

ang der philosophischen Fakultät am 27 ten Juli 1922
Promotionsprüfung des Kandidaten Leo Hilard
(Prädikat der Dissertation: edimium)

atoren: die Herren v. Rane, Wehnelt, Stock, Riehl

Die Prüfung eröffnete Herr Wehnelt in Physik als Hauptfach über
die Themen der Widerstandbestimmung, Kirchhoffs Gesetze,
Thomsonsche Doppelströme, Theorie des Bruchwandelektromagn.
Verhalten einer magnetischen Feldstärke, Thomson'sche Approx.
Feldstärkebestimmung einer Spule, Ballistisches Galvanometer,
Doppelströme Parag. in der Akustik und der Optik, Galvan.
Widerstandsbestimmungen. Isothermische und adiabatische
Veränderung.
Ergebnis: genügend.

Riehl prüfte in Philo. als off.

Maxwell'sche Gleichungen der Hoff. über Ausbreitung. Maxwell'sche
Gleich. Mittel der Lohr. Theorie; Stellung in der Theorie der
Materie.
Ergebnis: genügend.

Stock prüft theoretische Physik
theoretische Bewegungsgleichungen, D'Alembert'sche Prinzipien,
& Hamilton'schen Prinzipien. Lagrange'sche Differentialgleichungen,
virtuelle Arbeit, Poisson'sche Formeln, Hamilton'sche Gleichungen,
& Hamilton'schen Prinzipien auf einem starren Körper, Phasen,
mittleres Potential, Metastabilität, Spiegelung und Reflexion,
Potentialtheorie, Bewegung in Potentialwellenbewegungen, Spiegelung

Gut

Stock: Physik. Ausgewählte in theoretische Physik. Hamilton. Metalle - Magnetismus; Umwandlung.
in Physik. Abhandlung, off.
Ergebnis: genügend.

Philosophische Fakultät.

Dekanats-Jahr 1921/22

1821/111

Journal-No.

729

Dokumenten-Buch No.

Meldung zur Promotionsprüfung.

Der Cand. phil. *Lev Tailard*

meldet sich zur Promotionsprüfung im Fache der *Physik*

Dem Gesuche ist beigelegt: *vorhanden*

- 1. Der Lebenslauf. *vorhanden*
- 2. Die schriftliche Versicherung des Kandidaten, daß er die bezeichnete Dissertation selbst und ohne fremde Hilfe verfertigt, daß er sie noch keiner andern Stelle zur Beurteilung vorgelegt und weder ganz noch im Auszuge bisher veröffentlicht hat. *vorhanden*
- 3. Anmeldung zum Abgangszeugnis (oder polizeiliches Führungsattest behufs Immatrikulation): *vorhanden*

4. Das Zeugnis der Reife (Ort und Zeit):
P. N. Lh. Budapest 27. Juni 1916

5. Die Nachweisung des akademischen Trienniums durch
Techn. Hoch. Budapest 6. Sem. Tech. Hoch. Berlin 2. Sem. Universität Berlin 3. Semester.

6. Die Dissertation, betitelt:
Über die thermodynamischen Schwankungserscheinungen.

7. (Bei Chemikern eventuell): Bescheinigung des Laboratoriumsvorstandes und Zeugnis über Verbands-Examen.

Ich ersuche die Herren *v. Kautsky - Haupt*
um gefällige Beurteilung der Dissertation und Vorschlag eines geeigneten Prädikats für dieselbe.
Berlin, den *15. Juni* 1922.

Der Dekan der philosophischen Fakultät

Ich bringe nunmehr den umstehenden Antrag auf *Zulassung*
mit dem Prädikat „cum laude“

zur Kenntnis meiner geehrten Herren Kollegen
Berlin, den *14. Juli* 1922

Der Dekan der philosophischen Fakultät

Genehmigt in der Sitzung
vom *20. 7* 1922

Dekan.

Schmidt

110

OUTLINE ÜBER DIE DISSERTATION VON LEO SZILARD.

