

## 6. ÜBUNGSBLATT ZUR VORLESUNG THEORETISCHE PHYSIK IV (STATISTISCHE PHYSIK UND THERMODYNAMIK)

Abgabe: Freitag, 01. Juni 2007 in den Übungen.

### Aufgabe 6.1: (Ideales Bose Gas, Bose-Einstein-Kondensation)

Betrachten Sie ein ideales Bose Gas mit Gesamtteilchenzahl  $N$ . Die Einteilchenenergieniveaus seien so normiert, dass  $E_0 = 0$ ,  $E_0 \leq E_1 \leq E_2 \leq \dots$

- a) Begründen Sie, ausgehend von der mittleren Besetzungszahl

$$\bar{n}_\nu = \frac{1}{e^{\beta(E_\nu - \mu)} - 1}$$

des  $\nu$ -ten Einteilchen-Zustandes, dass für das chemische Potential  $\mu \leq 0$  gelten muß. **(1 Punkt)**

- b) Nehmen Sie an, dass  $\mu < 0$  ist. Was ergibt sich dann im Grenzfall  $T \rightarrow 0$  für  $\bar{n}_\nu$  ( $\nu$  beliebig) ? Welches Problem ergibt sich daraus für  $N$  ? **(2 Punkte)**
- c) Nehmen Sie nun an, dass für  $T \rightarrow 0$  stets  $0 < -\beta\mu \ll 1$  bleibt. Was ergibt sich in diesem Fall für die mittlere Besetzungszahl  $\bar{n}_0$  des energetisch tiefsten Ein-Teilchen-Niveaus und wie wird dadurch das in Aufgabenteil b) auftretende Problem gelöst ? **(2 Punkte)**

### Aufgabe 6.2: Stefan-Boltzmann-Gesetz

- a) Man berechne die Temperatur der Erdoberfläche unter der Annahme, dass Sonne und Erde näherungsweise als schwarze Körper behandelt werden können. (Die Oberflächentemperatur der Sonne beträgt 5500 K, ihr Radius  $r = 7 \cdot 10^8$  m und der Abstand Sonne-Erde  $d_E = 1,5 \cdot 10^{11}$  m. **(2 Punkte)**
- b) Wie sollte die Oberflächentemperatur der anderen Planeten unter obigen Annahmen von ihrem Sonnenabstand  $d_P$  abhängen? Vergleichen Sie mit den Daten:

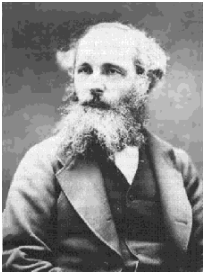
	Merkur	Venus	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
$d_P/d_E$	0,4	0,7	1,5	5,2	9,5	19,3	30,2
Oberfl.- bzw. Atmosphären-T [K]	~ 500	731	214	163	134	70	70

**(2 Punkte)**

---

## James Clerk Maxwell

---



Maxwell wurde am 13. Juni 1831 in Edinburgh geboren und starb am 5. November 1879 in Cambridge.

Sein Vater war ein Gutsbesitzer und Sonderling, an dem Maxwell mit großer Liebe hing.; er ließ dem Knaben nach dem Tod der Mutter, deren Familie den Namen Maxwell trug, die beste Schulbildung zuteil werden. Maxwell studierte drei Jahre Mathematik und Physik in Edinburgh und schloß 1854 in Cambridge sein Studium ab. Ein Jahr später legte er hier seine erste Arbeit vor, die schon auf die späteren **Maxwellschen Gleichungen** zielte.

1856 erhielt Maxwell eine Professur in Aberdeen; von 1860 an wirkte er für fünf Jahre am King's College in London. Ähnlich wie Hermann von Helmholtz beschäftigte Maxwell sich mit der **Physiologie des Farbensehens** und baute die Dreifarben Theorie von Thomas Young weiter aus. Epochemachend waren Maxwells Arbeiten zur **Elektrodynamik**, wo er die intuitiven Vorstellungen Michael Faradays in eine mathematisch strenge Form brachte und die **Feldphysik** begründete.

