Istituto Universitario
SOPHIA
University Institute

WERNER HEISENBERG · 1901-1976

Che cosa è indeterminato?

Heisenberg e il significato delle relazioni di indeterminazione

Marco Sanchioni

Istituto Universitario Sophia

Nuovo SEFIR · 30 ottobre 2026



Foto: Bundesarchiv, Bild 183-R57262, CC-BY-SA 3.0

LA DOMANDA

Posizione e velocità non sono determinate insieme. Che cosa manca?

1

Epistemica

Le proprietà hanno valori, ma non possiamo conoscerli.

2

Agnostica

Della realtà oltre la misura non si può dire nulla.

3

Realista

Le proprietà stesse sono indeterminate: esistono in potenza.

1925 · HELGOLAND

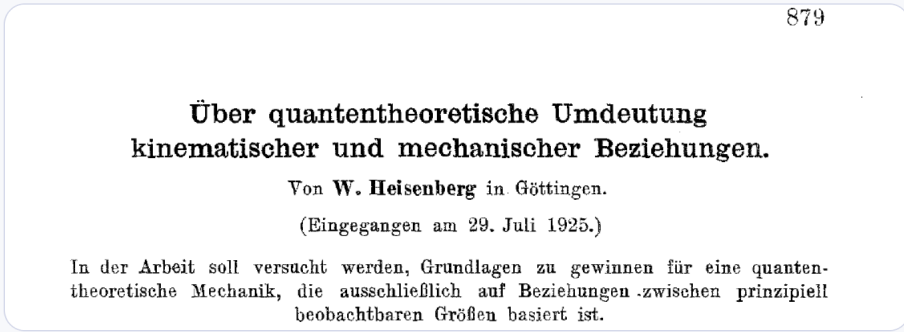
Il programma: solo ciò che si osserva

DEUTSCH

«ausschließlich auf Beziehungen zwischen prinzipiell beobachtbaren Größen»

ITALIANO

«esclusivamente su relazioni tra grandezze in linea di principio osservabili»



879

Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen.

Von **W. Heisenberg** in Göttingen.

(Eingegangen am 29. Juli 1925.)

In der Arbeit soll versucht werden, Grundlagen zu gewinnen für eine quantentheoretische Mechanik, die ausschließlich auf Beziehungen zwischen prinzipiell beobachtbaren Größen basiert ist.

Il frontespizio originale

Abbandonare la speranza di osservare l'orbita

DEUTSCH

«Bei dieser Sachlage scheint es geratener, jene Hoffnung auf eine Beobachtung der bisher unbeobachtbaren Größen (wie Lage, Umlaufszeit des Elektrons) ganz aufzugeben [...] und zu versuchen, eine der klassischen Mechanik analoge quantentheoretische Mechanik auszubilden, in welcher nur Beziehungen zwischen beobachtbaren Größen vorkommen.»

ITALIANO

«In questa situazione sembra più consigliabile abbandonare del tutto la speranza di osservare le grandezze finora inosservabili (come la posizione e il periodo di rivoluzione dell'elettrone) [...] e tentare di costruire una meccanica quantistica, analoga alla meccanica classica, in cui compaiano soltanto relazioni fra grandezze osservabili.»

W. Heisenberg, Zeitschrift für Physik 33 (1925), p. 880

1925 · LA CONSEGUENZA

Il prodotto dipende dall'ordine

$$x \cdot y \neq y \cdot x$$

Al posto della traiettoria, **tabelle di numeri** legate alla luce emessa

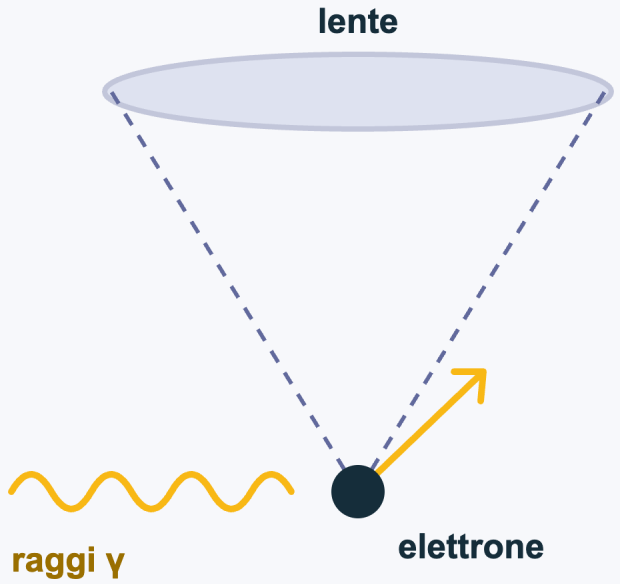
Heisenberg la annota come una difficoltà: **sarà il cuore della teoria**



