität Ulm, D-89069 Ulm, Germany

² Sektion Physik der Ludwig-Maximilians-Universität, D-80333 München, Germany

E-mail: delgado@tangelo.phys.unm.edu,
Wolfgang.Schleich@physik.uni-ulm.de and
prof.dr.suessmann@t-online.de

New Journal of Physics **4** (2002) 37.1–37.8 (<http://www.njp.org/>)

Received 26 April 2002 in final form 10 June 2002

Published 26 June 2002

Abstract. Some exact solutions of Einstein's field equations represent a rotating universe. One example is Gödel's cosmological model. Bianchi solutions generalize the Gödel metric and include the expansion of the universe. We propose a measurement of the cosmic rotation using a light or matter wave interferometer based on the Sagnac effect. Entanglement between the quanta employed in this quantum gyroscope enhances the accuracy, thereby coming closer to the more-than-challenging requirements of such experiments.

How Anisotropic is Our Universe?

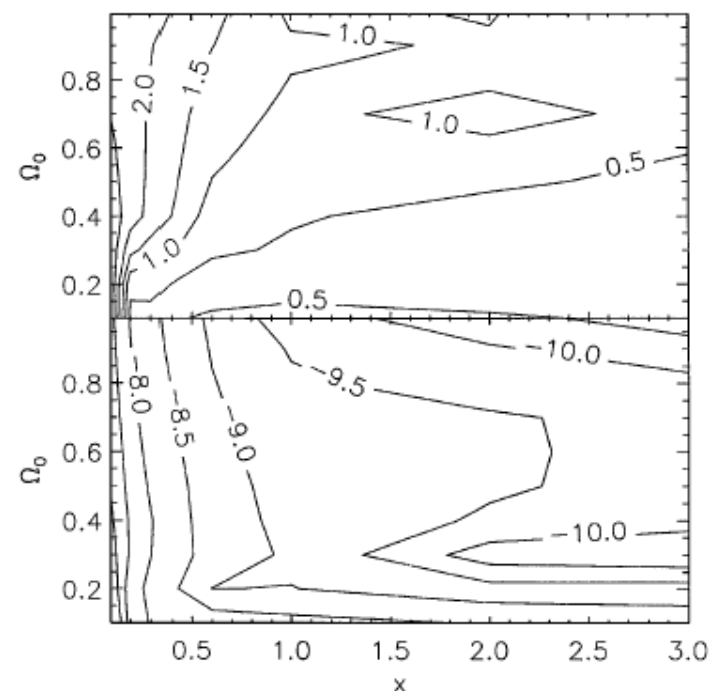
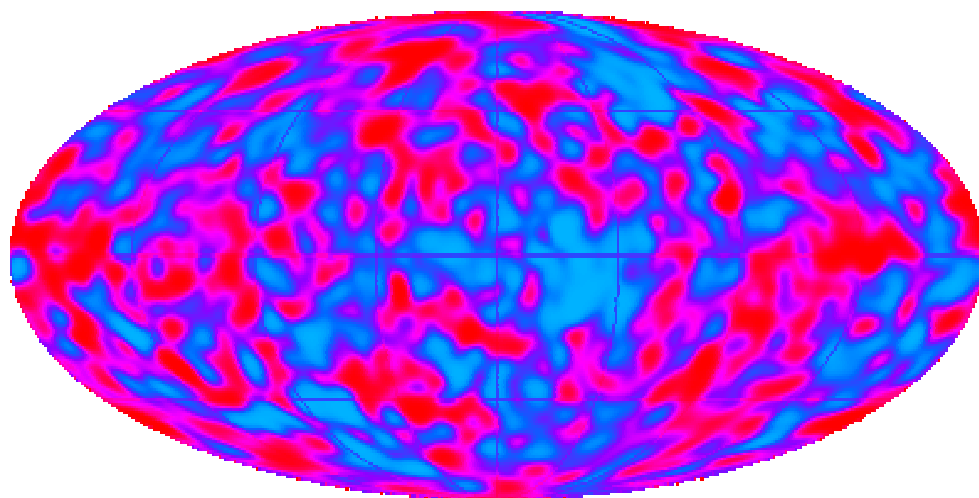
Emory F. Bunn, Pedro G. Ferreira, and Joseph Silk

*Center for Particle Astrophysics, and Departments of Astronomy and Physics, University of California,
Berkeley, California 94720-7304*

(Received 20 May 1996)

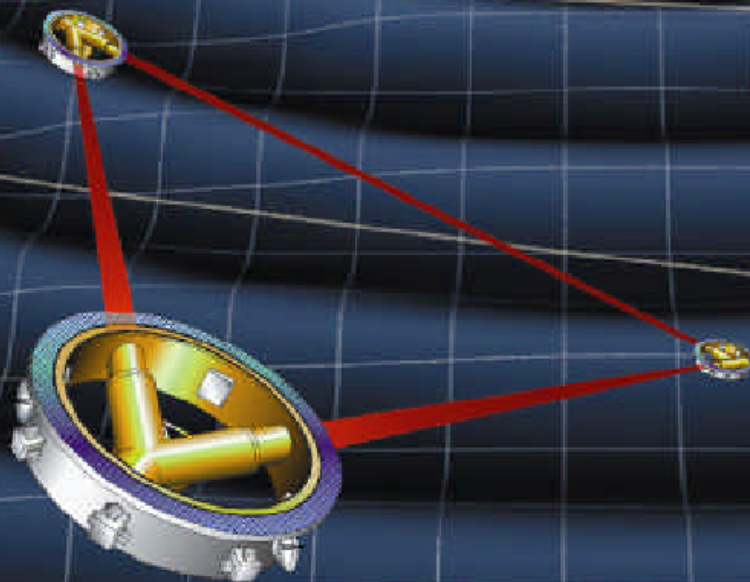
Large-scale cosmic microwave background anisotropies in homogeneous, globally anisotropic cosmologies are investigated. We perform a statistical analysis in which the 4-yr data from the Cosmic Background Explorer satellite is searched for the specific anisotropy patterns predicted by these models and thereby set definitive upper limits on the amount of shear, $(\sigma/H)_0$, and vorticity, $(\omega/H)_0$, which are orders of magnitude stronger than previous constraints. We find that primordial anisotropy should have been fine tuned to be less than 10^{-3} of its natural value in the Planck era. [S0031-9007(96)01275-6]

PACS numbers: 98.70.Vc, 98.80.Cq, 98.80.Hw



LISA

Laser Interferometer
Space Antenna



<http://lisa.jpl.nasa.gov>

28 June 2000

Overview

- Foundations
- Rotation
- Entanglement
- Schrödinger cat
- Decoherence
- Bose-Einstein condensates
- Quantum gyroscopes