Sitzungsberichte
der
Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
Jahrgang 1909, 4. Abhandlung

Über die Anwendung der Naturgesetze auf das Universum

von

H. Seeliger.

Vorgetragen am 1. Mai 1909

München 1909
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)

KGL. PREUSS. AKADEMIE D. WISSENSCH.

DRUCKSCHRIFTEN

der

KGL. BAYER. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

(mathematisch-physikalische Klasse).

Die mit * bezeichneten Schriften sind zwar nicht in Sonderabdrücken erschienen, es kann aber das Heft der Sitzungsberichte, in dem sie gedruckt sind, zu 1 Mark 20 Pfg. bezogen werden.

In dem nachfolgenden Verzeichnisse ist A. = Abhandlungen, Sb. = Sitzungsberichte.

Astronomie.

Sitzungsberichte von 1871 = Sitzb.
Abhandlungen von 1846 ab = Abh.
Neue Annalen der Sternwarte = Ann.

Anding, E. Die bisherigen Publicationen der Sternwarte Bogenhausen bei München. Ann. II. 1891. (Nicht separat gedruckt.)

Bauschinger, Jul. Ueber die Biegung von Meridianfernrohren. München. Ann. II. 1888. M. 1.50.

— Ableitung der Eigenbewegungen von 90 telescopischen Sternen. Ann. II. 1890. M. 2.70.

— Zweites Münchener Sternverzeichnis. Ann. II. 1891. M. 12.00.

— Untersuchungen über den periodischen Cometen. 1889 V. (Brooks). Ann. Bd. III. 1892. M. 5.—.

* — Ueber eine neue Bestimmung der Refractionsconstante auf astronomischen Wege. Sitzb. 1895. S. 239—260.

— Untersuchungen über die astronomische Refraction. Ann. Bd. III. 1896. M. 12.—.

*Charlier, C. Untersuchung über die Methoden zum Tabulieren der Störungen der kleinen Planeten. Sitzb. 1896. S. 287—307.

*Föppl, A. Ueber eine mögliche Erweiterung des Newton'schen Gravitations-Gesetzes. Sitzb. 1897. S. 93—99.

Häerdtl, E. v. Skizzen zu einem speziellen Fall des Problems der 3 Körper. Abh. XVII, 3. 1891. M. 2.50.

Lamont, J. Die Nebelflecken. Rede. 1837. M. 1.30.

— Die Instrumente an der Münchener Sternwarte. Abh. VI, 2. M. 3.—.

*Lehmann-Filhés, R. Ueber die Saecularstörung der Länge des Mondes unter der Annahme einer sich nicht momentan fortpflanzenden Schwerkraft. Sitzb. 1895. S. 371—422.

Sitzungsberichte
der
Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
Jahrgang 1909, 4. Abhandlung

Über die Anwendung der Naturgesetze auf das Universum

von

H. Seeliger.

Vorgetragen am 1. Mai 1909

München 1909
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)

1.

Die Frage, ob die Naturgesetze auch in dem unendlich ausgedehnten Universum Geltung behalten, wird von manchen und zwar auch besonnenen Forschern als gegenstandslos abgelehnt. Es dürfte aber hierbei doch wohl nur eine Verschiedenheit in der Interpretation des Wortes „unendlich“ zutage treten. „Das Unendlich existiert für unser Erkennen nie als eine vollziehbare Vorstellung, sondern nur als eine Forderung, nach der die Verknüpfung gegebener Tatsachen fortgesetzt werden soll.“ Nach diesem treffenden Ausspruch Wundts[1]) muß man zwischen dem etwa als vollendet zu bezeichnenden Unendlich und dem unvollendeten unterscheiden. Insoweit wir das Universum als zu der ersten Klasse gehörend auffassen, können wir ihm allerdings weder Eigenschaften zunoch Gesetze vorschreiben. Denken wir uns aber die räumliche Ausdehnung der uns umgebenden Materie immer größer und größer, so kommen wir zur Auffassung des Universums als Unendlichkeit der zweiten Art. Dieselbe ist nun unserem Erkennen keineswegs in gleicher Weise entrückt, gerade so wenig, wie etwa eine unendliche konvergente Reihe und ähnliche gedankliche Gebilde. Nur in diesem Sinne soll das Unendliche, welcher Art sonst immer, im folgenden aufgefaßt werden.

Das Universum ist dann also ein Grenzbegriff, dem wir uns immer mehr nähern, je größer wir den Umkreis werden lassen, dessen materiellen Inhalt wir naturwissenschaftlich in Betracht ziehen. Es liegt im Begriffe der Grenze, daß dieselbe, strenge genommen, nicht erreichbar ist. Aber es ist nicht einzusehen, warum die Frage unberechtigt sein sollte,

[1]) Allgemeine Logik und Erkenntnistheorie, 3. Aufl., Bd. I, S. 404.

ob bei der sukzessiven Annäherung an die Grenze gewisse Naturgesetze einen bestimmten Sinn behalten. Jedenfalls muß diese Frage zuerst beantwortet werden, ehe man den Geltungsbereich eines Naturgesetzes unbegrenzt erweitert und schließlich mit dem Universum identifiziert. Es kann daher sehr wohl vorkommen, daß sehr wichtige Erkenntnisse eine solche Erweiterung nicht vertragen, weil die Voraussetzungen, auf denen sie beruhen, für das unbegrenzt große Universum ihren Sinn verlieren und also nicht erfüllt werden können.

Man hört wohl oft sagen, daß alle Naturgesetze, weil aus der in engem Rahmen gemachten Erfahrung stammend, nur eine näherungsweise Richtigkeit beanspruchen können, wodurch ihre unbegrenzte Anwendbarkeit an sich ausgeschlossen erscheint. Mit der Konstatierung dieser überaus trivialen Wahrheit wäre aber wenig geholfen. Denn es handelt sich hier um etwas anderes, nämlich um sehr weit getriebene Abstraktionen, die unter bestimmten Bedingungen die Möglichkeit einer unbegrenzten Gültigkeit enthalten können, wenn ihre Fassung in genügend scharfer Weise erfolgt ist. Die Aufsuchung dieser Bedingungen ist nicht nur eine durchaus berechtigte sondern auch eine sehr nötige Aufgabe.