Die Theorie der thermodynamischen Schwankungen, wie wir sie in der Hauptsache Einstein verdanken, stand bisher in keinem rechten Zusammenhang mit der Thermodynamik, die auf dem Clausius-Carnotschen Prinzip beruht. Ihre Grundlage bildete vielmehr das Boltzmannsche Prinzip über den Zusammenhang zwischen Entropie und Wahrscheinlichkeit, welches auch die für diese Berechnungen kennzeichnende Konstante k (häufig als die Boltzmannsche bezeichnet) in die Betrachtungen einführt, welche der reinen Thermodynamik vollständig fremd ist. Dies Nebeneinander zweier unterschiedenen Grundlagen für so verwandte Theorien war schon lange als unbefriedigend empfunden, aber nicht überwunden.

Szilard stellt nun den Zusammenhang mittels eines Gedankens her, der so einleuchtend ist, daß er ihn als "fast trivial" bezeichnet. Er faßt nämlich das Carnot-Clausiusche Prinzip, oder auch den Satz des unmöglichen Perpetuum mobile zweiter Art als Wahrscheinlichkeitsatz. Es muß sein, daß bei einem einzelnen Kreisprozess die Entropie der Wärmereservoirs ^{zufällig} einmal abnimmt. Wiederholen wir aber denselben Kreisprozess sehr oft, so ist der Erwartungswert der Entropieänderung bei Umkehrbarkeit Null, sonst positiv.

Daran ist nichts Überraschendes. Die große Leistung Szilards liegt aber darin, daß er von diesem Gedanken aus nun zur Theorie der Schwankungen durchdringt. Das Ergebnis ist die Einsteinsche Gleichung für die Energieschwankung eines Körpers, von der Wärmekapazität c der mit einem Wärmereservoir von der absoluten Temperatur T in Berührung steht:

$$\eta = ck.T^2$$

Die Konstante k , deren Zahlwert bei einer theoretischen Betrachtung natürlich unbestimmt bleiben muß, kommt als Integrationskonstante in die Rechnung hinein.

Der Weg, den der Verfasser zu ihr geht, ist nicht ganz einfach, aber in seiner Richtung durchaus konsequent eingewalten. Er weist mit dem Beweise des zweiten Hauptsatzes manche gemeinamen Züge auf. Z.B. wird zuerst gezeigt, daß für alle Körper die selbe Temperaturfunktion sein muß, und dann erst wird diese Funktion entweder durch Betrachtung der Hohlraumstrahlung oder durch eine allgemeinere

Überlegung abgeleitet. Trotzdem handelt es sich keineswegs um eine einfache Übertragung der älteren Gedankengänge. Manch interessantes Zwischenergebnis, z.B. der Hilfssatz auf S. 1 findet sich auf ihm. In Anbetracht der Wichtigkeit des behandelten Problems, das sich der Verfasser selbstständig gewöhnt und vollständig selbstständig behandelt hat, kommt m.E. für die Dissertation das Prädikat

Eximium

in Frage. In Anbetracht

Berlin, 10. 7. 22.

M. v. Lause

13/7. 22. Der Professor Guttmann ist dem Herrn Lause
Hilfsrat ist mit +.

Plaus

126

GUTACHTEN

zum Habilitationgesuch Dr. L. Szilard's

Die Dissertation Dr. Szilard's "Über thermodynamische Schwankungsereignisse" behandelt den klassischen Kreisprozess, welchen die Thermodynamik zur Ableitung des Entropieprinzips benutzt, nach den Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung - entsprechend der seit Boltzmann mehr und mehr zum Durchbruch gelangten Überzeugung, daß dieser Satz als Wahrscheinlichkeitsaussage zu betrachten ist. Während man sonst das Ergebnis eines Kreisprozesses als eindeutig bestimmt ansieht, sobald die durchlaufenen Werte von Volumen, Temperatur und den sonst etwa noch in Frage kommenden Größen gegeben sind, nimmt Szilard an, daß die Entropieveränderung dabei nicht durch solche Angaben genau festgelegt ist, sondern um einen Mittelwert schwankt. Es kann also im Einzelfall die Entropie auch einmal abnehmen; nur ist die Wahrscheinlichkeit dafür um so geringer, je größer die Abnahme und der Erwartungswert der Entropiezunahme ist immer positiv, im Grenzfall der Umkehrbarkeit Null.

