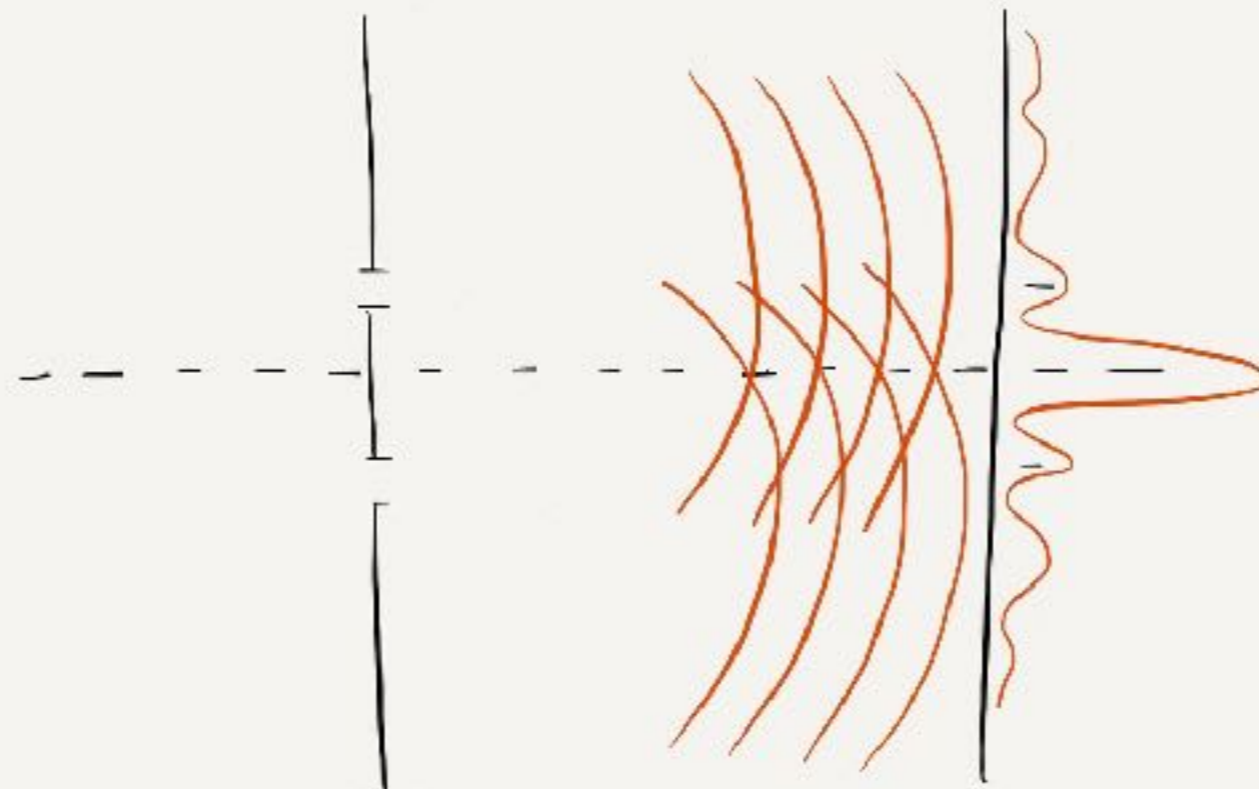


# Quantenphysik



## Die Bohr-Einstein-Debatte

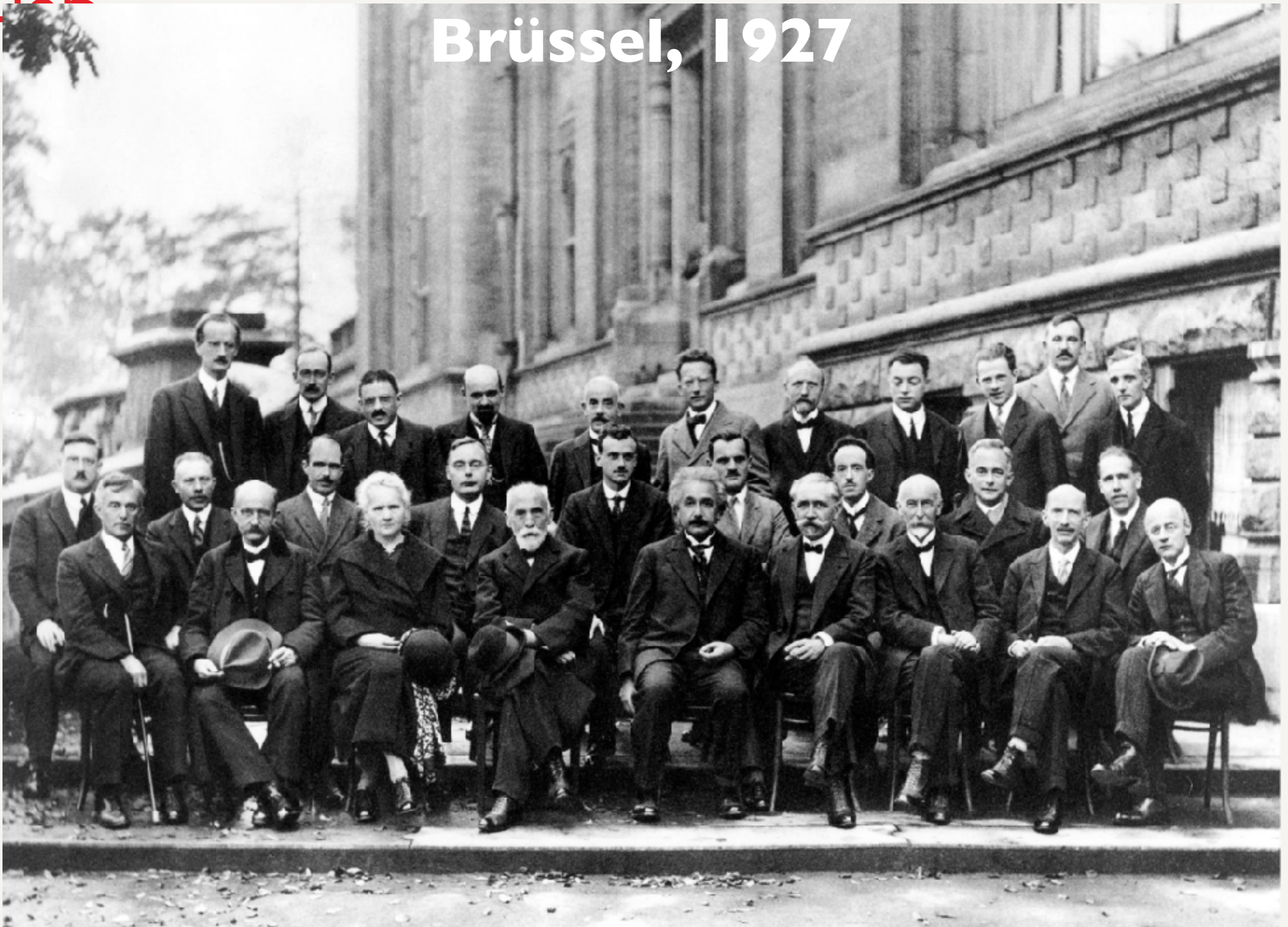
# Zeitlicher Ablauf

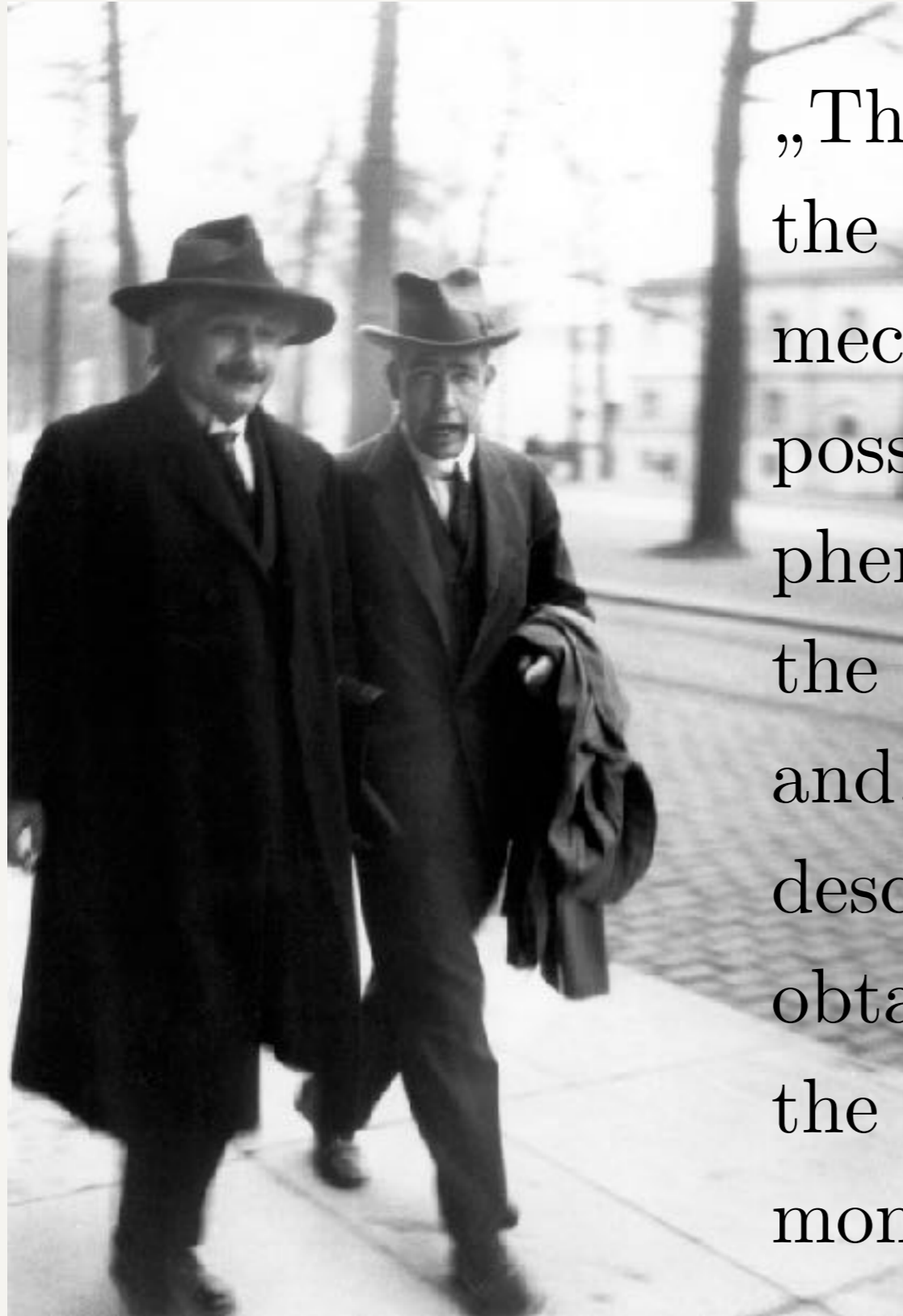
- September 1927: Como, Italien. Vortrag von Niels Bohr zu Komplementarität und dem Heisenberg'schen Unschärfeprinzip
- **Oktober 1927: Brüssel, Belgien: 5. Solvay-Konferenz**
- 1930: Brüssel, Belgien: 6. Solvay-Konferenz
- 1935: Einstein-Podolsky-Rosen und Antwort von Bohr

# Literatur

- Die heutige Veranstaltung basiert inhaltlich auf zwei Büchern:
  - ▶ [1] Suspended in Language
  - ▶ [2] Carsten Held, „*Die Bohr-Einstein-Debatte*“, mentis Verlag Paderborn (1999)

# Brüssel, 1927





„The discussions, however, centred on the question of whether the quantum-mechanical description exhausted the possibilities of accounting for observable phenomena or, as Einstein maintained, the analysis could be carried further and, especially, of whether a fuller description of the phenomena could be obtained by bringing into consideration the detailed balance of energy and momentum in individual processes.“

