

# Neue Bahnen der physikalischen Erkenntnis.

Rede zum Antritt des Rektorats an der Friedrich Wilhelm-  
Universität zu Berlin am 15. Oktober 1913

gehalten  
von  
Max Planck.

---

Durch das Vertrauen der berufenen Vertreter unserer Körperschaft an die Spitze ihrer Verwaltung gestellt, habe ich als erste öffentliche Amtspflicht die Aufgabe übernommen, heute beim Beginn des neuen Studienjahres die Angehörigen und die Freunde unserer Alma mater in einer, wie die Satzungen es ausdrücken, auf den Anfang des Lehrkurses sich beziehenden Rede zu begrüßen.

Wohl sind es Empfindungen besonderer Art, mit denen wir, Lehrer und Lernende, diesmal auf die im neuen Semester vor uns liegenden Aufgaben blicken mögen. Denn während das nun zurückliegende Jahr uns wie in festlichen Glanz getaucht erscheint, in seinem ganzen Verlauf durchleuchtet und durchwärmt von den Gedanken an große nationale Ideen, an die schweren für sie gebrachten Opfer und an die ruhmvollen daraus entsprossenen Siegestaten, deren letzte und größte noch gerade in diesen Tagen von dem gesamten deutschen Volk gefeiert werden soll, wird das kommende Semester, allem menschlichen Voraussicht nach, durchweg einen schlichten Charakter tragen und lediglich der regelmäßigen Arbeit gewidmet sein.

Das Beste, was wir von den Gedenkfesten des vergangenen Jahres in das neue hinübernehmen, ist der brennende Wunsch, daß unsere Nachfahren dereinst in ähnlicher Weise zu uns emporblicken möchten, wie wir es jetzt zu den Männern tun, welche vor hundert Jahren in Wort und Tat für das Vaterland gekämpft und gelitten haben. Möge niemand einen solchen Wunsch von vornherein als gänzlich aussichtslos von sich weisen mit der Begründung, daß doch heutzutage von der Erreichung so hoher Ziele nicht mehr die Rede sein könne. Denn einmal dürfen wir nicht vergessen, daß die Kräfte, welche damals zur herrlichen Entfaltung kamen, ihre eigentliche Nahrung zogen gerade aus der stillen, ihrer hohen Bedeutung vielleicht weniger sich bewußten, aber desto innerlicher schaffenden Werktagsarbeit vergangener schlichter Zeiten, und zum andern kann keiner im voraus wissen, mit welchem Maßstab kommende Geschlechter dereinst an die Bewertung der Leistungen unserer Tage heran-

gehen werden. Was wir aber unter allen Umständen mit voller Sicherheit voraussagen können, ist, daß unsere Generation nur dann mit Grund hoffen darf, vor dem Urteil der Nachkommen künftig einmal in Ehren zu bestehen, wenn sie die ihr zugefallenen besonderen Aufgaben nach bester Einsicht in treuer Pflichterfüllung zu lösen bemüht sein wird, ein jeder an dem Platze, auf welchen ihn sein Beruf und das Schicksal geführt hat.

So sei es auch mir heute an dieser Stelle gestattet, aus dem speziellen Arbeitsgebiet der von mir vertretenen Wissenschaft einen Ausschnitt vorzulegen, indem ich die fortschreitende Entwicklung der physikalischen Erkenntnis ins Auge fasse und versuche, eine Schilderung zu entwerfen von neuen Bahnen, welche dieselbe seit dem Anbruch dieses Jahrhunderts eingeschlagen hat.

Wohl noch niemals hat die experimentelle physikalische Forschung einen ähnlichen stürmischen Aufschwung erlebt, wie seit etwa einem Menschenalter, und wohl noch nie ist das Bewußtsein ihrer Bedeutung für die menschliche Kultur in weitere Kreise gedrungen wie in der Gegenwart. Die Wellen der drahtlosen Telegraphie, die Elektronen, die Röntgenstrahlen, die Erscheinungen der Radioaktivität erregen mehr oder weniger jedermanns Interesse. Faßt man nun aber die weitere Frage ins Auge, in welcher Weise diese neuen glänzenden Entdeckungen unser Verständnis der Natur und ihrer Gesetze beeinflusst und gefördert haben, so scheint es da auf den ersten Blick gar nicht entsprechend glänzend auszusehen.