Vollendet wurden die **Maxwellschen Gleichungen** 1862 im Philosophical Magazine unter dem Titel **'On Physical Lines of Force'** veröffentlicht. In der Einführung des Verschiebungsstromes ging Maxwell über **Faraday** hinaus; nach Maxwell muß ein sich änderndes elektrisches Feld in einem Kondensator wie ein elektrischer Strom magnetische Wirkungen zeigen. Gerade diese Annahme führte zur Möglichkeit transversaler elektromagnetischer Wellen. Über die mathematisch errechnete Fortpflanzungsgeschwindigkeit schrieb Maxwell 1864:

*"This velocity is so nearly that of light, that it seems we have strong reason to conclude that light itself*

*(including radiant heat, and other radiation if any) is an electromagnetic disturbance in the form of wave propagated through the electromagnetic field according to electromagnetic laws."*

1873 legte Maxwell in dem zweibändigen **'Treatise'** eine Zusammenfassung aller bisherigen Arbeiten vor; die **Maxwellschen Gleichungen** erschienen dabei in einer komplizierteren Form; erst Heinrich Hertz und **Oliver Heaviside** griffen auf die ursprüngliche Fassung zurück. Es dauerte Jahrzehnte bis die **Maxwellschen Gleichungen** voll verstanden und anerkannt wurden. Dann aber bildete **'Maxwellsche Elektrodynamik'** zusammen mit der 'Newtonschen **Mechanik'** das stolze Gebäude der klassischen Physik. Ludwig Boltzmann, der selbst viel zur Einführung der **Maxwellschen Gleichungen** beitrug, stellte in hoher Anerkennung der Leistung Maxwells seiner 'Vorlesungen über Maxwells Theorie' als Motto das **Goethe-Wort** voran:

*"War es ein Gott, der diese Zeichen schrieb ?"*

Auch auf dem **Gebiete der kinetischen Gastheorie** leistete Maxwell Bahnbrechendes. Er griff die Ansätze von **August Karl König** und Rudolf Clausius auf; während diese nur die mittlere Geschwindigkeit der Moleküle betrachtet hatten, stellte Maxwell die Frage nach der individuellen Geschwindigkeit des einzelnen Teilchens. Er fand die heute sogenannte **Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung** und begründete damit zugleich die **statistische Physik**. Auf Ludwig Boltzmann wirkten diese Abhandlungen wie eine Offenbarung, und in der Folge haben beide Forscher durch Parallelarbeit, einander anregend und kritisierend das neue Gebiet aufgebaut. Als Wegbereiter der **kinetischen Gastheorie** war Maxwell auch ein überzeugter Anhänger der Atomistik. In einer programmatischen Rede vor der British Association for the Advancement of Science äußerte er 1871 seine Überzeugung, daß die Atome absolut unveränderliche Gegebenheiten darstellen, und leitete daraus die Forderung nach atomaren Standards für die Grundeinheit der Masse, der Länge und der Zeit ab.

1865 legte Maxwell aus gesundheitlichen Gründen sein Lehramt am King's College nieder. Sein Gutsbesitz in Schottland sicherte ihm finanzielle Unabhängigkeit. Frei von den akademischen Verpflichtungen setzte er seine Forschungen als Privatgelehrter fort und verfaßte die umfangreichen Manuskripte seiner Anfang der siebziger Jahre erschienenen Werke. Eine Berufung nach St. Andrews, an die älteste schottische Universität, lehnte er ab. Als aber die Universität Cambridge einen Lehrstuhl für Experimentalphysik neu gründete und, erstmalig für England, mit einem großen Unterrichtslaboratorium ausstattete, nahm Maxwell diese auch für die britische Wissenschaft insgesamt wichtige Aufgabe an. In Großbritannien hatte es bis da nur ein physikalisches Unterrichtslaboratorium gegeben, das von William Thomson (Lord Kelvin) im schottischen Glasgow. Der Bau und die Einrichtung des nach dem Hauptgeldgeber benannten Cavendish Laboratory nahm viel Zeit in Anspruch; mit ihm begründete aber Maxwell eine moderne Ausbildung und die berühmte Experimentalphysik in Cambridge.

---

Quelle: Armin Hermann 'Lexikon - Geschichte der Physik A-Z', Aulis-Verlag Deubner & Co KG 1978

---