

Bemerkungen zum Weltbild der Physik des 20. Jahrhunderts

Jürg Fröhlich

ETH Zürich

Winterthur, 18. April, 2011

1

„In our description of Nature the purpose is **not** to disclose the ‚real essence‘ of the phenomena but only to track down, so far as it is possible, **relations** between the manifold aspects of our experience.“ (*Niels Bohr*)

„The beginning of all philosophical thought is the realization that the perceptual world is but an image, a vision, a phenomenon of our consciousness“ (or brain).

(*Hermann Weyl*)

„Nihil veri habemus in nostra scientia nisi nostram mathematicam.“ (*Nicolaus Cusanus*)

2

Zum Inhalt dieses Vortrags

1. Plan meines Vortrags
2. Abschied von der alten Welt
3. Abschied von der Idee der Voraussagbarkeit der Zukunft in der Relativitätstheorie
4. Ein altes Paradigma: Die atomistische Struktur der Materie
5. Abschied vom Realismus und vom Kausalgesetz in der Quantenmechanik
6. Ein paar Schlussbemerkungen

3

1. Plan meines Vortrags

„What I primarily want(ed) to make clear to you by my exposition is how at this point age-old religious and metaphysical ideas and questions are intimately connected with the ultimate problems of actual science.“ (*Hermann Weyl*)

Ziel des Vortrags: Allgemein verständlich erklären, wie sich das physikalische Weltbild im Laufe des 20. Jahrhunderts verändert hat.

„Diese Welt ist nicht die Welt allein.“ (*Franz Werfel*)

4

Hermann Weyl



Simone Weil



Markus Fierz



5

2. Abschied von der alten Welt

Die Vorstellungen von *Grosseteste, Bacon, Cusanus, Kopernikus, Bruno, Kepler, Galilei, Newton, Laplace* u.a., (Empirik, Experimente, Rolle der Mathematik; Kinematik und Dynamik; Erde und Sonnensystem aus Zentrum der Welt verbannt) – jedoch:

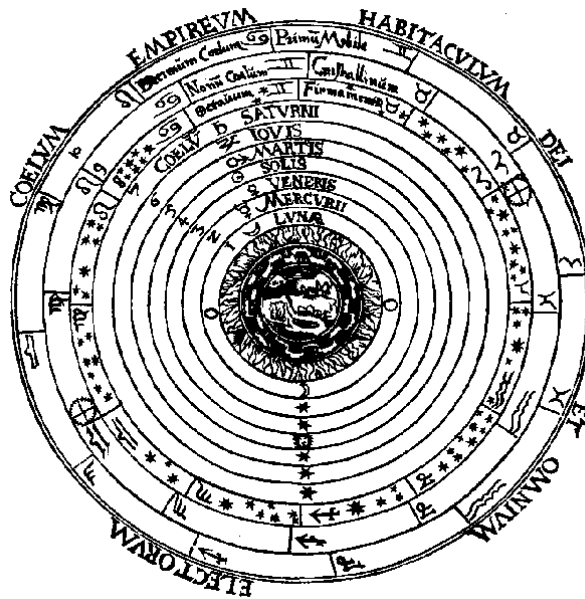
„Galilei fasste die Welt als Werk Gottes auf, als ein „Buch“, das vor uns offen liegt und in dem wir lesen müssen. ...

Die mathematischen Wahrheiten, die der Mensch begriffen hat, kommen darum an objektiver Gewissheit der göttlichen Erkenntnis gleich. Das sagt Galilei ausdrücklich, ...“ (Markus Fierz)

Widersprüchlichkeit zwischen mechanistisch-deterministischer Physik und den Phänomenen des Geistes und der Freiheit in *Newtons* Weltbild.

