Simplicity, complexity and the universe



G. F. Giudice



Erwin Schrödinger Guest Professor Lecture, 6 June 2023



1926

Mg 13

ANNALEN DER PHYSIK VIERTE FOLGE. BAND 80

1. Quantisierung als Eigenwertproblem; von E. Schrödinger

(Dritte¹) Mitteilung: Störungstheorie, mit Anwendung auf den Starkeffekt der Balmerlinien.)

Einleitung. Inhaltsübersicht

Wie schon am Ende der letzten Mitteilung²) angegeben, läßt sich das praktisch zugängliche Anwendungsgebiet der Eigenwerttheorie schon mittels verhältnismäßig elementarer Methoden ziemlich bedeutend über das Gebiet der "direkt lösbaren" Probleme hinaus erweitern, indem man sich überlegt. daß sich die Eigenwerte und Eigenfunktionen auch für solche Randwertprobleme leicht näherungsweise angeben lassen, die einem direkt lösbaren Problem hinreichend benachbart sind. Wir wollen das, in Analogie zur Mechanik, die Störungstheorie für das Eigenwertproblem nennen. Sie beruht auf der wichtigen Stetigkeitseigenschaft der Eigenwerte und Eigenfunktionen³). wobei für uns hauptsächlich die stetige Abhängigkeit von den Koeffizienten der Differentialgleichung, weniger diejenige von der Ausdehnung des Grundgebietes und von den Randbedingungen in Betracht kommt, da ja in unserem Falle das Grundgebiet ("ganzer q-Raum") und die Randbedingungen ("Endlichbleiben") im allgemeinen beim ungestörten und beim gestörten Problem übereinstimmen werden.

Die Methode ist im wesentlichen schon von Lord Rayleigh benützt worden, der in der "Theory of sound" (2. Aufl. Bd. I, S. 115—118. London 1894) die Schwingungen einer Saite mit *kleinen Unhomogenitäten* untersucht.⁴) Hier liegt der besonders einfache Fall vor, daß die Differentialgleichung des ungestörten Problems *konstante* Koeffizienten hat und nur die Störungs-

Vgl. Ann. d. Phys. 79. S. 361, 489. 1926; ferner auch ebendort S. 734.
 a. a. O. S. 526.

29

3) "Courant-Hilbert" Kap. VI. § 2, 4. S. 337.
 4) Courant-Hilbert, Kap. V, § 5, 2. S. 241.

Annalen der Physik, IV, Folge, 80.

$|\psi|^2$

Max Born







DIE NATURWISSENSCHAFTEN

23. Jahrgang

29. November 1935

Heft 48

Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik.

Von E. Schrödinger, Oxford.

Inhaltsübersicht.

- § 1. Die Physik der Modelle.
- § 2. Die Statistik der Modellvariablen in der Quantenmechanik.
- § 3. Beispiele für Wahrscheinlichkeitsvoraussagen.
- § 4. Kann man der Theorie ideale Gesamtheiten unterlegen?
- § 5. Sind die Variablen wirklich verwaschen?
- § 6. Der bewußte Wechsel des erkenntnistheoretitischen Standpunktes.
- § 7. Die ψ -Funktion als Katalog der Erwartung.
- § 8. Theorie des Messens, erster Teil.
- § 9. Die ψ -Funktion als Beschreibung des Zustandes.
- § 10. Theorie des Messens, zweiter Teil.
- § 11. Die Aufhebung der Verschränkung. Das Ergebnis abhängig vom Willen des Experimentators.
- § 12. Ein Beispiel.
- § 13. Fortsetzung des Beispiels: alle möglichen Messungen sind eindeutig verschränkt.
- § 14. Die Änderung der Verschränkung mit der Zeit. Bedenken gegen die Sonderstellung der Zeit.
 § 15. Naturprinzip oder Rechenkunstgriff?
 - § 1. Die Physik der Modelle.