Es ist nicht beabsichtigt, diese allgemeine und weitschichtige Aufgabe hier in Angriff zu nehmen, vielmehr sollen nur spezielle Fälle, die allerdings für die Astronomie von erheblicher Wichtigkeit sind, in Betracht gezogen werden. Wenn die Elastizitätstheorie über den Zusammenhang der wirkenden Kräfte und den entstehenden Verschiebungen gewisse einfache Relationen aufstellt, so weiß man von vornherein, daß solche spezielle Annahmen nur als Näherungen anzusehen sind; man wird dann den Anwendungsbereich der Resultate begrenzen und gar nicht versuchen, diesen Bereich beliebig zu vergrößern. Die Newtonsche Formel für die Anziehungskräfte dagegen wird gewöhnlich als ein Resultat so weit getriebener Abstraktion betrachtet, daß man sie für beliebig große Entfernungen noch für ganz genau hält und niemals untersucht, bei welchen Entfernungen sie etwa aufhört, anwendbar zu sein. Ob aber das

Newtonsche Gesetz wirklich ein solches Gesetz von universeller Gültigkeit ist oder sein kann, ist jedenfalls dringend der Überlegung wert. Die beiden Hauptsätze der mechanischen Wärmetheorie scheinen keine Einschränkungen in Bezug auf Raum und Zeit zu erfordern. Eine nähere Überlegung zeigt aber, daß diese so überaus wichtigen Sätze, die fast die ganze Naturlehre beherrschen, die Möglichkeit der unbegrenzten Erweiterung ihres Gültigkeitsbereichs nicht darbieten, da hierbei die Bestimmtheit ihrer Aussage verloren geht.

Nicht einzusehen ist, warum Untersuchungen in der genannten Richtung nicht erfolgreich geführt werden könnten. Es ist natürlich ein sehr einfaches und bequemes Mittel, sich unbequeme Fragen fernzuhalten, indem man jede Ausdehnungsmöglichkeit der Naturgesetze auf das Universum leugnet. Es ist aber auch ein ganz unzulässiges Mittel schon deshalb, weil man astronomische Anwendungen physikalischer Sätze nicht wird hindern können und wollen. Sofort erhebt sich dann aber die Frage: wie groß dürfen die Räume und Zeiten sein, für welche die Gültigkeit beansprucht wird? Sind es Neptuns- oder Siriusweiten oder millionenmal größere Entfernungen? Wollte man an einer Stelle einhalten, so käme das dem Vorhaben gleich, in einer unendlichen konvergenten Reihe die Berücksichtigung der ersten tausend Glieder zu gestatten, den weiteren Fortschritt aber für aussichtslos und unzulässig zu betrachten. Allgemeine Gesetze, und sie brauchen nicht einmal durch einfache mathematische Formeln darstellbar zu sein, dürfen sich aber nicht anders verhalten, wie andere, z. B. rein mathematische Schöpfungen unseres Geistes, sonst sind sie eben keine Universalgesetze in dem hier festgehaltenen Sinne.

Im Grunde kommt es bei solchen Betrachtungen auf die Diskussion der Möglichkeit von Grenzwerten an und man kann versuchen, die Sachlage etwas mehr zu präzisieren.

Die Mehrzahl der physikalischen Gesetze hat gar keinen Bezug auf eine etwaige unbegrenzte Ausdehnung in Raum und Zeit. Fast alles, was die Molekularphysik und Chemie aussagt, bezieht sich auf die Einwirkungen, die in der nächsten Nähe

oder in den betrachteten Körperteilen selbst vor sich gehen; die Gesetze der Beugung und Polarisation des Lichts und viele andere drücken Tatsachen aus, für die es zum Teil gleichgültig, zum Teil ganz unwesentlich ist, ob der Raum, in dem wir forschen, durch die Wände unseres Zimmers begrenzt ist oder bis zu dem nächsten Fixstern reicht. Von solchen Gesetzen ist natürlich nicht die Rede, wenn gesagt wird, ein Naturgesetz hat die Eigenschaft A der Materie in einem beliebigen Punkt eines etwa durch eine geschlossene Fläche S begrenzten Raumes R festzustellen, obwohl in letzter Instanz die allgemeine Forderung überall ähnlich lauten müßte.

Die Eigenschaft A hängt nun, strenge genommen, von allen im Universum vorhandenen Körpern ab und deshalb wird man annehmen müssen, daß eine Vergrößerung von R eine Veränderung von A nach sich ziehen wird. Der gewöhnliche Gang der Untersuchung ist nun der, daß man bei vorausgesetztem S das zugehörige A feststellt, dann sich überzeugt oder ebenfalls voraussetzt, daß eine Vergrößerung von R keine merkbare Veränderung von A nach sich zieht. Das genügt aber offenbar nicht, wenn es sich darum handelt, die Eigenschaft A durch eine Aussage festzustellen, die als Naturgesetz gelten soll. Dieses muß ausdrücken, daß eine unbegrenzte Erweiterung von R die Eigenschaft A einem Grenzwert zuführt, denn sonst gibt es ja keine allgemeine Eigenschaft A, sondern nur eine solche in dem Raume R von gegebener Ausdehnung. Im Sinne des Grenzwertes liegt es zugleich, daß die Körper in überaus großen Entfernungen keinen nennenswerten Einfluß auf A haben können und daß dieser Einfluß für unendlich große Entfernung gegen die Null konvergieren muß. Zudem würde das Gegenteil zu dem unauflöslichen Widerspruch führen, daß wir ein A erforschen wollten, das wesentlich von unendlich entfernten Körpern abhängt, deren physikalische Eigenschaften, deren Existenz selbst niemals unserer Kenntnis näher gerückt werden kann.

Im folgenden werden nun von diesem Gesichtspunkte aus einige speziellere Fragen, wie schon gesagt, in Überlegung

gezogen werden. Es soll zuerst das Newtonsche Gesetz auf seine Eigenschaft als universell gültiges Gesetz untersucht werden. Dann werde ich die von Olbers gestellte Frage, ob die Zahl der leuchtenden Sterne unbegrenzt groß angenommen werden muß, besprechen. Beiden Gegenständen habe ich vor Jahren bereits Erörterungen gewidmet. Schließlich soll die Gültigkeit der Clausiusschen Sätze über die „Energie und die Entropie der Welt" Gegenstand der Überlegung sein.

2.

Über die allgemeine Gültigkeit des Newtonschen Gravitationsgesetzes habe ich vor Jahren[1]) in zwei Arbeiten Betrachtungen angestellt. Ihren Inhalt hier nochmals wiederzugeben, wäre wohl unnötig, es sollen aber die erhaltenen Resultate kurz zusammengefaßt bzw. in dem hier festgehaltenen Zusammenhang ergänzt werden.