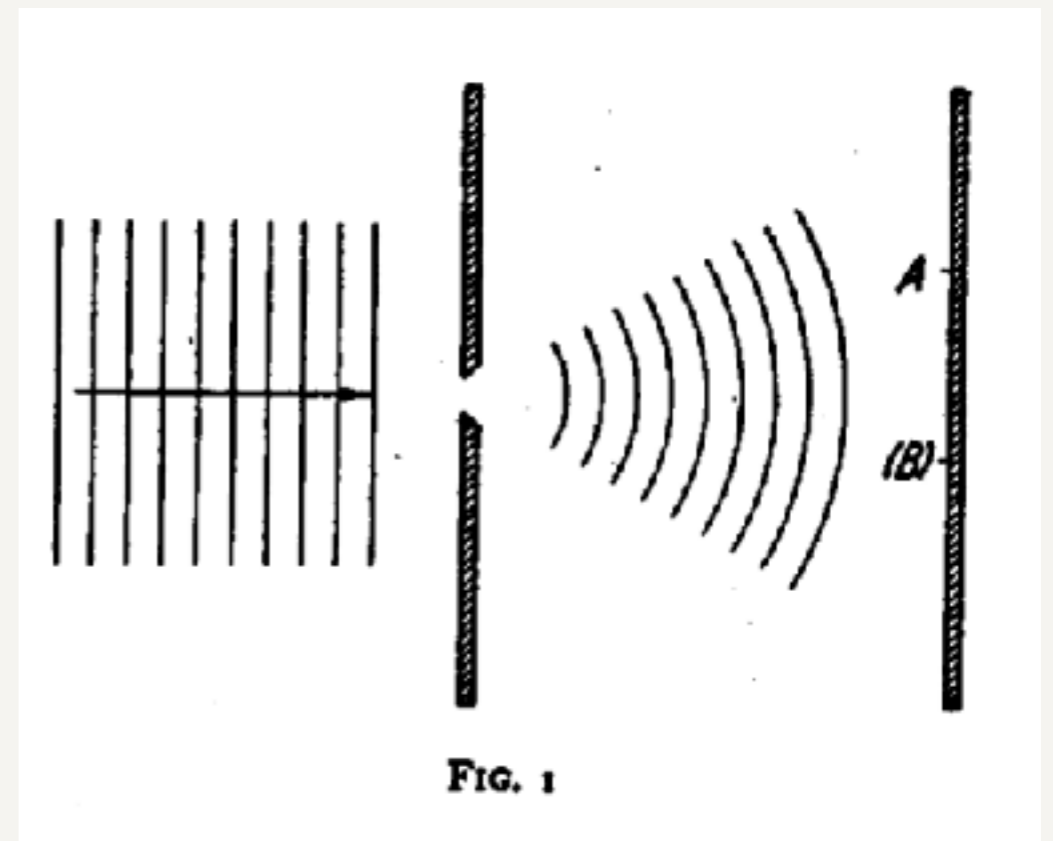
Niels Bohr „*Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics*“, in: Paul A. Schilpp (ed.), „Albert Einstein - Philosopher-Scientist“, Open Court (1949), p. 199