Istituto Universitario SOPHIA University Institute

W. Heisenberg, Zeitschrift für Physik 33 (1925), p. 884

Quanto più precisa la posizione, tanto meno noto l'impulso



$$\delta q \cdot \delta p \sim h$$

La luce di lunghezza d'onda corta localizza bene l'elettrone, e gli imprime un urto brusco.

Il teorema di Kennard (1927) parla invece di dispersione statistica, senza alcun disturbo.

W. Heisenberg, Zeitschrift für Physik 43 (1927), pp. 174-175

L'urto del quanto di luce

DEUTSCH

«Im Augenblick der Ortsbestimmung, also dem Augenblick, in dem das Lichtquant vom Elektron abgebeugt wird, verändert das Elektron seinen Impuls unstetig. Diese Änderung ist um so größer, je kleiner die Wellenlänge des benutzten Lichtes, d. h. je genauer die Ortsbestimmung ist.»

ITALIANO

«Nell'istante della determinazione della posizione, cioè nell'istante in cui il quanto di luce viene deviato dall'elettrone, l'elettrone cambia il suo impulso in modo discontinuo. Questo cambiamento è tanto maggiore quanto minore è la lunghezza d'onda della luce impiegata, cioè quanto più precisa è la determinazione della posizione.»

W. Heisenberg, Zeitschrift für Physik 43 (1927), pp. 174-175

La relazione non vale per il passato

A COSE FATTE

Dopo l'urto l'impulso si può misurare: posizione e impulso passati si ricostruiscono entrambi.

IN ANTICIPO

L'impulso cambia di una quantità che non si può conoscere prima. La relazione vieta di prevedere.

«the uncertainty relation does not hold for the past»

«la relazione di indeterminazione non vale per il passato»

W. Heisenberg, The Physical Principles of the Quantum Theory (1930), p. 15

1927 · TRE LETTURE

Nello stesso articolo, a poche pagine di distanza

Epistemica

CHE COSA DICE

Non possiamo sapere: la misura disturba. Oggi la sostengono i bohmiani.

LA DIFFICOLTÀ

Presuppone un valore che c'è e viene alterato.

Agnostica

CHE COSA DICE

Non si può dire: oltre la misura, sulla realtà si tace.

LA DIFFICOLTÀ

Regge solo se significato e misurabilità coincidono.

Realista

CHE COSA DICE

L'indeterminazione è nel mondo: la proprietà nasce con la misura.

LA DIFFICOLTÀ

Che cos'è una proprietà indeterminata?



BRUXELLES · OTTOBRE 1927

La quinta Conferenza Solvay

Heisenberg è in piedi, terzo da destra. In prima fila Einstein; in seconda Bohr; in terza Schrödinger e Pauli.

Una parola senza senso ragionevole

DEUTSCH

«Von solchem Licht aber genügt ein einziges Lichtquant, um das Elektron völlig aus seiner „Bahn“ zu werfen […], das Wort „Bahn“ hat hier also keinen vernünftigen Sinn.»

ITALIANO

«Di una luce simile, però, basta un solo quanto per gettare l'elettrone completamente fuori dalla sua “orbita” […]; la parola “orbita” non ha dunque qui alcun senso ragionevole.»