Die in Betracht zu ziehenden kosmischen Massen sollen innerhalb eines Raumes liegen, der den Standpunkt des Sonnensystems schalenförmig umgibt. Die innere Begrenzungsfläche werde durch die Entfernung R_0, die äußere durch R gekennzeichnet, wobei R_0 und R beliebige Funktionen der Polarkoordinaten sein können. In Bezug auf alle innerhalb R_0 gelegenen Punkte kann man auf unendlich viele Weise das Potential der kosmischen Massen ersetzen durch das Potential einer räumlichen Massenbelegung des ganzen Raumes zwischen R_0 und R von der Dichtigkeit δ, was manche Vorteile bietet. Man erreicht das sofort, wenn man sich etwa die kleinsten Teile der Materie kugelförmig denkt und diese Kugeln durch Vergrößerung des Radius auseinanderzieht, so daß aber die Begrenzung R_0 nicht überschritten wird. Die Massenverteilung in diesen Kugeln

[1]) Über das Newtonsche Gesetz. Astron. Nachr., Bd. 137 (1894), und unter demselben Titel: Sitzungsberichte der Münchener Akademie, November 1896. Diese Darlegungen hat, wie mir während des Druckes dieser Abhandlung bekannt geworden ist, neuerdings Professor S. Arrhenius (Rivista di Scienza Vol. V, S. 217—229) besprochen. Ich begnüge mich mit der Konstatierung der Tatsache, daß Herr Arrhenius meine Darlegungen total mißverstanden hat.

braucht nicht homogen zu sein, sondern kann aus konzentrischen Schichten gleicher Dichtigkeit bestehen. Wählt man nun diese Dichtigkeitsverteilung so, daß die Dichtigkeit eine stetige Funktion des Abstandes vom Zentrum der betreffenden Kugel ist und am Rande der ausgezogenen Kugel den Wert Null hat, wobei es freisteht, auch eine endliche Zahl ihrer Differentialquotienten gleich Null zu wählen, so wird also so die Masse jeder kleinen Kugel ersetzt durch eine Massenverteilung mit der Dichtigkeit δ, und dieses δ ist eine im ganzen Raum stetige Funktion des Orts. Die Übereinanderlagerung der von allen kleinen Kugeln erzeugten Massenverteilung wird nun ebenfalls eine Dichtigkeit haben, die im ganzen Raum stetige Funktion des Orts ist, und zwar überall positive Werte hat. Auch der Wert $\delta = 0$ läßt sich im allgemeinen bis auf kleine, nicht in Betracht kommende Raumteile vermeiden. Diese einfache Darstellung des Sachverhalts, die keine funktionentheoretische Überlegungen erfordert, genügt für die vorliegenden Zwecke vollkommen.

Schreitet man nun von einem innerhalb R_0 gelegenen Punkt in einer bestimmten Richtung vorwärts, so hängen die Werte des Potentials, seiner nach einer bestimmten Richtung genommenen ersten und zweiten Differentialquotienten (also Anziehungskomponente und der von mir eingeführten „Zerrung") ab von den drei Integralen

$$\int_{R_0}^{R} \delta\, r\, d\, r, \quad \int_{R_0}^{R} \delta\, d\, r, \quad \int_{R_0}^{R} \frac{\delta}{r} d\, r$$

Soll das Newtonsche Gesetz ein Naturgesetz von unbegrenzter Gültigkeit sein, so müssen demnach zum mindesten die beiden letzten Integrale für beliebig große Werte $R = \infty$ bestimmte Grenzwerte haben, was wiederum erfordert, daß

$$\delta \cdot r \text{ und } \delta$$

für unaufhörlich wachsende r dem Grenzwert Null zustreben müssen. Man kann auch sagen, jedenfalls dürfen nicht unendlich große Räume des Weltalls mit Masse von (durchschnitt-

lich) endlicher Dichtigkeit erfüllt sein. Ich will diese Forderungen der Kürze wegen mit (I) bezeichnen. So ergibt sich der Satz, den ich a. a. O. ausgesprochen habe:

Wenn das Newtonsche Gesetz absolut genau sein soll, dann dürfen nicht unendlich große Räume des Weltalls mit Masse von durchschnittlich endlicher Dichtigkeit erfüllt sein.

Die Umkehrung des Satzes hatte ich so ausgesprochen:

„Ist die Gesamtmasse des Weltalls (bei durchschnittlich endlicher Dichtigkeit) unendlich groß, dann kann das Newtonsche Gesetz nicht als mathematisch genauer Ausdruck der herrschenden Anziehungskräfte gelten.“ Hierbei wurden die eingeklammerten Worte nicht ganz korrekter Weise fortgelassen, weil dies in dem ganzen Zusammenhang der Überlegungen unnötig erschien. Es sind aber dadurch in der Tat Mißverständnisse ermöglicht, obwohl es ja selbstverständlich ist, daß aus I nicht die Endlichkeit der Masse, die vom Integral $\int_{R_0}^{R} \delta r^2 dr$ abhängt, folgt. Es ist natürlich leicht, aus der unendlichen Zahl von Massenverteilungen, die eine unendliche Gesamtmasse ergeben und doch die Bedingungen I erfüllen, bestimmte Anordnungen herauszugreifen. Es wird aber wohl schwerlich durch solche Beispiele etwas an der Sachlage geändert. Ordnet man z. B. etwa gleich große Massen äquidistant auf Geraden an, die in endlicher Zahl einen Kegel von sehr kleiner Öffnung, dessen Spitze im angezogenen Punkt liegt, erfüllen, so wird für sehr große r δ proportional mit $\frac{1}{r^2}$, wodurch I erfüllt und die Gesamtmasse unendlich wird. Jedenfalls erfordert die Bedingung I, daß in beliebig großen Räumen die durchschnittliche Dichtigkeit δ unendlich klein wird. In meinem ersten Aufsatz habe ich meine Meinung (S. 133) dahin ausgesprochen, „daß ein absolut leerer oder mit unendlich dünner Materie erfüllter (beliebig großer) Raum überhaupt nicht vorstellbar ist“. Hier wie in meinem zweiten Aufsatz habe ich indessen ausdrücklich hervorgehoben, daß in solchen der Metaphysik angehörigen Fragen die Meinungen sehr auseinandergehen. In der Tat findet

man bei ähnlichen Erörterungen die verschiedensten Ansichten mit mehr oder weniger Entschiedenheit vertreten. Dem einen erscheint etwas selbstverständlich, was von einem anderen als unfaßbar erklärt wird. Man braucht z. B. nur den 2. Band von Wundts Logik aufzuschlagen, um diese Tatsache auf das deutlichste bestätigt zu finden. Alle möglichen Kombinationen von Unendlichkeit und Endlichkeit der Dichtigkeit und Masse der vorhandenen Materie, ihrer räumlichen Ausdehnung und selbst der Zeit erscheinen mehr oder weniger diskutabel. Und wenn vereinzelte Mathematiker allen Ernstes behaupten, daß eine fortgesetzte Übung der Vorstellungskraft zu der Vorstellbarkeit vierdimensionaler Raumgebilde führt, so wird unserer Gläubigkeit allerdings etwas viel zugemutet, aber man gewinnt doch die Gewißheit, daß das Subjektive in so entlegenen Teilen der Wissenschaft eine überaus große Rolle spielt. Angesichts solcher Vorkommnisse dürfte eine Diskussion in allen ähnlichen Fragen gänzlich unfruchtbar bleiben. Ich habe dies schon in meinen beiden erwähnten Aufsätzen hervorgehoben, so im ersten (S. 130): „Man mag die vorliegende Frage betrachten wie man will, immer wird es mißlich sein, von ihrer Beantwortung eine Beurteilung der Grundlagen der Mechanik des Himmels abhängig zu machen und vom naturwissenschaftlichen Standpunkt wird ohne Zweifel jene Ansicht als zweckmäßiger, also auch als richtiger zu betrachten sein, welche ganz unabhängig von metaphysischen Spekulationen ist.“ Seitdem ist es mir immer deutlicher geworden, daß diese Auffassung noch mehr in den Vordergrund zu rücken und den Ausschlag zu geben hat, wodurch eine vollkommene Klärung leicht und wohl auch ohne ernstlichen Widerspruch von irgend einer Seite zu erhalten sein dürfte.