Aus diesen, an sich nicht überraschenden Betrachtungen leitet Szilard nun aber - und das ist die große Leistung dieser Arbeit - einsteins Gesetz

$$\overline{\eta^2} = c k T^2$$

für die Energieschwankung eines Körpers von der Wärmekapazität c und η , welcher mit einem Wärmereservoir von der Temperatur T in Berührung steht. (k ist die Konstante des Entropie-Wahrscheinlichkeits-Satzes) Der Weg dazu hat mit der üblichen Ableitung des zweiten Hauptsatzes in nahen Berührungspunkt, stellt aber trotzdem eine so selbstständige und bedeutende Leistung dar (Das Thema war überdies vom Verfasser selbstständig gewählt), daß ihm die Fakultät auf meinen Vorschlag bei der Dissertation die Note Eximium gab.

Auch die Habilitationsschrift beschäftigt sich mit den Grundlagen der Thermodynamik, Maxwell hat ihr einmal den Einwand gemacht, ein

son, der die schnellen Moleküle eines zunächst gleichmäßig temperierten Gases von den langsamen zu trennen vermöge, könnte dies Gas in jede Kompensation in eine wärmere und eine kältere Hälfte zerlegen; und in den mannigfaltigsten Formen haben Späterer diesen Einwand wiederholt. Das Wesentliche ist immer: Wer den molekularen Einzelvorfall zu erkennen und zu benutzen versteht, kann Wärme ohne sonstige Veränderung auf höhere Temperatur bringen oder auch in Arbeit umsetzen, jedenfalls also die Entropie vermindern.

Szilards Gedanke ist nun der Folgende: ein intelligentes Wesen, das unter den Molekülen einer großen Schwarz diejenigen zu unterscheiden weiß, denen irgend eine Größe x positiv ist, von denen mit negativem x , so zu dem genannten Zweck irgend einer Größe von x unabhängigen Größe y nach Wahl positive oder negative Werte geben und muß es so einrichten, daß in einem bestimmten Zeitpunkt jedes Molekül mit positivem x auch ein positives y erhält, jedes mit negativem x auch ein negatives y erhält. Wäre also vordem die 4 Fälle verwirklicht:

$$x+, y+ \quad x-, y- \quad x+, y- \quad x-, y+ ,$$

so ist es unmittelbar nach dem Eingreifen des genannten Wesens nur die beiden ersteren. Man erkennt hier sofort die Entropieverminderung, die bei den früheren Betrachtungen erst am Ende des Gedankenversuchs die Erscheinung tritt.

Der Verfasser erläutert das an einem Beispiel des in einem zylinderförmigen eingeschlossenen Moleküls. Man schiebt eine durch Einstecken einer Zwischenwand in zwei Hälften. Befindet sich das Molekül in der oberen (ist seine x -Koordinate positiv), so gewinnt man Arbeit, wenn man die Zwischenwand nach unten bewegt und dem Molekül die abgegebene kinetische Energie immer wieder mittels eines Wärmerezervoirs ersetzt. War nach dem Einschieben x negativ, so muß man zum gleichen Zweck die Wand nach oben verrücken. Beides kann eine Maschine bewirken, die jenes Wesen durch Umlagen eines Hebels von der negativen oder die positive Hälfte einer Skala steuert. Die Teilstriche der Skala ergeben die Größe der Tätigkeit jenes Wesens. Es steht lediglich darin, daß es positiven x -Werten ein positives y zuordnet und umgekehrt, wie oben gesagt wurde.

den zweiten Hauptsatz aufrecht zu erhalten, muß man also annehmen, mit jedem Umlegen des Hebels auf +, allgemeiner, mit dem Einstellen positiven y -Wertes eine Entropiezunahme verbunden ist, die pro Teil S_1 betragen mag, während S_2 die Entropiezunahme im anderen bedeutet. Szilard beweist: Zwischen beiden muß die Beziehung beste-

$$e^{-\frac{y_1}{h}} + e^{-\frac{y_2}{h}} \leq 1$$

ist notwendig und hinreichend, um jede Entropieverminderung un- möglich zu machen. S_1 und S_2 müssen also beide positiv sein; doch kann eine dieser Größen sich dem Nullwert beliebig nähern, wenn dafür andere in genügender Masse zunimmt. Den Beweis erbringt der Verfasser (Seite 10 u. f.) indem er mittels eines nur unkehrbare Vorgänge benutzenden Gedankenexperiments die durch die Zuordnung zu erfolgende Entropieabnahme berechnet und dann die Forderung aufstellt, die sich durch die Zuwächse S_1 und S_2 mindestens gerade zu Null ergänzt.

