

III. Original-Abhandlungen und Mitteilungen.

Weltall-Mechanik.

Rede bei der akademischen Feier

des Geburtstages Seiner Majestät des Königs i. J. 1917

in der Aula der Technischen Hochschule in Stuttgart
gehalten von Prof. Kriemler.

Die Mechanik, welche werktags an einer Technischen Hochschule getrieben wird, ist die Mechanik der vom Menschen beherrschten Naturkräfte. An einem feierlichen Tage aber, wie dem heutigen, sei es uns gestattet, vom Reißbrett aufzublicken und nach den fessellosen Naturkräften zu spähen, wenn uns auch ihre Erkenntnis noch immer verwehrt bleibt.

Die Zeit hat nie einen Anfang gehabt und wird nie ein Ende haben.

Daß der Weltraum nach allen Seiten unbegrenzt ist, ist ein schier Unerfaßliches, das wir in diesem Zusammenhang uns aneignen müssen. Die Astronomen glauben leuchtende Weltkörper festgestellt zu haben, von denen die Lichtstrahlen, welche die Erde heute treffen, vor 50 Millionen Jahren abgegangen sein müssen; dabei legt das Licht in der Sekunde 300 000 Kilometer zurück.

Die uns benachbarten Weltkörper bilden die Milchstraße; das Licht von den äußersten Sternen der Milchstraße legt den Weg zu uns in 10 000 Jahren zurück.

Zwischen jenen fernen Weltkörpern und uns ist der Weltraum sicher mit der Eigenschaft behaftet, die Lichtschwingungen fortzupflanzen, und wir dürfen vermuten, daß der Raum jenseits dieser fernsten uns sichtbaren Weltkörper die gleiche Eigenschaft hat.

Der Blick, der seitlich an einem leuchtenden Weltkörper vorbeistreift, empfängt kein Licht, entweder weil auf dieser Sehlinie kein leuchtender Weltkörper sich befindet, oder wenn ein solcher dort vorhanden ist, so ist er so weit entfernt, daß die Lichtschwingung nicht mehr von uns und unserer Lichtbildplatte wahrgenommen werden kann. Vielleicht blendet auch ein dunkler Weltkörper, dessen Licht erloschen ist, die

von einem weiter hinten liegenden leuchtenden Weltkörper ausgehenden Lichtstrahlen ab.

Ob wir an den dunklen Stellen zwischen den leuchtenden Sternen in das Unendliche blicken, können wir also nicht entscheiden. Es ist schon behauptet worden: wenn keine dunklen Weltkörper dazwischen lägen, oder auch die Lichtschwingung im Laufe ihrer Ausbreitung nicht allmählich zur Unmerklichkeit sich abschwächen würde, dann müßte der ganze Himmel etwa im Glanze des Mondes leuchten, weil auf jeder Sehlinie, wenn auch in sehr verschiedenen Entfernungen, ein leuchtender Stern angetroffen würde. Wie dem auch sei, die sogenannten Weltkörper, ebenso die Meteore und der kosmische Staub sind im Weltraum äußerst dünn gesät.

Was sind nun die Weltkörper, was sind die Meteore?

Von den letzteren wissen wir, daß sie greifbarer Stoff sind wie alle unsere irdischen Gegenstände und Lebewesen. Die früheren Chemiker und Physiker haben alle fest an das Gesetz von der Erhaltung des greifbaren Stoffes geglaubt. In der Welt sollte es eine gewisse unveränderliche Menge greifbaren Stoffes geben, die von dem festen in den flüssigen von diesem in den gasförmigen Zustand und umgekehrt übergeführt werden könne, die unzählige Mischungen und Verbindungen eingehen könne, — die Gesamtmenge in der Welt galt als ewig unveränderlich.