Im wesentlichen handelt es sich hier um folgendes: Die Deklarierung des Newtonschen Gesetzes als absolut genaues Naturgesetz muß die Erfüllung der Bedingungen (I) voraussetzen, was einen Schluß von in engem Rahmen gewonnenen Erfahrungssätzen auf Eigenschaften der Materie in unendlich fernen Regionen des Universums bedeutete. Es müßte also die Beschaffenheit der Materie in unserer Nähe wesentlich be-

stimmt sein durch die Anordnung der Materie in unendlicher Ferne. Das Widersinnige solcher Konsequenzen, die schließlich auf Voraussetzungen beruhen, welche unserer Erkenntnis für immer und vollständig entrückt sind, braucht wohl kaum weiter besprochen zu werden. Das einzige zulässige Verfahren besteht offenbar darin, daß man das Newtonsche Gesetz, welches doch ein Produkt des Menschengeistes ist, so zu korrigieren hat, daß es allen Beobachtungsresultaten genügt und auch für beliebig große Entfernungen nicht zu Widersprüchen führt, und zwar unter allen Umständen, also nicht bloß für bestimmte herausgesuchte Massenanordnungen, wenn diese auch in unbeschränkter Anzahl zur Disposition stehen. Selbst wenn das Newtonsche Gesetz aus Überlegungen hervorgegangen wäre, die den höchsten Grad der Evidenz für uns besäßen, würde es offenbar angemessener sein, an seiner allgemeinen und exakten Gültigkeit zu zweifeln, statt einer, allerdings im engeren Umkreis, glänzend bewährten Formel zuliebe Voraussetzungen zu machen, die sich auf jeder Erfahrung unzugänglicher Annahmen beziehen. Das letztere Verfahren dürfte wohl kaum als ein wissenschaftlich gerechtfertigtes anzusehen sein. Nun hat aber das Newtonsche Gesetz keineswegs das Aussehen solcher unmittelbaren Evidenz. Wir wissen von ihm nur, daß es innerhalb des Planetensystems sich auf das glänzendste bewährt hat und daß es für Entfernungen vom selben Range, wie die im Planetensystem, mindestens recht angenähert gilt auch in anderen Regionen des Universums. Wir schließen das aus den Bewegungen der Doppelsterne, aber mit einer sehr wenig aussagenden Genauigkeit und mit der Einschränkung, daß über die Größe und die Konstanz des Gaußschen k^2 in allen Gegenden des Fixsternhimmels nichts Zuverlässiges bekannt ist. Wie sich aber die Anziehungskräfte über Strecken hin, die den Entfernungen der Fixsterne voneinander entsprechen, gestalten, darüber fehlt bisher jede Andeutung. Das ist der gegenwärtige Stand der astronomischen Forschung und wenn man der Newtonschen Formel eine größere Bedeutung zuerkennt, überschätzt man die Sicherheit der bisher erreichten astronomischen Kenntnisse.

Man hat vielfach versucht, auf Grund mechanischer Vorstellungen das Zustandekommen der Gravitationswirkung zu erklären. Alle diese Versuche haben bisher zu greifbaren Resultaten nicht geführt, vielmehr nur neue Schwierigkeiten aufgedeckt. Die Newtonsche Formel ergab sich zudem immer nur mit einer gewissen Annäherung. Es ist hier nicht der Ort, auf Einzelheiten einzugehen. Ich möchte hier nur an die sogenannten Ätherstoßtheorien[1]) erinnern. Diese Theorien haben bisher mehr Ablehnung als Zustimmung gefunden, was mit der historischen Entwicklung der physikalischen Theorien zusammenhängen mag, welche lange Zeit solchen molekularen Auffassungen unfreundlich gegenüberstanden. Unserer Zeit liegen ähnliche Vorstellungen wieder viel näher, womit freilich nicht gesagt werden soll, daß nicht bald wieder ein Umschlag in ihrer Bewertung erfolgen wird. Die Entwicklung dieser Theorien, die offenbar noch nicht genügend ausgearbeitet sind, hat aber mit großen äußeren und inneren Schwierigkeiten zu kämpfen und führt nur genähert und unter gewissen Umständen genau genug auf die Newtonsche Formel. Das Dazwischentreten eines dritten Körpers muß die gegenseitige Anziehung der beiden anderen beeinflussen und erzeugt Abweichungen von der Newtonschen Formel, die man vielleicht als „Absorption“ der Gravitation bezeichnen kann. Solche Abweichungen, die an sich recht plausibel erscheinen, haben vielleicht noch am ehesten Aussicht, entdeckt zu werden. Sie würden eventuell in der Mondbewegung und wahrscheinlich nur hier bemerkbar sein können. Da es sich voraussichtlich nur um sehr kleine Abweichungen handeln kann, ist deren Feststellung bzw. der Nachweis ihres Fehlens mit einigen Schwierigkeiten verknüpft und dahingehende Versuche blieben bisher erfolglos.

3.

In formaler Beziehung hängt das viel besprochene sogenannte Cheseaux-Olberssche Problem mit den vorstehenden

---

[1]) Vgl. u. a. P. Drude, Über Fernwirkungen. Beilage zu den Annalen der Physik und Chemie. Neue Folge, Bd. 62, 1897.

Überlegungen zusammen und ich habe demselben deshalb auch in meiner zweiten oben zitierten Abhandlung eine ausführliche Betrachtung gewidmet. Die ganze Sachlage ist aber meiner Meinung nach sehr viel einfacher und durchsichtiger. An der Richtigkeit des Olbersschen Ausspruches, daß bei Annahme unendlich vieler leuchtender Fixsterne der ganze Himmel in hellem Glanze — man wird sich an den von Olbers gebrauchten Ausdruck „ebenso hell wie die Sonne“ nicht stoßen — erscheinen müßte, ist nicht zu zweifeln. Auch die Erklärung der Tatsache, daß der Himmelsgrund nur schwach erleuchtet erscheint durch die Absorption des Sternlichts „beim Durchdringen des Raumes“, ist, im rechten Sinne genommen, durchaus zulässig. Aber sie ist nicht notwendig und kann auf viel näher liegende Ursachen zurückgeführt werden. Eine etwas eingehendere, im übrigen sehr einfache Überlegung zeigt, daß das Olberssche Phänomen nach keiner Richtung Widersprüche, gedankliche Schwierigkeiten oder dergleichen aufweist. Ich habe a. a. O. darauf hingewiesen, wie mit Hinzuziehung immer weiter entfernter Fixsterne man sich einem Grenzzustand nähert, wo der ganze Himmel schließlich in einer Helligkeit erscheinen muß, die gleich ist einer gewissen mittleren Flächenhelligkeit der einzelnen kosmischen Objekte. Man hat demnach einfach die Tatsache hinzunehmen, daß diese mittlere Flächenhelligkeit eine sehr geringe ist. Immer mehr drängt sich die Tatsache in den Vordergrund, daß im Universum die weniger leuchtenden Massen in ihrer Ausdehnung die hell leuchtenden sternähnlichen überwiegen. Wenn man in dem Olbersschen Phänomen Schwierigkeiten, wie sie etwa bei den Betrachtungen über das Newtonsche Gesetz auftreten, zu finden glaubte, so kann dies wohl kaum anders als durch eine Verwechslung leuchtender sternähnlicher Massen mit Massen überhaupt entstanden sein. Diese Verwechslung geschieht tatsächlich sehr oft und es scheint schwierig zu sein, den in ihr hervortretenden Irrtum zu zerstreuen, wenigstens sind meine Auseinandersetzungen genügend ignoriert worden. Es bedarf keiner näheren Auseinandersetzung und folgt aus allen physikalischen Erkenntnissen