6

Das zwiebelförmige Universum des Aristoteles



7

3. Abschied von der Idee der Voraussagbarkeit der Zukunft in der Relativitätstheorie

Grundpostulate der SRT:

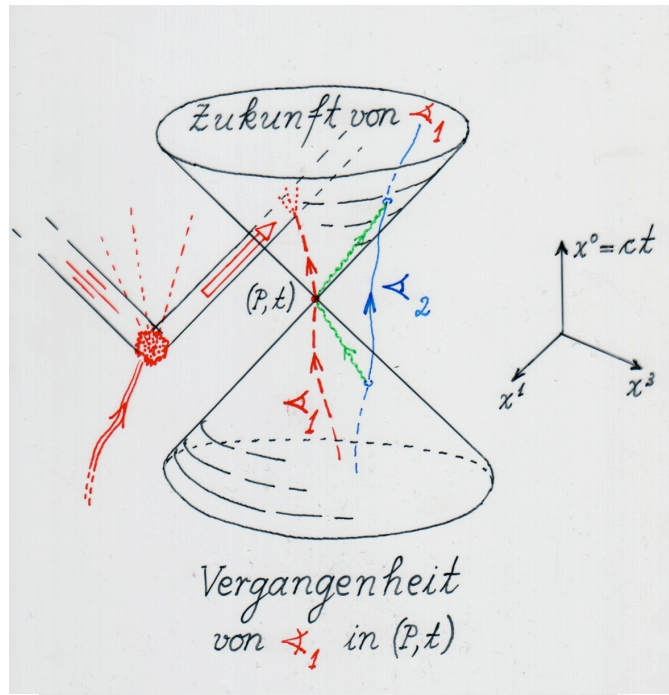
Beliebig zu einander bewegte, kräftefreie Beobachter sehen einen beliebigen kugelförmigen Stern an ihrem Firmament stets als *Kreisscheibe* → Transformationen der Bilder des Firmaments verschiedener Beobachter auf einander sind *Möbius Transformationen* des Firmaments = *Poincaré Transformationen* der Raum-Zeit.

Räumlicher Abstand eines Ereignisses am Firmament eines Beobachters

= {zeitlicher Abstand zwischen Auftreten des Ereignisses und Zeitpunkt seiner Beobachtung} × {Lichtgeschwindigkeit}

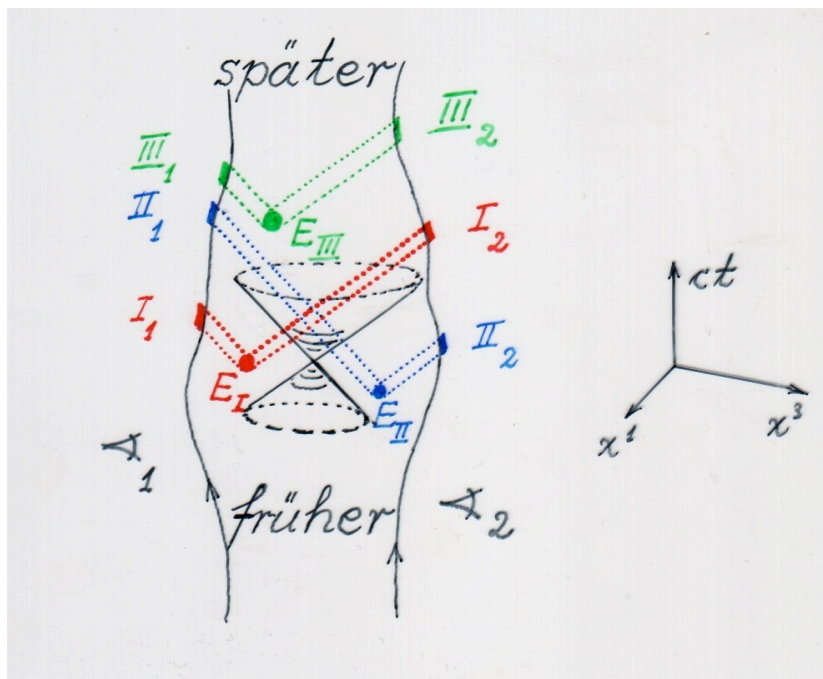
8

Kausale Struktur der Raum-Zeit



9

Relativität der zeitlichen Reihenfolge von Ereignissen



10

Zusammenfassung von 3.