# Solvay, 1927

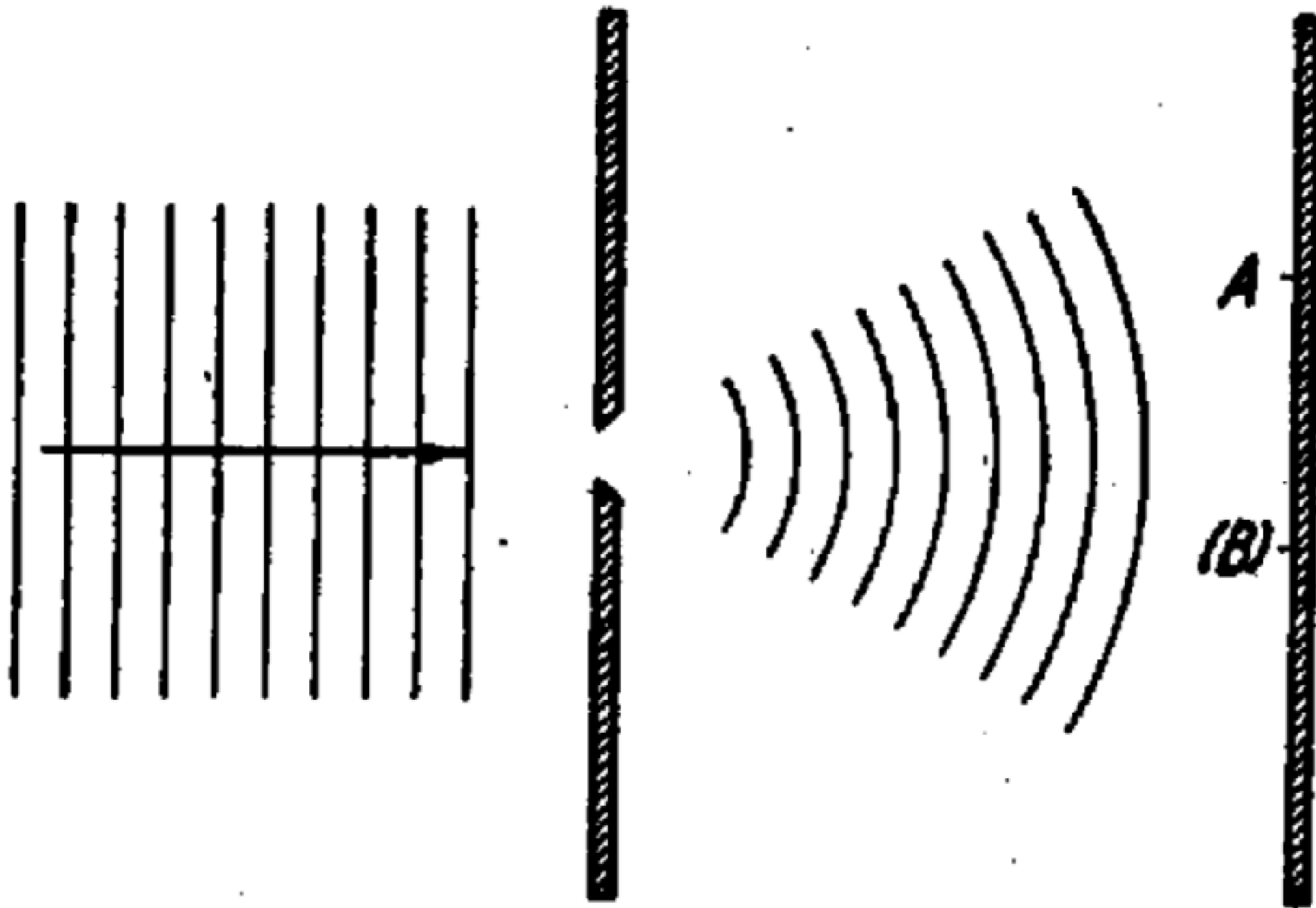
Suspended in Language, pp. 150 - 155

# Kritik I: der Kollaps der Wellenfunktion

- Beispiel: Elektronen werden an einem Spalt gebeugt.
- Die Quantenmechanik beschreibt das auch für ein einzelnes Teilchen.
- Aber wenn es in  $A$  gemessen wird, wie hätte es dann gleichzeitig mit  $B$  interagieren können?



Niels Bohr „Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics“,  
in: Paul A. Schilpp (ed.), „Albert Einstein - Philosopher-Scientist“, Open Court (1949), p. 199



**FIG. 1**

Niels Bohr „Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics“,  
in: Paul A. Schilpp (ed.), „Albert Einstein - Philosopher-Scientist“, Open Court (1949), p. 199



# Kritik 2: die Heisenberg'sche Unschärfe

- Nun versucht Einstein mit einem gezielten Gegenbeispiel die Unschärfe zu widerlegen.
- In den Beispielen wird immer wieder versucht Ort und Impuls gleichzeitig genau zu bestimmen.

# Heisenberg'sche Unschärferelation

- Von einem Teilchen kann nicht gleichzeitig der Ort und Impuls mit beliebiger Genauigkeit bestimmt werden.
- Schärfer formuliert: es gibt keine und kann keine Wellenfunktion geben, die diese Relation verletzt.
- **Es ist also nicht die Unfähigkeit zu messen, sondern das System ist prinzipiell gar nicht bestimmt!**

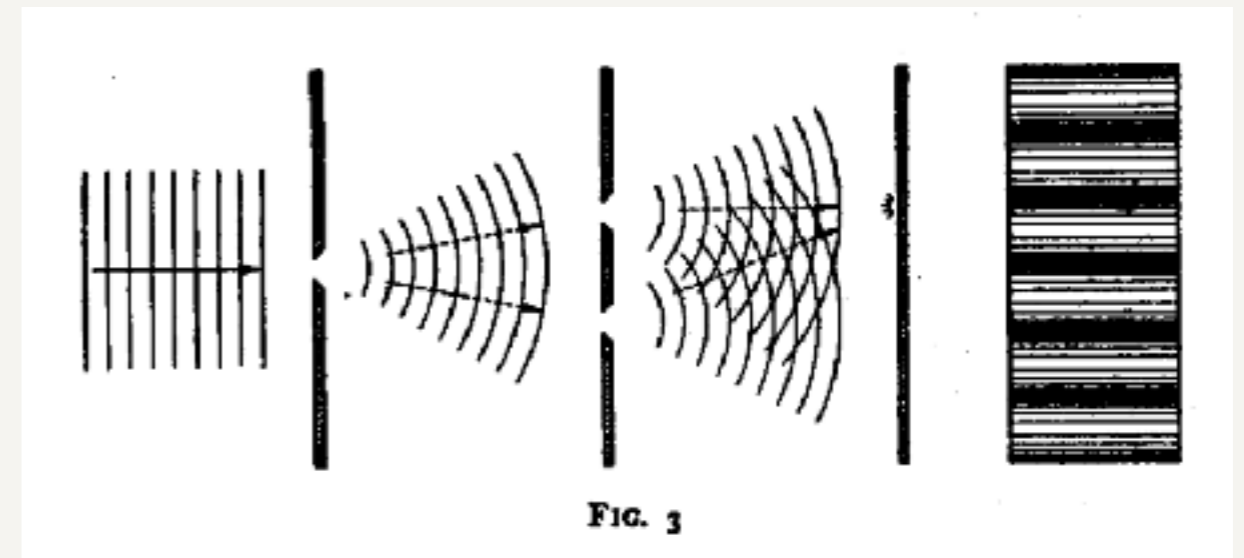
$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