fast in selbstverständlicher Weise, daß das Leuchten der kosmischen Massen ein ephemerer Zustand ist, mag er auch, in den gewöhnlichen Zeitskalen gemessen, sehr lange dauern. Daraus ergibt sich weiter, daß die mittlere Helligkeit der in genügend groß gewählten Raumteilen befindlichen Massen innerhalb eng begrenzter Zeiten eine sehr geringe sein muß, da der Entwicklungszustand der Weltkörper, gleichgültig, welche Vorstellung man sich im einzelnen darüber machen mag, eine Funktion des Orts und der Zeit ist dergestalt, daß die Umstände in Ansehung beider Variablen einem Leuchten überwiegend nicht günstig sind. Ich habe übrigens a. a. O. bereits darauf hingewiesen, daß die Tatsache der endlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts wohl quantitativ von Einfluß sein kann, im wesentlichen aber das Olberssche Phänomen gar nicht berührt.

Dieser Hinweis hat aber keineswegs verhindert, daß immer wieder in ganz irrtümlicher Weise dieser Gesichtspunkt in die Diskussion gezogen wird. Nimmt man, was hierbei zu geschehen scheint, ein fortdauerndes oder durch unermeßlich große Zeiträume bestehendes Leuchten unendlich vieler Himmelskörper an, so kann die Lichtzeit keine Rolle spielen, da man die Zeit der Vergangenheit ebensowenig beschränken darf wie die der Zukunft, und wenn man dies doch tun wollte, würde die Helligkeit des Himmelsgrundes, sich einem Grenzwerte nähernd, fortwährend ansteigen. Sieht man aber von dieser in der Tat ganz unphysikalischen Annahme ab, so hängt der Einfluß der endlichen Lichtgeschwindigkeit mit der Beschaffenheit der oben erwähnten Funktion von Ort und Zeit in untrennbarer Weise zusammen. Es ist also nicht ersichtlich, wie auf diesem Wege eine Veränderung der Sachlage erzielt werden könnte.

Die Stellung zur vorliegenden Frage wird nicht von der Vorstellung abhängen, die man sich im einzelnen von der Art der Absorption machen mag, die also durch die Vorlagerung dunkler oder wenig leuchtender Körper hervorgerufen wird. Mir schienen die beobachteten Erscheinungen am besten mit

der Ansicht sich vereinigen zu lassen, daß unser Fixsternsystem, zu dem in der Hauptsache alles gehört, was wir am Himmel sehen, durch weite Räume von anderen leuchtenden Weltkörpern getrennt ist und diese Trennung infolge der durch Vorlagerung dunkler Massen unser System zu einem optisch abgeschlossenen macht. Innerhalb des Fixsternsystems brauchen solche Absorptionen aber keineswegs zu fehlen. Viele Stellen, namentlich in der Milchstraße, deuten fast mit Sicherheit auf solche Vorlagerungen von Massen hin. Spielen doch meiner Ansicht nach ausgedehnte kosmische Staubwolken in der Stellarastronomie eine weit größere Rolle, als früher gemutmaßt worden ist. Vielfach ist man gerade in der allerletzten Zeit durch die Betrachtung photographischer Aufnahmen auf diese und ähnliche Ansichten geführt worden, womit freilich nichts Neues ausgesprochen wurde, da ich seit vielen Jahren in meinen Arbeiten einen gleichen Standpunkt einnehme.

Für die Beurteilung des Olbersschen Phänomens kommt indessen all dies weniger in Betracht: die auftretenden Schwierigkeiten sind nur scheinbare und zum großen Teil, wie auseinandergesetzt worden ist, durch offenbare Mißverständnisse entstanden. Wie solche ziemlich unmotiviert auftreten können, dafür gibt eine Stelle in dem sonst so gedankenreichen Buche von Stallo[1]) Zeugnis, dessen Lektüre trotz aller Meinungsverschiedenheit im einzelnen hohen und belehrenden Genuß gewährt. Ich kann mir nicht versagen, diese Stelle wörtlich anzuführen:

„Im Jahre 1826 bemerkte Olbers, daß, wenn die Zahl der im Weltraum Wärme und Licht ausstrahlenden Körper unendlich ist, jeder Punkt des Raumes eine unendliche Zahl von Licht- und Wärmestrahlen empfangen und somit unendlich heiß und glänzend sein müßte — wobei er allerdings hinzufügte, daß diese Folge durch die Annahme einer Absorption des größten Teils dieser Strahlen durch die dunklen und kalten

---

[1]) Die Begriffe und Theorien der modernen Physik von J. B. Stallo. Übersetzt von Kleinpeter. Leipzig 1901.

Körper im Raume vermieden werden könnte. Doch diese Rettung erschien mit einemmale fraglich durch die Überlegung, daß die zwischen den leuchtenden Sternen verstreuten dunklen und kalten Körper rasch die Glühhitze erreichen müßten und das Absorptionsvermögen bald erschöpft sein müßte.“ Kann man die Meinung von Olbers unzutreffender und das Phänomen unrichtiger darstellen? Und kann man bei der Zurückweisung der keineswegs von Olbers herangezogenen Absorption durch dunkle Körper unphysikalischer verfahren?

4.

Clausius hat die beiden Hauptsätze der mechanischen Wärmetheorie auf das Universum angewandt und ist so zu der Formulierung gelangt:[1]) 1. Die Energie der Welt ist konstant. 2. Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu. Bei späteren Zusammenfassungen hat Clausius, soweit ich sehe, niemals mehr die Sätze in dieser Fassung ausgesprochen, woraus vielleicht geschlossen werden kann, daß er selbst sie als zu weitgehend erkannte. In der Tat ist kein Zweifel darüber möglich, daß so allgemeine Sätze über die „Welt“ einen greifbaren Sinn nicht ohne weiteres besitzen, wo die Welt als eine nicht näher charakterisierte vollendete Unendlichkeit erscheint, die überhaupt keine Eigenschaften haben kann. Indessen ist mit einer solchen einfachen Zurückweisung, die schon oft genug geübt worden ist, eine so wichtige Sache nicht abgetan. Man muß zuerst feststellen, ob die beiden Wärmesätze überhaupt allgemein gültige Gesetze darstellen, die eine Anwendung auf das unbegrenzt große Universum vertragen und dann gegebenenfalls die Clausiusschen Sätze anders zu fassen suchen.