In der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts war aus den großen Erfolgen der kinetischen Gebilde, das sich mit der Zeit verändert, das verschiedene Zustände annehmen kann; und wenn ein Zustand durch die nötige Zahl von Bestimmungsstücken bekannt gemacht ist, so sind nicht nur alle anderen Stücke in diesem Augenblick mit gegeben (wie oben am Dreieck erläutert), sondern ganz ebenso alle Stücke, der genaue Zustand, zu jeder bestimmten späteren Zeit; ähnlich wie die Beschaffenheit eines Dreiecks an der Basis seine Beschaffenheit an der Spitze bestimmt. Es gehört mit zum inneren Gesetz des Gebildes, sich in bestimmter Weise zu verändern, das heißt, wenn es in einem bestimmten Anfangszustand sich selbst überlassen wird, eine bestimmte Folge von Zuständen kontinuierlich zu durchlaufen, deren jeden es zu ganz bestimmter Zeit erreicht. Das ist seine Natur, das ist die Hypothese, die man, wie ich oben sagte, auf Grund intuitiver Imagination setzt.

Natürlich ist man nicht so einfältig zu denken, daß solchermaßen zu erraten sei, wie es auf der Welt wirklich zugeht. Um anzudeuten, daß man das nicht denkt, nennt man den präzisen Denkbehelf, den man sich geschaffen hat, gern ein *Bild* oder ein *Modell*. Mit seiner nachsichtslosen



"The impudence with which you assert time and again that the **Copenhagen** interpretation is practically universally accepted [...] is at the limit of the estimable. Have you no anxiety about the verdict of history? Are you so convinced that the human race will succumb before long to your own folly?"

> Schrödinger to Born, letter 10 Oct 1960















ochre

b	lac	K

brown

science $abla \cdot \mathbf{E} = rac{
ho}{arepsilon_0}$ $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$ $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ 1 **∂E** $\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} + \frac{1}{c^2} \frac{1}{\partial t}$ 1 4

General Relativity + Standard Model

$$\mathcal{L} = \frac{R}{16\pi G_N} + i\overline{\psi}\gamma^{\mu}D_{\mu}\psi - \frac{1}{2}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + (y_{ij}\overline{\psi}_i\psi_jH + \text{h.c.}) - \lambda|H|^4 + \mu^2|H|^2 - \Lambda_{CC}^4$$

Gauge principle

simplicity or complexity

Nature

logical simplicity

emergent complexity







Cosmic microwave background spectrum (from COBE)



































Is the simplicity predicted by inflation incompatible with the complexity we observe in the world?








































Multiverse







Is the multiverse so odd?



NICOLAI COPERNICI

net, in quo terram cum orbe lunari tanquam epicyclo contineri diximus. Quinto loco Venus nono menfe reducitur. Sextum denicp locum Mercurius tenet, octuaginta dierum spacio circu currens, ln medio uero omnium residet Sol. Quis enim in hoc



pulcherimo templo lampadem hanc in alio uel meliori loco po neret, quàm unde totum fimul poísit illuminare: Siquidem non inepte quidam lucernam mundi, alí mentem, alí rectorem uo= cant. Trimegiftus uifibilem Deum, Sophoclis Electra intuenté omnia. Ita profecto tanquam in folio re gali Sol refidens circum agentem gubernat Aftrorum familiam. Tellus quoça minime fraudatur lunari ministerio, fed ut Aristoteles de animalibus ait, maximã Luna cũ terra cognatione habet. Concipit interea à Sole terra, & impregnatur annuo partu. Inuenimus igitur sub hac











Nature is simple in its principles, but complex in its manifestations.











String theory

- Provides a consistent description of QG.
- Accounts for # of microstates in the BH entropy.
- Has the right properties to describe gauge forces.
- All low-energy parameters are calculable.











Is the multiverse non-scientific?

Can we "see" a quark?

Can we "see" the Higgs boson? $au_H = 10^{-22} \, \mathrm{s}$

CMS Experiment at the LHC, CERN Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT Run/Event: 195099 / 137440354 When we explore physics at the edge of knowledge, the experimental confirmation doesn't lie in the observation of the phenomenon, but in the identification of the consequences. The multiverse is not a hypothesis, but the consequence of physical theories.



Lean Mattheir 2031













millou











$$P(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} d^3r \, |\psi(r,t)|^2$$

Max Born



$\label{eq:probability} \text{probability} = \frac{\text{favourable events}}{\text{total $\#$ of events}} = \frac{\infty}{\infty}$















Conclusions