# Das Doppelspalt-Experiment

- Laut Feynman ist hier das gesamte Geheimnis der Quantenmechanik enthalten:

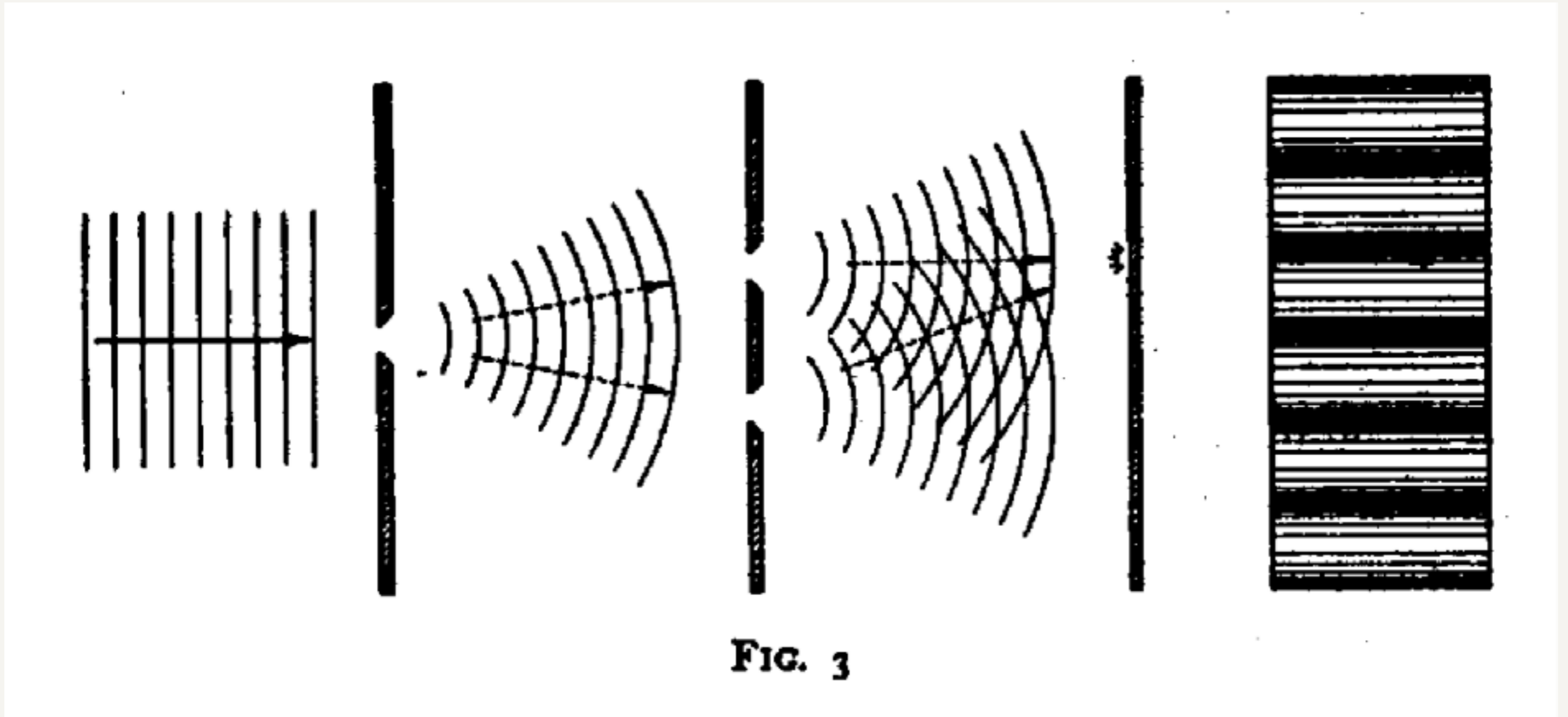
„We choose to examine a phenomenon which is impossible, *absolutely* impossible, to explain in any classical way, and which has in it the heart of quantum mechanics. In reality, it contains the *only* mystery.“