Wer heute aus einiger Entfernung den Zustand der gegenwärtigen physikalischen Theorien von höherer Warte aus zu beurteilen sucht, mag im Gegenteil leicht zu dem Eindruck geführt werden, daß die theoretische Forschung durch die vielen neuen, zum Teil völlig unvorhergesehenen experimentellen Funde einigermaßen in Verwirrung geraten ist und sich gegenwärtig in einer unerquicklichen Periode ziellosen Umhertastens befindet, im geraden Gegensatz zu der abgeklärten Ruhe und Sicherheit, welche die jüngst vergangene theoretische Epoche auszeichnet, die daher nicht mit Unrecht als die klassische bezeichnet zu werden pflegt. Allenthalben werden alte, fest eingewurzelte Vorstellungen angegriffen, allgemein anerkannte Sätze umgestoßen und an ihre Stelle neue Hypothesen gesetzt, zum Teil von einer Kühnheit, die an die Fassungskraft auch der wissenschaftlich Gebildeten schier unerträgliche Ansprüche stellt und jedenfalls nicht geeignet scheint, das Vertrauen auf einen stetigen zielbewußten Fortschritt der Wissenschaft zu fördern. So mag die gegenwärtige theoretische Physik den Eindruck eines zwar altehrwürdigen, aber morsch gewordenen Gebäudes gewähren, an dem ein Bestandteil nach dem andern abzubrockeln beginnt, und dessen Grundfesten sogar ins Schwanken zu geraten drohen.

Und doch wäre nichts unrichtiger als eine derartige Vorstellung. Gewiß gehen in dem Aufbau der physikalischen Theorien gegenwärtig große, tiefgreifende Veränderungen vor sich. Aber eine nähere Besichtigung ergibt, daß es sich hier keineswegs um Werke der Zerstörung, sondern vielmehr um

Ergänzungs- und Erweiterungsbauten handelt, daß gewisse Quadern des Baues nur deshalb von der Stelle gerückt werden, um an einem anderen Orte zweckmäßigeren und festeren Platz zu finden, und daß die bisherigen eigentlichen Fundamente der Theorie gerade gegenwärtig so fest und so gesichert ruhen wie zu keiner Zeit vorher. Diese Behauptung eingehender zu begründen, soll der nächste Zweck der folgenden Erörterungen sein.

Zuvor eine allgemeinere Überlegung. Der erste Anstoß zu einer Revision und Umbildung einer physikalischen Theorie geht fast immer aus von der Feststellung einer oder mehrerer Tatsachen, die in den bisherigen Rahmen der Theorie nicht hineinpassen. Die Tatsachen bilden stets den archimedischen Punkt, von dem aus auch die gewichtigste Theorie aus den Angeln gehoben werden kann. Insofern ist für den richtigen Theoretiker nichts interessanter als eine Tatsache, die mit einer bisher allgemein anerkannten Theorie in direktem Widerspruch steht; denn hier setzt seine eigentliche Arbeit ein.

Was ist nun in einem solchen Falle zu tun? Fest steht nur das eine: An der bestehenden Theorie muß irgend etwas geändert werden, und zwar so, daß sie mit der festgestellten Tatsache in Übereinstimmung kommt. Aber an welchem Punkt der Theorie die Verbesserung einzusetzen hat, das ist oft eine sehr schwierige und verwickelte Frage. Denn eine Tatsache gibt noch keine Theorie. Letztere besteht vielmehr in der Regel aus einer ganzen Reihe von einzelnen miteinander kombinierten Sätzen. Sie ist einem komplizierten Organismus zu vergleichen, dessen einzelne Teile so vielfach und innig miteinander zusammenhängen, daß ein Eingriff, den man an irgendeiner Stelle macht, immer auch an verschiedenen anderen, oft scheinbar weit entfernten Stellen mehr oder weniger fühlbar wird. Da mithin eine jede Schlussfolgerung der Theorie aus dem Zusammenwirken von mehreren Sätzen derselben hervorgeht, so können auch für jeden Mißerfolg, zu dem die Theorie geführt hat, in der Regel mehrere Sätze verantwortlich gemacht werden, und es bieten sich fast immer verschiedene Möglichkeiten dar, um den rettenden Ausweg zu gewinnen. Gewöhnlich spitzt sich dann schließlich die Frage soweit zu, daß es zu einem Konflikt zwischen zwei oder drei Sätzen kommt, die bisher miteinander vereinigt in der Theorie Platz fanden, von denen aber angesichts der festgestellten Tatsache notwendig mindestens einer fallen gelassen werden muß. Der Kampf zieht sich oft Jahre und Jahrzehnte lang hin; seine endgültige Entscheidung bedeutet aber nicht allein die Ausmerzung des einen, unterlegenen Satzes, sondern zugleich auch, worauf hier besonderes Gewicht zu legen ist, ganz naturgemäß eine entsprechende Befestigung und Rangerhöhung der übrigen, siegreich gebliebenen Sätze der Theorie.