Das andere zugeordnete Grundgesetz war das von der Erhaltung der Energie. Das Maß des Geschehens sollte in aller Ewigkeit unveränderlich sein; ein Teil dieses Maßes sollte vorübergehend untätig auf gespeichert sein können, die Summe der tätigen und der aufgespeicherten Energie sollte unveränderlich sein. Aber diese Energie sollte, trotzdem ihr Maß unverändert blieb, im Lauf der Zeit dadurch „entwertet“ werden, daß bei jedem Geschehen ein kleiner Betrag der umgesetzten Energie zu Wärme wird, und wenn alle Wärme auf die gleiche Temperatur gebracht wäre, so wäre in den dieser Wärme entsprechenden molekularen Schwingungen zwar die Energie des Weltalls noch voll erhalten, aber sie wäre „trieblos“ geworden, weil die Wärme ihre Umgebung, wenn sie mit ihr auf gleicher Temperatur ist, nicht beeinflussen kann. Alle Geschehen wäre auf die molekularen Wärmeschwingungen beschränkt, das Weltall läge im „Wärmetode“. Auf daß diese entwertete Energie wieder tätig werden könne, würde es einer übernatürlichen Schöpfungshandlung bedürfen.

Die Verallgemeinerung dieses Wärmetodes für das ganze Weltall wurde 1874 in den Verhandlungen der Physikalisch-medizinischen Gesellschaft zu Würzburg von ADOLF FICK beanstandet, der zwar im Amt

Professor der Physiologie war, der aber als Philosoph und Physiker Hervorragendes geleistet hat.

Fick stellt es als möglich dar, daß an dem äußeren Umfang eines Weltkörpers die Beschleunigung der Wärmeschwingung einzelne Aggregate der schwingenden Moleküle aus dem Zusammenhang mit dem Rest des Weltkörpers losreißen und als freie Massen fortschleudern könnte.

Wenn wirklich unter besonders günstigen Bedingungen plötzlich die bisher unsichtbaren Wärmeschwingungen zu Ortsänderungen der Moleküle werden können, so ist damit die selbsttätige Zurückführung von Wärmeenergie in die lebendige Kraft bewegter Massen möglich, der Wärmetod ist ausgeschlossen. Ein solches selbsttätiges Abschleudern kleiner Teile — allerdings nicht der Moleküle und nicht infolge der Wärmeschwingungen — ist uns heute im Zeitalter der Entdeckung der Radioaktivität etwas durchaus Naheliegendes.

Vom Weltraum ist bisher außer seiner Ausdehnung nur die Eigenschaft genannt worden, Lichtschwingungen fortzupflanzen.

1888, zur Zeit, als ich in Karlsruhe Student war, hat der damalige dortige Professor der Experimentalphysik HEINRICH HERTZ durch entsprechende Einrichtungen experimentell nachgewiesen, daß die elektromagnetischen Zustände genau so wie das Licht ohne Leitung durch Schwingungen im Raume sich fortpflanzen.

Der Vortrag, zu dem HERTZ uns Studenten damals einlud, um uns seine Versuche zu beschreiben, gehört zu meinen wertvollsten Erinnerungen.

Von dem Teil des Weltraumes, in welchem das Sonnensystem sich befindet, wissen wir noch, daß in ihm von einer Einheit des Sonnensystemes zur anderen, von jeder Masse zur anderen und auch auf etwa vom Weltall eingewanderte Kometen, Meteore und kosmischen Staub die Massenanziehung wirkt, welche den Massen proportional, aber dem Quadrate ihres gegenseitigen Abstandes umgekehrt proportional ist. Dies ist das NEWTON'sche Gesetz, seine Ausdehnung auf den Raum außerhalb des Sonnensystemes ist nicht nachgewiesen.

In den Berichten der Münchener Akademie vom Jahr 1909 findet sich ein Vorschlag von SEELIGER, das NEWTON'sche Gesetz vor seiner Verwendung im ganzen Weltraum mit einem Abminderungskoeffizienten zu versehen, der mit größer werdendem gegenseitigen Abstand der Massen abnimmt.

Wenn das NEWTON'sche Gesetz unbeschränkt auch ins Unendliche wirken würde, so würde beim Wärmetod aller greifbare Stoff zu einer einzigen großen Kugel gesammelt.

Wir haben also den Weltraum als Ort, in ihm unregelmäßig verteilt den greifbaren Stoff und als Maß des Geschehens in ihm die Energie, — aber dieser Weltraum hat nicht nur diese geometrische Bedeutung, sondern er hat auch physikalische Eigenschaften, er pflanzt die elektromagnetischen Schwingungen einschließlich derjenigen des Lichtes und der strahlenden Wärme fort und vermittelt die Fernkräfte der Massenanziehungen. Auch reagiert der Weltraum gegen die Größen- und Richtungsänderung der Geschwindigkeiten des in ihm bewegten greifbaren Stoffes mit den sogenannten Trägheitswirkungen.