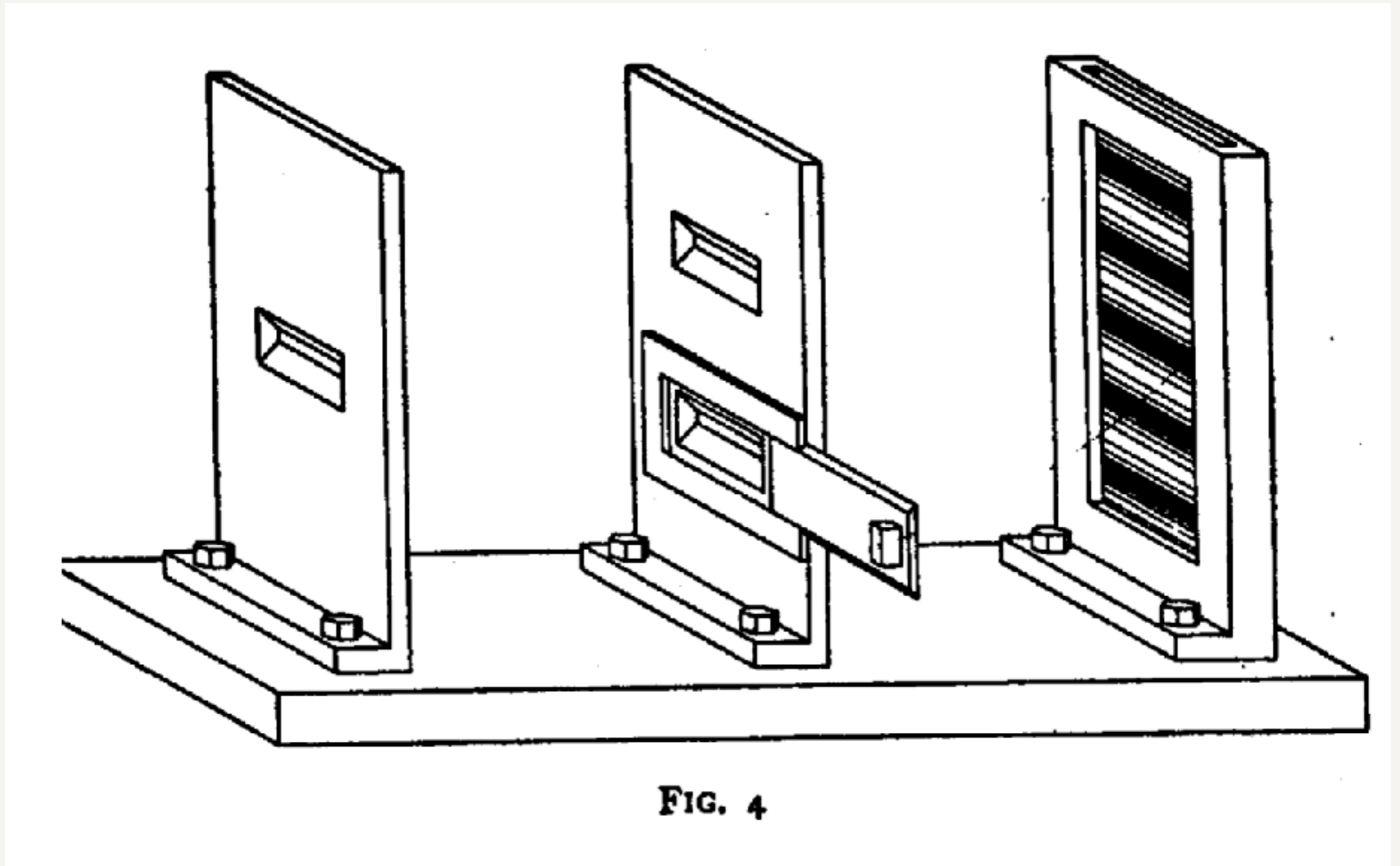
- Laut Held ist Einsteins Gedankenexperiment das allererste welches Doppelspalt mit Quantenmechanik verbindet.



Niels Bohr „Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics“,  
in: Paul A. Schilpp (ed.), „Albert Einstein - Philosopher-Scientist“, Open Court (1949), p. 199

# Das Doppelspalt-Experiment





**FIG. 4**

Niels Bohr „Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics“,  
in: Paul A. Schilpp (ed.), „Albert Einstein - Philosopher-Scientist“, Open Court (1949), p. 199

# Messobjekt und Messapparat

- Einstein vertut sich in der Annahme, dass ein Messapparat getrennt vom Messvorgang zu betrachten ist.
- Bohr formuliert diesen Unterschied als Messobjekt an Stelle von Messapparat.