Und nun ist das überaus wichtige und merkwürdige Resultat zu verzeichnen, daß in allen derartig entstandenen Konflikten der neueren Zeit die großen allgemeinen physikalischen Prinzipien, so namentlich das Prinzip der Erhaltung der Energie, das Prinzip der Erhaltung der Bewegungsgröße, das Prinzip der kleinsten Wirkung, die Hauptsätze der Thermodynamik, es gewesen sind, welche ausnahmslos das Feld behauptet haben, und deren

Bedeutung daher ganz erheblich gewachsen ist, während dagegen die im Kampfe unterlegenen Sätze solche sind, welche bisher zwar allen theoretischen Entwicklungen als scheinbar sicherer Ausgangspunkt dienten, aber nur deshalb, weil sie als so selbstverständlich angesehen wurden, daß man sie besonders zu erwähnen gewöhnlich entweder nicht für nötig fand oder überhaupt vergaß. Zusammenfassend kann man geradezu sagen, daß die neueste Entwicklung der theoretischen Physik ihr Gepräge erhält durch den Sieg der großen physikalischen Prinzipien über gewisse tief eingewurzelte, aber doch nur gewohnheitsmäßige Annahmen und Vorstellungen.

Um diese Darlegungen näher zu veranschaulichen, mögen nun einige jener Sätze besprochen werden, welche bisher ohne jedes Bedenken als selbstverständliche Grundlagen einer jeden einschlägigen Theorie benutzt zu werden pflegten, welche sich aber im Lichte neuer Tatsachen den allgemeinen Prinzipien der Physik gegenüber als unhaltbar oder wenigstens als höchst zweifelhaft erwiesen haben. Ich nenne hier drei derselben: die Unveränderlichkeit der chemischen Atome, die gegenseitige Unabhängigkeit von Raum und Zeit, die Stetigkeit aller dynamischen Wirkungen.

Selbstverständlich ist es nicht meine Absicht, hier alle die schwerwiegenden Gründe anzuführen, welche gegen die Unveränderlichkeit der chemischen Atome sprechen; ich will nur eine einzige Tatsache anführen, welche zu einem unausweichlichen Konflikt dieser früher stets als selbstverständlich betrachteten Annahme mit einem allgemeinen physikalischen Prinzip geführt hat. Die Tatsache ist die beständige Wärmeentwicklung einer jeden Radiumverbindung, das physikalische Prinzip ist das der Erhaltung der Energie, und der Konflikt endete schließlich, obwohl anfangs auch Stimmen laut wurden, welche das Energieprinzip anzweifeln wollten, mit einem vollen Siege dieses Prinzips.

Ein Radiumsalz, eingeschlossen in einen hinreichend dicken Bleimantel, entwickelt fortwährend Wärme, für das Gramm Radium berechnet pro Stunde gegen 135 Kalorien; es bleibt infolgedessen beständig wärmer als die Umgebung, ähnlich wie ein geheizter Ofen. Das Prinzip der Erhaltung der Energie besagt nun, daß die beobachtete Wärme unmöglich aus nichts entstehen kann, sondern irgendeine anderweitige als Äquivalent dienende Veränderung zur Ursache haben muß. Beim Ofen ist das der fortwährende Verbrennungsprozeß; bei der Radiumverbindung muß daher mangels jeglichen anderen chemischen Vorganges eine Veränderung des Radiumatoms selber angenommen werden, und diese vom Standpunkt der früheren chemischen Wissenschaft unerhört kühn erscheinende Hypothese hat sich nach allen Richtungen bewährt.

Streng formal genommen liegt allerdings in dem Begriff eines veränderlichen Atoms ein gewisser Widerspruch, da doch die Atome ursprünglich gerade als die unveränderlichen Bestandteile aller Materie definiert sind. Danach müßte man genau genommen die Bezeichnung „Atom“ reservieren

für wirklich unveränderliche Elemente, also vielleicht Elektronen und Wasserstoff. Aber abgesehen davon, daß es vielleicht niemals festzustellen sein wird, ob es in absolutem Sinne unveränderliche Elemente überhaupt gibt, würde eine solche Umbenennung in der Literatur eine heillose Verwirrung anrichten; sind doch die heutigen chemischen Atome längst nicht mehr die Atome Demokrits, sondern durch eine andere, weit schärfere Definition zahlenmäßig genau bestimmbar. Nur von ihnen ist die Rede, wenn man von einer Umwandlung der Atome spricht, und ein Mißverständnis in der angedeuteten Richtung erscheint gewiß ausgeschlossen.