- (1) Beobachter endlicher Lebensdauer haben prinzipiell nie genug Informationen über ihre Vergangenheit, um daraus die Zukunft vorausberechnen zu können – *Abschied vom naiven Determinismus!*
- (2) Die zeitliche Reihenfolge „raumartig getrennter“ Ereignisse hängt vom Beobachter ab. Die zeitliche Dauer und „Farbe“ eines Ereignisses hängt vom Beobachter ab.
- (3) Raum-Zeit, ihre kausale Struktur und ihre Geometrie sind „emergent“: Relationen zwischen vielen Ereignissen, wie sie von vielen Beobachtern wahrgenommen und vermessen werden. „*Indeed, space and time are nothing in themselves, but only a certain order of the reality happening in them.*“ (H. Weyl)
- (4) Es ist denkbar, dass es realistische (klassische) Theorien des Universums gibt, die vollkommen *akausale* Ereignisse beschreiben – Abschied vom Kausalitätsprinzip.

4. Ein altes Paradigma: Die atomistische Struktur der Materie

Leukipp und Demokrit:

- (i) Idee des Atomismus
- (ii) Das Naturgeschehen ist durch „eherne“ Gesetze bestimmt
- (iii) Kausalgesetz

Kontinuumstheorien der Materie (Bernoulli, Euler, Maxwell, Vlasov)

➔ atomistische Theorien (Wirbel mit quantisiertem Fluss, Photonen, Newtonsche Himmelsmechanik)

Übergang von Kontinuums- zu atomistischen Theorien kann als Quantisierung der ersteren aufgefasst werden; d.h.

Atomismus als Resultat einer „*Quantisierung*“!

Quantisierung: Ersetzen von ‚Funktionen‘ durch ‚Matrizen‘ als Darstellung physikalischer Grössen → probabilistische (idealistische) Darstellung des Naturgeschehens.

Atomistische Theorien der Materie als „Quantisierung“ von Kontinuumstheorien – Kontinuumstheorien der Materie als *klassischer Limes* atomistischer Theorien.

Beispiele: Newtonsche Mechanik als Quantisierung der Vlasov Theorie, Elektrodynamik → Theorie der Lichtquanten

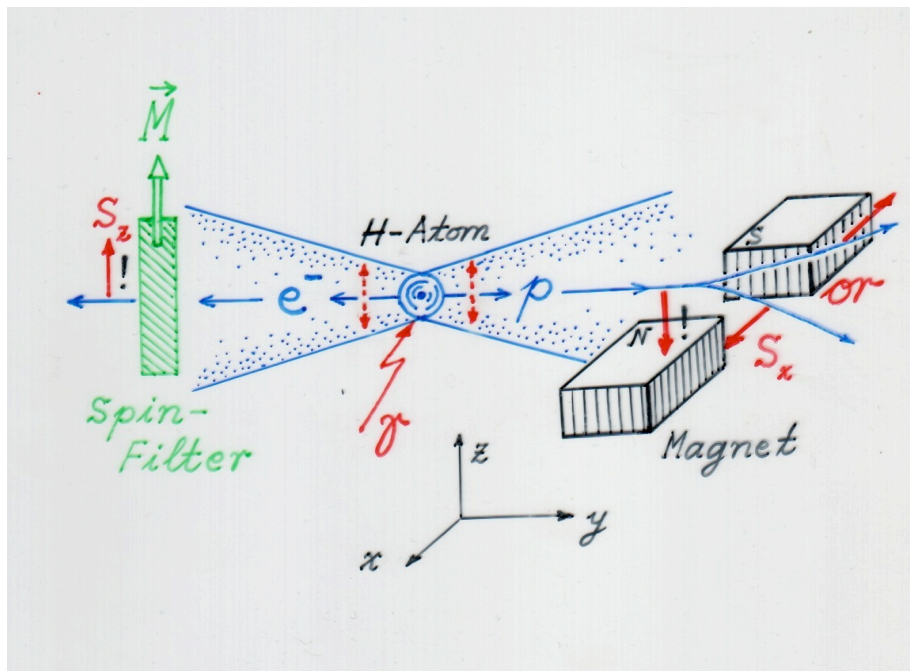
Konsequenzen: Z. B. $E = \hbar\omega$ → *Plancksches Gesetz*