W. Heisenberg, Zeitschrift für Physik 43 (1927), §1

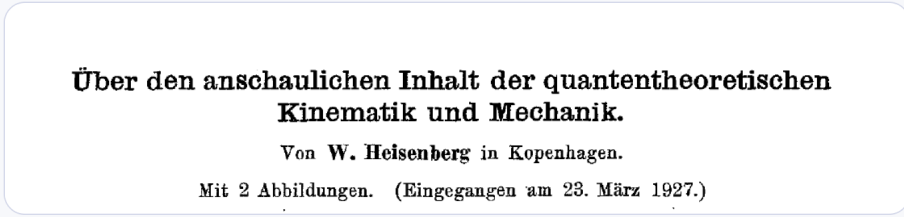
La traiettoria e l'osservazione

DEUTSCH

«Die „Bahn“ entsteht erst dadurch, daß wir sie beobachten»

ITALIANO

«La “traiettoria” nasce soltanto per il fatto che noi la osserviamo»



Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik.

Von W. Heisenberg in Kopenhagen.

Mit 2 Abbildungen. (Eingegangen am 23. März 1927.)

Il frontespizio originale

W. Heisenberg, Zeitschrift für Physik 43 (1927), p. 185

1927 · LA CONCLUSIONE

Causalità: cade la premessa

DEUTSCH

«Aber an der scharfen Formulierung des Kausalgesetzes: „Wenn wir die Gegenwart genau kennen, können wir die Zukunft berechnen“, ist nicht der Nachsatz, sondern die Voraussetzung falsch.»

ITALIANO

«Ma nella formulazione rigorosa della legge di causalità, “se conosciamo esattamente il presente, possiamo calcolare il futuro”, a essere falsa non è la conclusione, bensì la premessa.»

W. Heisenberg, Zeitschrift für Physik 43 (1927), p. 197

1958 · PHYSICS AND PHILOSOPHY

L'onda di probabilità e la potentia



Aristotele, Palazzo Altemps

ENGLISH

«It introduced something standing in the middle between the idea of an event and the actual event, a strange kind of physical reality just in the middle between possibility and reality.»

ITALIANO

«Introduceva qualcosa che sta a metà fra l'idea di un evento e l'evento reale, una strana specie di realtà fisica, proprio a metà fra possibilità e realtà.»

possibile → attuale

Una proprietà indeterminata è una proprietà in potenza: una tendenza reale, che la misura fa passare all'atto.

«a tendency for something»
una tendenza verso qualcosa

Il seme è pianta in potenza
oggi: disposizioni, propensioni

W. Heisenberg, Physics and Philosophy (1958), capp. II-III

1958 · CHI OSSERVA?

Un atto fisico, non psichico

ENGLISH

«the transition from the “possible” to the “actual” takes place as soon as the interaction of the object with the measuring device [...] has come into play; it is not connected with the act of registration of the result by the mind of the observer.»

ITALIANO

«il passaggio dal “possibile” all'“attuale” ha luogo non appena entra in gioco l'interazione dell'oggetto con l'apparato di misura [...]; non è legato all'atto con cui il risultato viene registrato dalla mente dell'osservatore.»

Dove comincia lo strumento?

DESCRIZIONE QUANTISTICA

elettrone **fotone**

CONCETTI CLASSICI

lente **lastra** **osservatore**

La linea si può spostare verso l'osservatore, ma non eliminare.

L'annerimento della lastra è un fatto, la guardi qualcuno o no.

«independent of the location of the cut»

indipendenti dalla posizione del taglio

Istituto Universitario
SOPHIA
University Institute

CHE COSA RESTA APERTO

Che cosa è reale fra un'osservazione e l'altra?

Possibilità e tendenze, che appartengono alla natura quanto i fatti.

Marco Sanchioni

Istituto Universitario Sophia

Istituto Universitario SOPHIA University Institute

Grazie

Marco Sanchioni

Istituto Universitario Sophia
marcosanchioni.com

Website

Nuovo SEFIR · 30 ottobre 2026

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

W. Heisenberg, «Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen», *Zeitschrift für Physik* 33 (1925)

W. Heisenberg, «Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik», *Zeitschrift für Physik* 43 (1927)

W. Heisenberg, *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie* (1930)

W. Heisenberg, «Ist eine deterministische Ergänzung der Quantenmechanik möglich?» (1935), in W. Pauli, *Wissenschaftlicher Briefwechsel* II

W. Heisenberg, *Physics and Philosophy* (1958)

C. Rovelli, *Helgoland* (2020)

J. Hilgevoord, J. Uffink, «The Uncertainty Principle», *Stanford Encyclopedia of Philosophy*