Nicht minder selbstverständlich wie die Unveränderlichkeit der Atome galt bis vor kurzem die gegenseitige Unabhängigkeit der Raum- und Zeitgrößen. Die Frage, ob zwei an verschiedenen Orten stattfindende Ereignisse gleichzeitig sind oder nicht, hatte einen bestimmten physikalischen Sinn, ohne daß man erst nach dem Beobachter zu fragen brauchte, der die Zeitmessung vornimmt. Heute ist das anders geworden. Denn eine durch die feinsten optischen und elektrodynamischen Experimente bis jetzt immer wieder bestätigte Tatsache, welche kurz, wenn auch nicht vollkommen deutlich, als die Relativität aller Bewegungen bezeichnet wird, hat jene einfache Vorstellung in einen Konflikt gebracht mit dem durch die Maxwell-Lorenz'sche Elektrodynamik zur Geltung gelangten sogenannten Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, welches besagt, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes im leeren Raum unabhängig ist von der Bewegung der Lichtquelle. Nimmt man also die Relativität als experimentell bewiesen an, so muß entweder das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit oder die gegenseitige Unabhängigkeit von Raum und Zeit geopfert werden.

Betrachten wir auch hierfür ein einfaches Beispiel. Es werde mittelst drahtloser Telegraphie ein Zeitsignal gegeben, von einer Zentralstation aus, etwa vom Eiffelturm, wie das in dem gegenwärtig projektierten internationalen Zeitdienst vorgesehen ist. Dann empfangen alle Stationen rings im Umkreise, welche sich in der nämlichen Entfernung von der Zentralstation befinden, das Signal zu gleicher Zeit und können danach ihre Uhren richten. Aber diese Art der Zeitregulierung wird prinzipiell unzulässig, wenn man, fußend auf der Relativität aller Bewegungen, den Standpunkt der Betrachtung von der Erde auf die Sonne verlegt und somit die Erde als bewegt ansieht. Denn nach dem Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ist klar, daß diejenigen Stationen, welche, von der Zentralstation aus gesehen, in der Richtung der Erdbewegung liegen, das Signal später empfangen, als die, welche in der entgegengesetzten Richtung liegen, weil die ersteren Stationen den von ihnen aufzufangenden Lichtwellen vorausseilen und von ihnen erst eingeholt werden müssen, während die letzteren Stationen den Wellen entgegenkommen. So wird durch das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit eine absolute, d. h. vom Bewegungszustand des Beobachters unabhängige Zeitbestimmung überhaupt unmöglich gemacht; beides nebeneinander kann nicht bestehen. In dem bisherigen Verlauf des Kampfes hat das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit entschieden die Oberhand behalten, und es

ist trotz mancher in neuerer Zeit erhobener Bedenken sehr wahrscheinlich, daß darin keine Änderung mehr eintreten wird. —

Der dritte der oben angeführten Sätze betrifft die Stetigkeit aller dynamischen Wirkungen, früher eine unbestrittene Voraussetzung aller physikalischen Theorien, die sich, in freier Anlehnung an Aristoteles, zu dem bekannten Dogma verdichtete: *natura non facit saltus*. Aber auch in diese von altersher stets respektierte Feste der physikalischen Wissenschaft hat die heutige Forschung eine bedenkliche Bresche geschlagen. Diesmal sind es die Prinzipien der Thermodynamik, mit denen auf Grund neuerer Erfahrungstatsachen jener Satz in Kollision geraten ist, und wenn nicht alle Zeichen trügen, so sind die Tage seiner Gültigkeit gezählt. Die Natur scheint in der Tat Sprünge zu machen, und zwar solche von recht sonderbarer Art. Zur näheren Erläuterung sei es mir gestattet, einen anschaulichen Vergleich heranzuziehen.

Stellen wir uns ein Gewässer vor, in welchem starke Winde einen hohen Wellengang erzeugt haben. Auch nach völligem Aufhören der Winde werden die Wellen noch eine geraume Zeit lang sich erhalten und von einem Ufer zum andern wandern. Aber dabei wird sich eine gewisse charakteristische Veränderung vollziehen. Die Bewegungsenergie der längeren, gröberen Wellen wird sich, besonders beim Aufschlagen ans Ufer oder an andere feste Gegenstände, in immer steigendem Maße in Bewegungsenergie von kürzeren und feineren Wellen verwandeln, und dieser Prozeß wird so lange andauern, bis schließlich die Wellen so klein, die Bewegungen so fein geworden sind, daß sie sich dem äußeren Anblick vollständig entziehen. Das ist der allbekannte Übergang der sichtbaren Bewegung in Wärme, der molaren Bewegung in molekulare, der geordneten Bewegung in ungeordnete; denn bei der geordneten Bewegung haben viele benachbarte Moleküle eine gemeinschaftliche Geschwindigkeit, während bei der ungeordneten Bewegung ein jedes Molekül seine besondere und besonders gerichtete Geschwindigkeit besitzt.