Der Energiesatz ist selbstverständlich an sich nichts anderes als ein rein empirischer Satz. Aber zu seiner Stütze

---

[1]) Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie. Poggendorfs Annalen CXXV, 1865. Abgedruckt in den Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie als Abhandlung IX, 1867.

liegt ein so überwältigendes Material an Erfahrungstatsachen bereit, daß kein Bedenken dagegen zu erheben ist, wenn er als Prinzip an die Spitze aller physikalischen Erklärungsversuche gestellt wird. Aber man wird, wie gesagt, sich hüten müssen, ihm eine über alle Empirie hinausreichende Bedeutung zuzumessen, denn die Überschätzung eines jeden Prinzips liegt nahe und wird oft genug ausgeführt. Von der von H. Poincaré[1]) hervorgehobenen Dehnbarkeit, die das Prinzip in seiner Anwendung und Interpretation besitzt, soll hier ganz abgesehen werden. Denn wenn auch alle Energiearten unzweifelhaft festständen und in jedem Falle ihre vollständige und eindeutige Feststellung erfolgen könnte, würden die logischen Schwierigkeiten, die sich einer unbegrenzten Ausdehnung seines Gültigkeitsbereichs entgegenstellen, dieselben bleiben. Wie groß auch die Ausdehnung der in Betracht gezogenen Körperkomplexe sein mag, immer bleiben noch ausgedehntere übrig, die mit jenen in Wechselwirkung stehen und Energiewerte von einer für immer unbekannt bleibenden Größe austauschen. Deshalb existiert ein völlig abgeschlossenes System, für welches die Konstanz des Energieeinhaltes festgesetzt werden könnte, nicht. Wenn wir uns aber, dem Begriff einer unvollendbaren Unendlichkeit entsprechend, das Universum als Grenzbegriff auffassen, dem wir uns durch fortgesetzte Vergrößerung des Raumes um uns beliebig nähern könnten, so könnte man annehmen, daß man so auch einem Grenzbegriff, der dem völlig nach außen abgeschlossenen System gleichkäme, asymptotisch immer näher käme. Nur, wenn dies möglich wäre, würde der Energiesatz einen bestimmten Sinn behalten und seine Anwendung auf das unbegrenzt große Universum wäre als zulässig erwiesen. Tatsächlich wurde allen Ernstes diese Möglichkeit behauptet und sie sollte daraus hervorgehen, daß sich bei zunehmender Vergrößerung eines Raumes das Verhältnis des Flächeninhalts einer geschlossenen Fläche zu dem Inhalt des eingeschlossenen

[1]) Wissenschaft und Hypothese. Übersetzt von Lindemann. Leipzig 1906.

Raumes immer mehr verkleinert und schließlich zur Null konvergiert. Das setzt aber voraus, daß die Wirkung aller äußeren Massen auf die innerhalb der Fläche liegenden nur von der Größe dieser Fläche abhängt, während die Massen dreidimensional angeordnet sind, wobei, von speziellen Fällen abgesehen, ihre Einwirkungen durchaus eine andere Abhängigkeit zeigen. Diese passieren allerdings sozusagen die Fläche. Das ist aber auch das einzige, was man sagen kann. Außerdem ergibt sich als selbstverständlich, daß durch eine beliebige Vergrößerung der Zeit, eine beliebig große Energiemenge zum Austausch an der Grenzfläche gebracht werden kann. Das ganze Raisonnement ist also als ganz verfehlt abzuweisen. Das tatsächliche Auftauchen solcher sonst unbegreiflicher Irrtümer hängt vielleicht mit der richtigen Auffassung zusammen, daß bei sehr weit entfernten Grenzflächen der Energieumsatz in den innersten Teilen des Raumes annähernd so erfolgt, als ob ein abgeschlossenes System vorläge. Abgesehen davon, daß in der Nähe der Grenzfläche diese Annäherung ganz verloren geht, werden, zum mindesten mit beliebig zunehmender Zeit, auch die innersten Raumteile dieses einfache Verhalten nicht mehr zeigen. Im übrigen ist es bei solchen Überlegungen ganz gleichgültig, ob man mehr oder weniger große Annäherungen erzielt.

Danach verliert das Energieprinzip bei einem Versuch seiner Anwendung auf das Universum jeden Inhalt und es wird ein eitles Bemühen sein, ihm einen bestimmten Sinn etwa dadurch zu geben, daß man den ersten der beiden Clausiusschen Sätze anders faßt.

Noch viel bedenklicher wäre es, den zweiten Clausiusschen Satz aufrecht erhalten zu wollen. Vor allem kommt, gegenüber dem Energieprinzip, noch hinzu, daß der Entropiesatz in der älteren Form, auch abgesehen von einer etwaigen Anwendung auf das Universum, kaum als ein ganz vollständiger Ausdruck der tatsächlichen Verhältnisse angesehen werden kann. Es ist darüber so viel geschrieben und gesprochen worden, daß an dieser Stelle wenige Bemerkungen genügen werden. Man kann unmöglich leugnen, daß seit Clausius Vorgänge auf-

gefunden oder erdacht worden sind, die dem zweiten Satze der mechanischen Wärmetheorie, dem auch der Entropiesatz entsprungen ist, widersprechen, indem Wärme aus einem kälteren in einen wärmeren Körper ohne Arbeitskompensation übertreten kann. Ob man die Maxwellschen Dämonen als ein besonders glücklich gewähltes Bild bezeichnen darf, bleibe dahingestellt, da sie eine überflüssige Ausmalung der Verhältnisse bedeuten. Sicher zeigt die kinetische Gastheorie die Möglichkeit der vorübergehenden Erhöhung der Molekulargeschwindigkeit in einem wärmeren Gase durch Übertritt von schneller bewegten Molekülen aus einem kälteren Gase in einer ein gewisses Mittelmaß übersteigenden Anzahl. Man hat dann weiter dieselben Verhältnisse im großen konstruiert, indem man den Austausch der Moleküle der Gashüllen von Weltkörpern in Betracht zog und so einen länger andauernden Strom schneller bewegter Moleküle erhielt, die von dem kälteren zu dem wärmeren Körper in überwiegender Anzahl herüberziehen und so seinen Wärmeinhalt noch mehr vergrößern können. Jetzt werden die Abweichungen vom zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie nicht auf äußerst kleine Raum- und Zeitteile beschränkt bleiben müssen, sondern in beiden Richtungen in durchaus bemerkbaren Quantitäten sich äußern. Für die Beurteilung der Frage, ob der zweite Hauptsatz ein exaktes Naturgesetz darstellt, ist dieser Unterschied zwar nicht von prinzipieller, aber doch von erheblicher sachlicher Bedeutung. Nun gibt es freilich auch jetzt noch einige Physiker, welche die kinetische Theorie der Materie nicht in allen Einzelheiten als so fest begründet ansehen, daß einzelne Widersprüche gegen sonst wohl begründet erscheinende Sätze von entscheidender Bedeutung sein müßten. Die Kurzlebigkeit physikalischer Theorien muß allerdings zur Vorsicht und Bescheidenheit mahnen, auch ist der eben erwähnte Standpunkt wenigstens ein solcher, welcher zunächst konsequent eingenommen werden kann, ohne zu logischen Widersprüchen zu führen. Andererseits sind die von der kinetischen Theorie herkommenden Einwände nicht leicht zu nehmen, da gerade diese Theorie die glänzendsten Erfolge