# Solvay, 1930

Suspended in Language, pp. 156 - 161

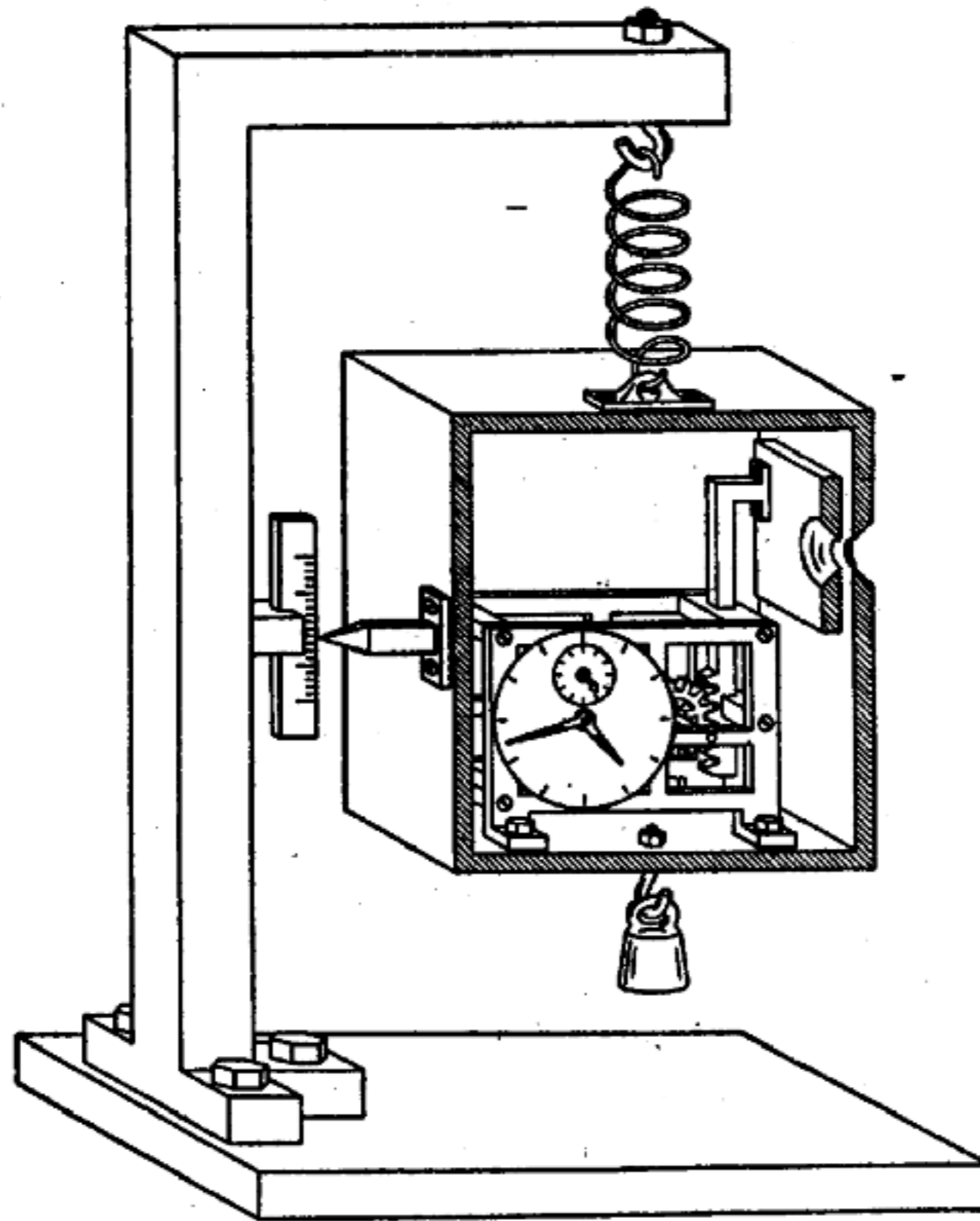


FIG. 8

Niels Bohr „Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics“,  
in: Paul A. Schilpp (ed.), „Albert Einstein - Philosopher-Scientist“, Open Court (1949), p. 199



# Zusammenfassung

# Einstein als Unbelehrbarer?

- Häufig wird Einstein in der Diskussion als Unbelehrbarer dargestellt (z.B. Heisenberg im Vorwort „Briefwechsel Born-Einstein“).
- Das ist viel zu kurz gegriffen: Einstein gebraucht seine physikalische Intuition was eine physikalische Theorie leisten muss / soll / kann.
- Er ist überzeugt, dass die Quantenmechanik nicht vollständig ist wenn sie keinen Einzelprozess beschreiben kann.
- Durch die Kritik und die Diskussion werden die Schwachstellen in der frühen Interpretation der Quantenmechanik aufdeckt.
- Erst diese Kritik führt zu unserem heutigen Verständnis der Quantenmechanik.