Der hier geschilderte Zersplitterungsprozeß geht aber nicht ins Unendliche weiter, sondern er findet seine natürliche Grenze in der Größe der Atome. Denn die Bewegung eines einzelnen Atoms, allein für sich betrachtet, ist stets eine geordnete, da doch die einzelnen Teile eines Atoms sich alle mit der nämlichen gemeinschaftlichen Geschwindigkeit bewegen. Je größer die Atome, desto weniger weit kann sich die gesamte Bewegungsenergie zersplittern. So weit ist alles vollkommen klar, und die klassische Theorie in bester Übereinstimmung mit der Erfahrung.

Nun denken wir uns einen anderen, ganz analogen Vorgang sich vollziehen, aber nicht mit den Wellen des Wassers, sondern mit solchen der Licht- und Wärmestrahlung, indem wir annehmen, daß die von einem stark glühenden Körper emittierten Strahlen durch passende Spiegelung in einen gut abgeschlossenen Hohlraum eingesammelt worden sind und dort zwischen den reflektierenden Wänden des Raumes beständig hin und her geworfen werden. Auch hier wird sich eine allmähliche Umwandlung der Strahlungsenergie von längeren Wellen zu kürzeren, von geordneter Strahlung in ungeordnete voll-

ziehen; den längeren, gröberen Wellen entsprechen die ultraroten Strahlen, den kürzeren, feineren die ultravioletten Strahlen des Spektrums. Man muß also nach der klassischen Theorie erwarten, daß die ganze Strahlungsenergie sich schließlich auf den ultravioletten Teil des Spektrums zurückziehen wird, oder mit anderen Worten, daß die ultraroten und auch die sichtbaren Strahlen allmählich ganz verschwinden und sich in unsichtbare, vorwiegend nur chemisch wirksame ultraviolette Strahlen verwandeln.

Von einem solchen Phänomen ist nun aber in der Natur keine Spur zu entdecken. Die Umwandlung erreicht vielmehr früher oder später ihr ganz bestimmtes, genau nachweisbares Ende, und dann bleibt der Strahlungszustand in jeder Hinsicht stabil.

Um diese Tatsache mit der klassischen Theorie zu vereinigen, sind schon die verschiedensten Versuche gemacht worden, aber es hat sich bisher stets gezeigt, daß der Widerspruch viel zu tief an die Wurzeln der Theorie greift, um dieselben unberührt zu lassen. So bleibt nichts übrig, als abermals die Grundlagen der Theorie zu revidieren. Und abermals ist zu konstatieren, daß sich die Prinzipien der Thermodynamik als unerschütterlich erwiesen haben. Denn der einzige bisher gefundene Weg, der eine vollständige Lösung des Rätsels zu versprechen scheint, nimmt seinen Ausgangspunkt gerade von den beiden Hauptsätzen der Thermodynamik; er kombiniert dieselben aber mit einer neuen, eigentümlichen Hypothese, deren Inhalt an der Hand der beiden angeführten Sätze sich etwa folgendermaßen aussprechen läßt.

Bei den Wasserwellen findet die Zersplitterung der Bewegungsenergie dadurch ihr Ende, daß die Atome die Energie in gewisser Weise zusammenhalten, indem jedes Atom ein bestimmtes endliches Quantum Materie darstellt, das sich nur als Ganzes bewegen kann. In analoger Weise werden auch bei der Licht- und Wärmestrahlung, obwohl sie an sich gänzlich immaterieller Natur ist, dennoch gewisse Vorgänge wirksam sein müssen, welche die Strahlungsenergie in bestimmten endlichen Quanten zusammenhalten, und um so stärker zusammenhalten, je kürzer die Wellen sind, je schneller also die Schwingungen erfolgen.

Wie man sich das Zustandekommen derartiger Quanten von rein dynamischer Art im einzelnen vorzustellen hat, darüber läßt sich zurzeit noch nichts mit Sicherheit sagen. Vielleicht könnte man sich die Quanten auf die Weise zustande kommend denken, daß eine jede Strahlungsquelle nur dann Energie verausgaben kann, wenn die Energie mindestens einen gewissen Betrag erreicht hat, ähnlich etwa, wie ein Rautschuckschlauch, in welchen Luft allmählich eingepreßt wird, erst dann zum Plazen kommt und seinen Inhalt plötzlich von sich gibt, wenn die Luftmenge in ihm ein bestimmtes Quantum erreicht.

Auf alle Fälle hat die Quantenhypothese zu der Vorstellung geführt, daß es Veränderungen in der Natur gibt, die nicht stetig, sondern explosionsartig verlaufen. Ich brauche kaum daran zu erinnern, daß diese Vorstellung durch die Entdeckung und nähere Erforschung der radioaktiven Erscheinungen bedeutend an Anschaulichkeit gewonnen hat. Im übrigen treten alle mit den näheren Erklärungsversuchen verbundenen Schwierigkeiten einstweilen noch zu-

rück hinter dem Umstand, daß die Quantenhypothese bisher Resultate gezeitigt hat, welche mit den bisherigen Strahlungsmessungen in besserer Übereinstimmung sind als die aller früheren Theorien.