Der Weltraum ist also offenbar mit etwas gefüllt, das Schwingungen ausführen kann. Greifbarer Stoff füllt den Weltraum nicht, also wurde man dazu geführt, außer dem greifbaren Stoff einen ungreifbaren allgegenwärtigen formlosen Stoff, den „Weltäther“, anzunehmen.

Wie man in ein Gefäß, das gestrichen voll mit Sand gefüllt ist, noch viel Wasser nachgießen kann, weil dieses in den Hohlräumen zwischen den Sandkörnern noch bequem Platz findet, so ist jeder greifbare Stoff in den Hohlräumen zwischen und in den Atomen mit dem Weltäther durchsetzt. Und wenn der greifbare Stoff bewegt ist, so bläst der Weltäther durch diesen greifbaren Stoff hindurch, weil der Weltäther normalerweise im Raum stillesteht.

Mehr ist über den Weltäther nicht bekannt.

Ich habe das Gesetz von der Erhaltung des greifbaren Stoffes erwähnt. Dieser greifbare Stoff, sei er fest, flüssig oder gasförmig, sollte in körniger Beschaffenheit sich aus letzten Urteilchen zusammensetzen, den „Atomen“, deren es im ganzen etwa 80 verschiedene Sorten gab, und von welchen jedes einzelne unzerstörbar war.

Die Zusammensetzung der Atome einer gleichen Sorte ergab die Moleküle der „Elemente“, die Zusammensetzung von Atomen verschiedener Sorten ergab die Moleküle der chemischen Verbindungen.

Erst die Entdeckung der Radioaktivität zeigte, daß die Atome nur chemisch, aber nicht physikalisch die letzten Teilchen waren, denn rein physikalisch, eben durch ihre Radioaktivität, können gewisse Elemente ihre chemischen Eigenschaften ändern, also andere Elemente werden.

Die durch die Radioaktivität ausgesandten Strahlen vermögen den greifbaren Stoff, auf den sie treffen, in Wärmeschwingungen zu versetzen, also ist die Radioaktivität eine Energiequelle, und zwar beim Element Radium selbst eine so ergiebige, daß die gesammelte Strahlung in einer Stunde eine Wassermenge, deren Gewicht gleich dem des strahlenden Radiums ist, von 0 auf 100° erwärmen, also zum Sieden bringen würde.

Diese Wärme erzeugt das Radium Stunde um Stunde, und wenn ein ganzes Jahr abgelaufen ist, hat sich erst der $\frac{1}{2500}$ -ste Teil des Radiums in andere Elemente verwandelt. Wenig wie das ist, so wäre doch nach 1300 Jahren von einem ursprünglichen Maß Radiums nur noch etwa die Hälfte vorhanden, — aber so wie Radium während der Energieabgabe sich in andere Elemente umformt, entsteht Radium selbst aus der selbsttätigen Umformung von Uranium, und da im Jahre sich etwa der $\frac{1}{7,5 \text{ milliard}}$ -ste Teil des Uraniums umformt, dafür aber auf unserer Erde etwa 3 Millionen mal mehr Uranium vorhanden zu sein scheint als Radium, so bleibt die vorhandene Menge Radiums immer gleich groß, nur die des Uraniums nimmt in dem angegebenen verschwindenden Maße ab, falls nicht das Uranium seinerseits aus der Umformung eines anderen Stoffes ersetzt wird.

Wenn man früher z. B. für die Erdkruste die Energiebilanz aufstellte, so war der Ausgabeposten die Wärmeausstrahlung in den Raum; der Einnahmeposten waren es zwei: die Wärmestrahlung von der Sonne her und die Wärmeleitung aus dem glühenden Erdinneren. Heute weiß man, daß die radioaktiven Stoffe ohne Benützung ihrer eigenen Wärmeschwingungen ihrer Umgebung Wärmeenergie mitteilen, — der Zerfall der radioaktiven Stoffe ist also für die Erdkruste ein dritter Einnahmeposten. Dieser dritte Einnahmeposten wird zwar das Erkalten der Erde um Millionen von Millionen Jahren weiter hinausschieben, aber schließlich doch nicht verhindern können. Bei der Sonne, von der wir ja ehemals ein Stück waren, ist die Bilanz ähnlich, nur mit viel größeren Maßen, und auch sie wird einst erkalten.