aufzuweisen hat. Und so haben auch die größten Physiker wie Maxwell, Clausius, Helmholtz, Boltzmann, trotzdem sie in Einzelheiten keineswegs übereinstimmten, die aus den kinetischen Betrachtungen hervorgegangenen Einwände gegen den zweiten Wärmesatz als sehr ernst zu nehmende anerkannt. Schließlich haben diese namentlich durch Boltzmann zu einer veränderten Auffassung des zweiten Hauptsatzes geführt, indem man ihn als einen Satz der Wahrscheinlichkeitsrechnung betrachtete: Die gewöhnlich in der Natur vorkommenden Vorgänge geschehen mit überwiegender Wahrscheinlichkeit nach einer Richtung, welche durch die Vergrößerung der Entropie in einem abgeschlossenen System gekennzeichnet wird. Diese überaus ansprechende Auffassung läßt also nach Boltzmann die Möglichkeit von Naturvorgängen zu, die dem Entropiesatz nicht entsprechen. Denn wenn man von einer Wahrscheinlichkeit des Ereignisses E spricht, so hat das nur dadurch einen Sinn, daß das Nichteintreten von E unter denselben Verhältnissen als möglich vorausgesetzt wird. Leugnet man diese Möglichkeit, so ist die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung höchstens eine Spielerei und zwar unter Umständen eine nicht ungefährliche. Das war auch ohne Zweifel die Ansicht von Boltzmann und ist die einzige logisch zulässige. Definiert man also den Entropiesatz als einen Wahrscheinlichkeitssatz, so ist damit eo ipso ausgesprochen, daß Vorgänge, die ihm widersprechen, möglich sind. Man kann deshalb nicht durch irgendwelche Definitionen nachträglich Ausnahmen von dem Entropiesatz ausschließen und behaupten, daß nun der so in seiner Gültigkeit beschränkte Satz allgemein und ausnahmslos gültig sei und doch auf der Einführung der Wahrscheinlichkeitsbetrachtung beruht und durch sie erwiesen sei. Beides steht in unlösbarem logischen Widerspruch und das ganze ist ein Zirkelschluß der vollkommensten Art. Vielmehr ist die Frage, ob der Entropiesatz ein ausnahmslos geltendes Naturgesetz ist, bereits vollständig in verneinendem Sinne entschieden, sobald man seinen Inhalt als einen Satz der Wahrscheinlichkeitsrechnung auffaßt. Damit ist auch die Frage,

ob der Entropiesatz auf das unbegrenzte Universum ausgedehnt werden darf, entschieden und gegenstandslos.

Die Boltzmannsche Darstellung gibt aber noch weitere Auskunft. Nicht auf alle Vorgänge sind die Wahrscheinlichkeitssätze ohne weiteres anwendbar und für die, welche hier herausfallen und wirklich vorkommen können, kann man demnach keine bestimmte Angabe machen. Somit muß der Clausiussche Satz auch, abgesehen von seiner Fassung in seiner Anwendung auf das Weltall, als unrichtig angesehen werden.

Die Wahrscheinlichkeitsrechnungen sind nur auf Ereignisse anwendbar, die als zufällig angesehen werden können und wenn mehrere Ereignisse in Betracht gezogen werden, gelten gewisse, gerade hier in Betracht kommende Sätze nur im Falle ihrer Unabhängigkeit. Bei den Boltzmannschen Betrachtungen, worauf er selbst nachdrücklich aufmerksam macht, kommt es darauf an, daß die Aufeinanderfolge gewisser Vorkommnisse ganz zufällig, d. h. regellos oder wie man auch sagt ungeordnet erfolgt. Damit sind alle Vorgänge überhaupt von der Betrachtung ausgeschlossen, die irgendwie geordneten Bewegungen entsprechen. Für solche läßt sich über den zweiten Wärmesatz überhaupt nichts aussagen. In der Tat scheinen neuerdings gefundene Widersprüche gegen den Wärmesatz auf dieser Basis erklärbar zu sein, sicher gehören die obenerwähnten von der kinetischen Gastheorie ausgehenden Einwände in diese Klasse. Man muß also die Geltung des Entropiesatzes an das Vorhandensein völliger Ungeordnetheit knüpfen und da diese in der Natur sicherlich nicht genau höchstens angenähert vorkommt, hat der Entropiesatz, von unserem Standpunkt aus, den ausgeprägten Charakter eines keinesfalls allgemeinen, sondern nur unter bestimmten Voraussetzungen geltenden Erfahrungssatzes. Damit ist natürlich seine große Bedeutung für viele Teile der Physik in keiner Weise alteriert. Aber von einer unbegrenzten Anwendbarkeit auf das Universum kann keine Rede sein und alle mit dem sogenannten „Wärmetod“ zusammenhängenden Perspektiven ruhen nicht auf wohlbegründeter Basis. Wer wollte behaupten, daß das Streben der

Natur, insofern es nicht in einzelnen Wärmeerscheinungen hervortritt, sondern die Entwicklung des Universums bestimmt, nach Herstellung größerer Ungeordnetheit gerichtet ist? Das Gegenteil kann ebensogut, vielleicht mit größerem Recht, angenommen werden. Dann würde aber auf Grund der kinetischen Betrachtung folgen, daß in der Natur mit der Zeit immer mehr die Fälle von Geordnetheit zahlreicher werden und somit immer mehr eine Ungültigkeit des Entropiesatzes hervortreten müßte. Ich glaube, daß diese Mutmaßung viel ansprechender ist als das Gegenteil und nun auch noch andere Widersprüche fortschafft, die sich von selbst aufdrängen.

Es scheint nicht oder nur sehr wenig bekannt zu sein, daß sehr viel Beachtenswertes über den Entropiesatz von einem Nichtphysiker bereits vor 34 Jahren deutlich ausgesprochen worden ist, was viel später von anderen zum Teil in nicht so klarer, zum Teil in übertriebener Weise gesagt wurde.