Über noch mehr. Wenn es ein günstiges Zeichen für eine neue Hypothese ist, daß sie sich auch auf solchen Gebieten bewährt, für die sie ursprünglich nicht gemacht wurde, so darf die Quantenhypothese sicherlich ein vorteilhaftes Zeugnis für sich in Anspruch nehmen. Ich will hier nur auf einen ganz besonders frappanten Punkt hinweisen. Seitdem die Verflüssigung von Luft, Wasserstoff und Helium gelungen ist, steht der Experimentalforschung in dem Gebiet tiefer Temperaturen ein neues, reiches Arbeitsfeld offen, und hier haben sich schon jetzt eine Reihe neuer, zum Teil höchst überraschender Resultate ergeben.

Um ein Stück Kupfer von  $-250^{\circ}$  auf  $-249^{\circ}$ , also um einen Temperaturgrad, zu erwärmen, bedarf es nicht etwa der nämlichen Wärmemenge wie zur Erwärmung des Kupfers von  $0^{\circ}$  auf  $1^{\circ}$ , sondern einer ungefähr dreißigmal kleineren; würde man mit der Anfangstemperatur des Kupfers noch tiefer herabgehen, so fände man die entsprechende Wärmemenge noch viele Male kleiner, ohne jede angebbare Grenze. Diese Tatsache läuft nicht nur allen gewohnheitsmäßigen Vorstellungen, sondern auch den Forderungen der klassischen Theorie schnurstraks zuwider. Denn wenn man auch schon seit mehr als hundert Jahren zwischen Temperatur und Wärmemenge genau zu unterscheiden gelernt hatte, so war man doch durch die kinetische Theorie der Materie zu der Folgerung geführt worden, daß beide Größen, wenn nicht genau proportional, so doch wenigstens einigermaßen parallel zueinander verlaufen.

Die Quantenhypothese hat diese Schwierigkeit vollkommen gelöst, und überdies hat sich bei dieser Gelegenheit noch ein anderes Resultat von hoher Wichtigkeit ergeben, nämlich, daß die Kräfte, welche die Wärmeschwingungen in einem festen Körper hervorrufen, von ganz derselben Art sind, wie die, welche die elastischen Schwingungen bewirken. Man kann also jetzt mit Hilfe der Quantenhypothese aus den elastischen Eigenschaften eines einatomigen Körpers seine Wärmeenergie für verschiedene Temperaturen quantitativ berechnen, — eine Leistung, von der die klassische Theorie noch weit entfernt war.

Daraus entspringen dann eine Anzahl weiterer, auf den ersten Blick recht seltsam anmutender Fragen, wie z. B. die, ob auch die Schwingungen einer tönenden Stimmgabel nicht absolut stetig, sondern quantenhaft erfolgen. Freilich sind bei akustischen Schwingungen wegen ihrer relativ geringen Frequenz die Energiequanten ungeheuer klein: beim eingestrichenen  $a$  z. B. betragen sie nur etwa drei Quatrilliontel Arbeitseinheiten im absoluten mechanischen Maße. Die gewöhnliche Elastizitätstheorie würde daher deswegen ebenso wenig einer Abänderung bedürfen, wie wegen des ganz analogen Umstandes, daß sie die Materie als vollkommen stetig behandelt, während dieselbe doch, genau genommen, atomistisch, also quantenhaft, konstituiert ist. Aber vom prinzipiellen Standpunkt aus muß das Umwälzende der neuen Auffassung einem jeden einleuchten, und wenn auch die Natur der dynamischen Quanten

einstweilen noch ziemlich rätselhaft bleibt, so wird es doch durch die heute vorliegenden Tatsachen schwer gemacht, an ihrer Existenz, sei es in welcher Form immer, zu zweifeln. Denn was man messen kann, das existiert auch.

So beginnt im Lichte der neueren Forschung das physikalische Weltbild einen stets innigeren Zusammenhang seiner einzelnen Züge und zugleich eine gewisse eigentümliche Struktur derselben zu offenbaren, deren Feinheit früher dem weniger geschärften Blick noch verwischt erschien und darum verborgen bleiben mußte. Aber, so mag man immer wieder aufs neue fragen: was bedeutet dieser Fortschritt im Grunde für die Befriedigung unseres Wissensdranges? Rücken wir durch die Verfeinerung unseres Weltbildes der Erkenntnis der Natur selber auch nur einen Schritt näher? Dieser prinzipiellen Frage lassen Sie uns noch eine kurze Betrachtung widmen. Nicht als ob auf diesem unendlich vielfach durchdachten Gebiet hier etwas wesentlich Neues zu sagen wäre, sondern weil sich in diesem Punkte noch heute die Ansichten zum Teil schroff gegenüberstehen, und weil jeder, der ein tieferes Interesse an den eigentlichen Zielen der Wissenschaft nimmt, notwendig dazu Stellung nehmen muß.