5. Abschied vom Realismus und vom Kausalgesetz in der Quantenmechanik

„Field physics, I feel, really plays only the rôle of „world geometry“; in matter there resides still something different, and real, that cannot be grasped causally, but perhaps should be thought of in the image of „independent decisions“ and that, in physics, we account for by statistics.“ (*Weyl an Pauli, anno 1919*)

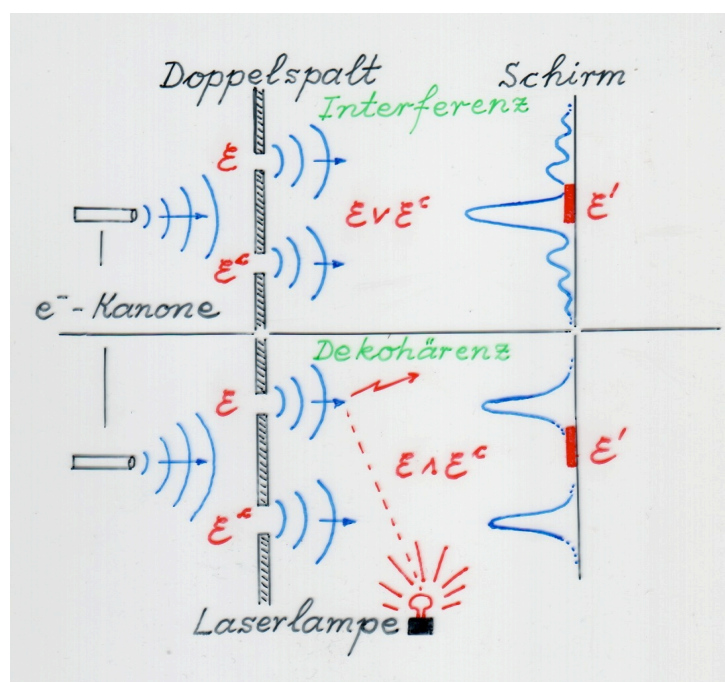
„...the entire physics of matter is statistical in nature.“
(*H.Weyl, 1922*)

Spin Messungen an einem Teilchenpaar (e.g., e - p)



15

Das Doppelspaltexperiment



16

Zeitgeordnete Ketten von Ereignissen und Wigners Formel

\mathcal{E} : Ereignis \leftrightarrow orth. Proj. E

\mathcal{E}^c : klass. komplementäres Ereignis $\leftrightarrow E^\perp := 1 - E$

$\mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_n$: zeitgeordnete Kette von Ereignissen in Syst. S

ω : q.m. "Zustand" von S .

Wigners Formel

$$W\{\mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_n\} = \omega(E_1 \dots E_{n-1} E_n \dots E_1)$$

Mass für "Interferenz" zw.

\mathcal{E}_i und \mathcal{E}_i^c

$$|\omega(E_1 \dots E_i \dots E_n \dots E_i^\perp \dots E_1)|$$

17

Interferenz

Im allg.

$$W\{\mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_i, \dots, \mathcal{E}_n\}$$

$$+ W\{\mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_i^c, \dots, \mathcal{E}_n\}$$

$$\neq W\{\mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_{i-1}, \mathcal{E}_{i+1}, \dots, \mathcal{E}_n\},$$

ausser für $i=n$, es sei

denn, es gebe vollst.

Dekohärenz!

18

Schlussbemerkungen

Die Physik des 20. Jahrhunderts hat unser Bild von der Welt in befreiender Weise geöffnet. Ihre gewaltige Kraft, relevante, *objektiv-universelle* Aussagen über die Natur zu machen und mit ihren Entdeckungen unsere Lebensbedingungen zu verändern, hat sie bis heute nicht eingebüsst.

„An der Basis der ganzen modernen Sicht der Welt liegt die **Illusion**, dass die sog. Naturgesetze die Erklärungen der natürlichen Erscheinungen sind“ (*Ludwig Wittgenstein*)

„Science is a way of trying not to fool yourself!“ (*Richard. P. Feynman*)

Verzicht auf den Bogen zwischen Naturwissenschaft und Religion – aber Einsicht in die Wichtigkeit des Dialogs zwischen Philosophen und Naturwissenschaftlern.

Etc.