Im ersten Band der gesammelten Schriften[1]) des hochverdienten Physiologen A. Fick habe ich S. 362—365 einen höchst interessanten und bedeutenden Aufsatz vom Jahre 1874 „Über das Prinzip der Zerstreuung der Energie“ gefunden, zu dessen Lektüre ich durch die Mitteilung einiger Sätze anregen möchte. Fick wendet sich gegen die Zulässigkeit des oben angeführten Clausiusschen Satzes von der Zunahme der Entropie im Weltall. Gleich am Anfang zeigt er, wie die Annahme, die Entwicklung der Welt schreite stets in derselben Richtung, einer Vermehrung der Entropie entsprechend, vorwärts, zu den unbegreiflichsten Konsequenzen führt: „Das würde so viel heißen, als daß vor einer unendlichen Zeit, von jetzt an gerechnet, das Weltsystem noch nicht den jetzt gültigen Gesetzen unterworfen gewesen wäre, oder daß vor unendlicher Zeit unendlich große Geschwindigkeiten oder unendlich große Temperaturdifferenzen vorhanden gewesen wären, was undenkbar ist. Es ist begreiflich, daß ein Satz, der zu so bedenklichen Konsequenzen führt, selbst bedenklich erscheint.“ Hier ist in der Tat eine große unüber-

---

[1]) Würzburg 1903.

windliche Schwierigkeit aufgedeckt, auf welche alle einseitigen Naturentwicklungen, die sich nach Raum und Zeit unumschränkt abspielen sollen, führen. Fick spricht dann über die Clausiusschen Beweise des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie, die sich auf die Annahme stützen, daß Wärme von einem kälteren zu einem wärmeren Körper nicht ohne Kompensation übergehen könne. „Nun ist zwar diese Annahme wahrscheinlich genug, um den ausgedehntesten Gebrauch von ihr zu machen, aber auf die Würde eines eigentlichen Axioms kann sie doch eigentlich nicht Anspruch machen.“ Er kommt dann auf die damals noch wenig bekannte und auch wohl noch nicht ganz entwickelte Auffassung von Boltzmann zu sprechen und gelangt zu dem Ausspruch: „Ich behaupte hiernach, daß dem Satz von der Zerstreuung der Energie keine Gewißheit zukommt, sondern nur ein Grad von Wahrscheinlichkeit, der zwar groß genug ist, um jeden beliebigen praktischen Gebrauch davon zu machen, der aber nicht gestattet, diesen Satz zu einem eigentlichen Prinzip der Naturphilosophie zu machen.“ Schließlich erwähnt Fick auch noch die obenerwähnten Weltkörper mit Atmosphären, die tatsächlich dem Entropiesatz entsprechen: „Ganz ebenso schließt es auch unsere Vorstellung von der Natur des gasförmigen Aggregatzustandes nicht aus, daß einmal zufällig besonders viele Moleküle in gleicher Richtung fliegen. Wenn sich dies aber an der Grenze der Atmosphäre eines Planeten ereignete, so könnten sich frei fortfliegende Molekularaggregate bilden. In einem solchen Falle wäre Wärme ohne Kompensation in Massenbewegung verwandelt worden. Man sieht leicht, daß dieser Gedanke zu ganz artigen kosmischen Phantasien Veranlassung geben kann, die ich aber hier nicht weiter ausspinnen will.“

Jeder, der die kleine Abhandlung von Fick liest, wird lebhaft bedauern, daß sie keine weitere Beachtung gefunden hat und gewiß wäre im andern Fall mancher bedauerliche Irrtum vermieden worden, auch wäre wohl manche Diskussion unterblieben und manche Neuauffindung hätte sich als unnötig erwiesen.

Zum Schluß sei noch erwähnt, daß auch, abgesehen von den früheren Bemerkungen und wenn man sich auch nicht auf den Boden der kinetischen Theorie stellt, vielmehr den Entropiesatz in der ursprünglichen Gestalt betrachtet, die Zulässigkeit seiner Anwendung auf das Weltall abgelehnt werden müßte und zwar aus ähnlichen Gründen, die zur Beurteilung der Gültigkeit des Energieprinzips führten. Der zweite Hauptsatz der Wärmetheorie wird, um einen Machschen Ausdruck zu gebrauchen, durch gewisse „Gedankenexperimente" abgeleitet, die aus verschiedenen Gründen gar nicht wirklich ausgeführt werden können. Ob man auf diesem Wege überhaupt zu ganz streng gültigen Naturgesetzen gelangen kann, ist sicherlich diskutabel, doch soll nicht näher darauf eingegangen werden. Nur darauf soll hingewiesen werden, wie die Schwierigkeiten, die solche Experimente unserem Verständnis darbieten, wachsen, wenn dem betrachteten System eine immer größere Ausdehnung gegeben wird und wenn man, wie hier gefordert wird, andere außerhalb gelegene Körperkomplexe von vorgeschriebenen Eigenschaften heranziehen muß. Wie man solche Experimente, auf denen der Beweis des zweiten Hauptsatzes beruht, etwa sich angeordnet zu denken hat, um seine Gültigkeit für alle Vorgänge innerhalb unseres Fixsternsystems z. B. nachzuweisen, wird wohl schwerlich darzustellen sein. Jedenfalls ergibt sich, daß eine Erweiterung des Raumes, dessen Massen in die Betrachtung einbezogen werden, schon deshalb nicht beliebig fortgesetzt werden kann, weil man immer wieder außerhalb gelegene Körperkomplexe von vergleichbarer Ausdehnung hinzuziehen muß. Einer Grenze nähert man sich bei diesem Vorgang jedenfalls nicht und deshalb ist nach den obigen Auseinandersetzungen eine unbegrenzte Ausdehnung der Gültigkeit der gewonnenen Sätze nicht zulässig. Man könnte zwar annehmen, obwohl nichts dafür spricht, daß vielleicht eine andere Betrachtungsweise aufgefunden werden könnte, die von den erwähnten Schwierigkeiten frei ist. Aber auch damit wäre nichts gewonnen. Denn mehr als den Beweis zu liefern, daß die Entropie in einem vollkommen abgeschlossenen System

zunimmt, und daß dieser Satz für sehr große Systeme solcher Art gültig bleibt, kann nicht gelingen. Wie oben gezeigt worden ist, kann aber nur eine irrtümliche Ansicht über die Wirkungen verschiedener Körper aufeinander auf diesem Wege zum Universum als Grenzbegriff führen.

Wie man also die Sache auch betrachten mag und unabhängig von dem speziellen physikalischen Standpunkt, von dem die Beurteilung erfolgt, immer gelangt man zu dem Resultat, daß ein Beweis für die fortwährende Entropievermehrung im Universum nicht erbracht werden kann, vielmehr der Entropiesatz selber, ganz abgesehen von rein physikalischen Bedenken, eine unbegrenzte Erweiterung seines Gültigkeitsbereichs nicht verträgt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Klasse der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: 1909

Autor(en)/Author(s): Seeliger Hugo Johann

Artikel/Article: Über die Anwendung der Naturgesetze auf das Universum. Vorgetragen am 1. Mai 1909 1-25