Vor fünfundsüdreichzig Jahren hat Hermann von Helmholtz an dieser selben Stelle ausgeführt, daß unsere Wahrnehmungen uns niemals ein Abbild, sondern höchstens ein Zeichen der Außenwelt zu liefern vermögen. Denn um irgend eine Art von Ähnlichkeit zwischen der Eigentümlichkeit der äußeren Einwirkung und der Eigentümlichkeit der durch sie erregten Empfindung aufzuzeigen, fehlt es an jeglichem Anhaltspunkt; alle Vorstellungen, die wir uns etwa von der Außenwelt machen, spiegeln eben im letzten Grunde doch nur unsere eigenen Empfindungen wider. Hat es da überhaupt noch einen vernünftigen Sinn, unserem Selbstbewußtsein eine von demselben unabhängige „Natur an sich“ gegenüberzustellen? Sind nicht vielmehr alle sogenannten Naturgesetze im Grunde nur mehr oder minder zweckmäßige Regeln, mit denen wir den zeitlichen Ablauf unserer Empfindungen möglichst genau und bequem zusammenfassen? — Wenn dem so wäre, so hätte sich nicht nur der gemeine Menschenverstand, sondern auch die exakte Naturforschung von jeher in einem grundsätzlichen Irrtum befunden; denn es ist unmöglich zu leugnen, daß die ganze bisherige Entwicklung der physikalischen Erkenntnis tatsächlich gerade auf eine möglichst weitgehende, grundsätzliche Trennung der Vorgänge in der äußeren Natur von den Vorgängen in der menschlichen Empfindungswelt hinarbeitet.

Der Ausweg aus dieser verfänglichen Schwierigkeit ergibt sich sehr bald, wenn man den eingeschlagenen Gedankengang nur noch einen Schritt weiter verfolgt. Setzen wir einmal den Fall voraus, es sei ein physikalisches Weltbild gefunden worden, das allen zu machenden Ansprüchen genügt, das also alle empirisch gefundenen Naturgesetze vollkommen genau darzustellen vermag. Dann wird die Behauptung, daß jenes Bild der „wirklichen“ Natur auch nur einigermaßen ähnlich sei, auf keinerlei Weise bewiesen werden können.

Aber dieser Satz hat auch eine Rehrseite, die gemeiniglich viel zu wenig betont wird: Genau ebenso wird die noch weit kühnere Behauptung, daß das vorausgesetzte Weltbild die wirkliche Natur in allen Punkten ohne Ausnahme absolut getreu wiedergibt, auf keinerlei Weise zu widerlegen sein. Denn um einen solchen Widerlegungsbeweis auch nur anzutreten, müßte man von der wirklichen Natur irgendetwas mit Sicherheit aussagen können, was doch anerkanntermaßen gänzlich ausgeschlossen ist.

Man sieht: hier klappt ein ungeheures Vacuum, in welches keine Wissenschaft je einzudringen vermag, und die Ausfüllung dieses Vacuums ist Sache nicht der reinen, sondern der praktischen Vernunft, ist Sache einer gesunden Weltanschauung.

So wenig sich eine Weltanschauung wissenschaftlich beweisen läßt, so sicher kann man darauf bauen, daß sie jeglichem Ansturm gegenüber unerschütterlich standhalten wird, sofern sie nur mit sich selber und mit den Tatsachen der Erfahrung in Übereinstimmung bleibt. Aber man wähne nicht, daß es möglich sei, selbst in der exaktesten aller Naturwissenschaften, ganz ohne Weltanschauung, das will sagen ganz ohne unbeweisbare Hypothesen, vorwärtszukommen. Auch für die Physik gilt der Satz, daß man nicht selig wird ohne den Glauben, zum mindesten den Glauben an eine gewisse Realität außer uns. Dieser zuversichtliche Glaube ist es, der dem vorwärtsdrängenden Schaffenstrieb die Richtung weist; er allein gewährt der herumtastenden Phantasie die nötigen Anhaltspunkte; nur er vermag es, den durch Mißerfolge ermüdeten Geist immer wieder aufzurichten und zu erneutem Vorstoß anzufeuern. Ein Forscher, der sich bei seinen Arbeiten nicht von irgendeiner Hypothese leiten läßt, sei sie auch so vorsichtig und so provisorisch gefaßt als nur möglich, verzichtet von vornherein auf ein tieferes Verständnis seiner eigenen Resultate. Wer den Glauben an die Realität der Atome und der Elektronen, oder an die elektromagnetische Natur der Lichtwellen, oder an die Identität von Körperwärme und Bewegung verwirft, der wird deswegen ganz gewiß niemals eines logischen oder empirischen Widerspruchs überführt werden können. Aber er mag zusehen, wie er es von seinem Standpunkt aus fertig bringt, die physikalische Erkenntnis zu fördern.