Ob der zur Zuordnung durch ein intelligentes Wesen erforderliche Makroprocess wirklich mit solcher Entropiezunahme verknüpft ist, fällt über den Rahmen der Physik hinaus und ist heute wohl überhaupt nicht zu entscheiden. Wohl aber läßt sich ein rein physikalischer Vorgang vorstellen, der ^{auch} eine solche Zuordnung vollzieht, und in dem sich die Beziehung

$$e^{-\frac{y_1}{h}} + e^{-\frac{y_2}{h}} = 1$$

mittelbar nachprüfen läßt. Das ist deshalb wichtig, weil man sieht, daß sich die obige Ungleichung auf keinen Fall verschärfen läßt, daß also nicht zulässig wäre, auf ihrer rechten Seite einen echten Bruch statt 1 zu setzen. Ob dies Beispiel gerade so geschickt wie möglich gewählt ist - der Verfasser denkt sich einen Körper, der nur zweier Zustandsarten fähig ist - kann man bezweifeln. Doch dürfte sich dieser Mangel beheben lassen; ich habe deswegen schon mit dem Verfasser gesprochen.

Trotz dieses kleinen Mangels stellt die Schrift eine wesentliche Klärung einer alten und wichtigen Frage dar und genügt mehr als vollständig den Ansprüchen, welche die Fakultät an eine Habilitationsschrift

129

stelt.

Die dem Gesuch sonst beiliegenden Veröffentlichungen stehen dem
 im Gegensatz zu den bisher besprochenen dem Experiment nahe, wenn wir
 von dem Abdruck der Dissertation in der Zeitschrift für Physik ab-
 sehen. Die Patentschrift bringt einen ausgezeichneten, freilich meines
 Wissens noch nicht ausgiebig in die Technik eingeführten Gedanken, die
 Diffusionspumpe und das mit ihr auszupumpende Gefäß so zu einem Apparat
 umgestalten, daß der Dampf in der Pumpe ^{erlebbige} zugleich Quelle für die im
 Hochvakuum gebrauchten Elektronen wird. Der mit Dr. Mark zusammen
 veröffentlichte Versuch über die Polarisation der Röntgenstrahlen
 bringt eine wichtige Analogie zwischen der Reflexion von Röntgenstrah-
 len und der Reflexion längerer elektromagnetischer Wellen unter dem
 Polarisationswinkel zu Tage. Besonders schön und bedeutsam aber er-
 scheint mir der andere mit Mark gemeinsame Versuch über die selektive
 Streuung von Röntgenstrahlen. Er bringt zum ersten Mal den unbe-
 streitbaren experimentellen Beweis, daß die aus der Resonanztheorie der
 klassichen Mechanik folgende Phasenbeziehung zwischen Kraft und
 erzwungener Schwingung auch im Bereich der schnellsten bisher
 zugänglichen Schwingungen wenigstens qualitativ gilt.

Ich kann somit der Fakultät warm empfehlen, Herrn
 Dr. Szilard zu den weiteren Habilitationsleistungen zuzulassen.

Berlin, 11.12.26.

H. v. Lüne.

Hochzuverehrender Anhang ist meine Begutachtung des Gesuchs auf meine
 Zustimmung an der Fakultät des Herrn Szilard ist für mich
 unproblematisch für in Berlin tätig ist für die Physik der Physik
 unter seiner wissenschaftlichen Leitung ist für mich sehr abzugeben. Die
 meine Begutachtung sollte zunächst mit der Originalität der Gedanken festzu-
 stellen und außerdem in der Richtung der Physik ab. Es geht nicht,
 daß er mich als Doyen ansetzen möchte. Eine große Einschränkung
 in seiner Arbeitstätigkeit wird er schließlich mit der Zeit überwinden können.

22/12. 26

Planch