Freilich: der Glaube allein tut's nicht, er kann, wie die Geschichte einer jeden Wissenschaft lehrt, leicht auch einmal in die Irre führen und in Beschränktheit und Fanatismus ausarten. Um ein zuverlässiger Führer zu bleiben, muß er beständig an der Hand der Denkgesetze und der Erfahrung nachgeprüft werden, und dazu verhilft in letzter Linie nur gewissenhafte, oft mühsame und entsagungsvolle Einzelarbeit. Rein König der Wissenschaft, der nicht, wenn es darauf ankommt, auch einmal Kärnerdienste zu leisten fähig und willens ist, sei es im Laboratorium oder im Archiv, in der freien Natur oder am Schreibtisch. Gerade in solchem harten Ringen reift und läutert sich die Weltanschauung. Nur wer diesen Prozeß an seinem eigenen Leibe durchgekostet hat, wird dessen Sinn und Bedeutung voll zu würdigen wissen.

Damit wende ich mich nun zum Schlusse noch besonders an Sie, liebe

Rommilitonen, die Sie im Begriffe stehen, die Schwelle eines neuen Studiensemesters zu überschreiten. Die Pforten unserer Universität sind geöffnet, binnen kurzem werden sich die Hörsäle füllen, und wiederum wird manches Saatkorn neu ausgestreut werden, manches schon aufgegangene der Frucht weiter entgegenreifen, genährt und gefördert durch die Ihnen von Ihren Lehrern übermittelten Schätze jahrhundertlanger, unermesslich vielseitiger geistiger Arbeit.

Über glauben Sie nicht, daß alles Ihnen auf dem Ratheder Dargebotene der Weisheit letzten Schluß bedeutet. So lange es einen Fortschritt in der Wissenschaft gibt, so lange ist dieselbe zeitlichem Irrtum unterworfen. Wer es einmal so weit gebracht hat, daß er nicht mehr irrt, der hat auch zu arbeiten aufgehört.

Darum: wenn Ihnen bei Ihren Studien Bedenken und Zweifel begegnen, betrachten Sie dieselben nicht von vornherein als etwas Unerfreuliches oder gar Unerlaubtes, das abgeschüttelt oder unterdrückt werden muß, sondern gehen Sie ihnen sorgfältig auf den Grund, wenden Sie sich vertrauensvoll an Ihre Lehrer, die Ihnen als Führer vorangehen, glauben Sie an deren reifere Erfahrung und halten Sie fest an der Hoffnung, auch für dunkle und schwierige Fragen durch gewissenhaft fortgesetztes Bemühen ein allmählich wachsendes Verständnis und gerade dadurch erst die gründlichste wissenschaftliche Förderung zu gewinnen.

Sollte aber Ihr ehrliches, durch mehrfache Proben bewährtes Streben Ihnen mit Entschiedenheit besondere, von den bisherigen abweichende Wege weisen, dann — folgen Sie Ihrer eigenen Überzeugung mehr als jeder anderen. Denn diese ist und bleibt Ihr höchstes, köstlichstes Gut, so gewiß als die Heranbildung zur wissenschaftlichen Selbständigkeit das schönste Ziel des akademischen Unterrichts bildet, und so gewiß eine in redlicher Arbeit erworbene eigene wissenschaftliche Überzeugung einen festen Ankergrund abgibt, um auch der sittlichen Weltanschauung allen den möglichen Wechselfällen des Lebens gegenüber den nötigen Halt zu gewähren.

Die edelste unter den sittlichen Blüten der Wissenschaft und zugleich die ihr eigentümlichste ist ohne Zweifel die Wahrhaftigkeit: jene Wahrhaftigkeit, die durch das Bewußtsein der persönlichen Verantwortung hindurch zur inneren Freiheit führt, und deren Wertschätzung in unserem gegenwärtigen öffentlichen wie privaten Leben noch viel höher bemessen werden sollte. In dem Maße, wie unser junges Geschlecht sich an dem Kampfe beteiligt, um ihr zu immer allgemeinerer Anerkennung zu verhelfen, darf es sich eines Sinnes fühlen mit den Helden, die vor hundert Jahren die Wahrhaftigkeit ihrer Liebe zum Vaterland mit ihrem Herzblut besiegelten. In solchem Gedenken und mit solcher Gesinnung lassen Sie uns eintreten in die Arbeit des neuen Semesters.