Um diese Tatsache kommen wir nicht herum: unser Sonnensystem und alle ihm ähnlichen Sonnensysteme sind „Abbausysteme“, auf ihnen entledigt sich der Stoff der mit ihm verbunden gewesenen Energien.

Wenn es nur Sonnensysteme gäbe, so würde der Wärmetod zur Wirklichkeit werden.

Es gibt aber im Weltraum außer den Sonnensystemen noch die „Weltnebel“. Die Nebel sind „Aufbausysteme“. Der in ihnen vorhandene Stoff ist für Energie aufnahmefähig.

Die Raumausmaße jedes Weltnebels sind ganz ungeheuer, Hunderttausende von Erden könnten bequem in ihnen um ihre hunderttausend Sonnen kreisen. Keine von einem Sonnensystem ausgestrahlte Energie entgeht dem Zusammentreffen mit einem Weltnebel, dessen Stoff so Gelegenheit bekommt, mit Energie sich zu laden. Ist die Sättigung mit Energie eingetreten, dann ist aus dem Weltnebel ein Sonnensystem geworden, dafür ist inzwischen manches erkaltete Sonnensystem zum

Bestandteil eines Nebels geworden. Kein Forscher hat das aus eigener Anschauung erlebt, aber mittels der Spektralanalyse steht fest, daß in den sichtbaren Weltkörpern viele der uns bekannten Elemente vorkommen. — jedoch in dreierlei Modifikationen: 1. genau so wie bei uns, 2. als sogenannte Protoelemente, bei welchen man mit Sicherheit annehmen kann, daß nur ein weiterer Aufbau die bei uns vorhandene Modifikation ergeben kann, 3. in einem solchen Zustand, daß nur ein fortschreitender Abbau den bei uns vorhandenen Zustand herstellen kann.

Die Erde ist im Abbau weiter vorgeschritten als die Sonne, auf der Sonne besteht z. B. das Wasserstoffgas aus einzelnen Atomen, während es auf der Erde aus zweiatomigen Molekülen besteht.

Das Eisen auf der Sonne zeigt im Spektrum dauernd nur die Linien, welche es auf der Erde bei der Verdampfung durch die höchstgespannten elektrischen Ströme im Vakuum zeigt, dabei hat aber von der Sonne her jede dieser Eisenlinien im Spektrum ihre eigene von der der anderen unabhängige Ablenkung, also ist das, was auf der Erde einerlei Eisen ist, auf der Sonne noch mehrerlei Teileisen in getrenntem, unabhängig beweglichem Zustand.

Das Vorhandensein unserer gewöhnlichen chemischen Verbindungen ist ein Zeichen des Abbaues, denn es wurde bei ihrer Entstehung Energie freigegeben. In der Sonne sind chemische Verbindungen nur im tiefsten Teil der Sonnenflecktrichter, also tief im Inneren der Sonne, zu entdecken, wo der Druck ungeheuer ist. Die Sonne dürfte in ihrem Inneren also im Abbau weiter vorgeschritten sein als an ihrer Oberfläche, wo explosionsartig in den Protuberanzen durch Energieaufnahme aus dem Inneren sich der allgemeine reine Atomzustand immer wieder herzustellen sucht.

Nach der Entstehung der chemischen Verbindungen scheint die zeitlich nächste Stufe des Abbaues die physikalische Desintegration durch die Radioaktivität zu sein. Diese zerlegt — in kurzen Worten zusammengefaßt — die betreffenden Stoffe in die negativen Elektrizitätsquanten, die sogenannten „Elektronen“, und in positiv-elektrisch wirkende Heliumatome, abgesehen vom Rückstand, der in vielen Zwischenstufen immer wieder radioaktiv ist und immer geringeres Atomgewicht bekommt.

Wenn ein elektrischer Strom durch eine luftleere Entladungsröhre hindurchgepreßt wird, so sind die sogenannten Kathodenstrahlen ein Strom von negativen Elektrizitätsquanten. Wenn diese luftleere Entladungsröhre längere Zeit benützt worden ist, so kann man in ihr die Gase Wasserstoff und Helium nachweisen, einerlei, aus welchen Stoffen im besonderen Fall die Elektroden bestehen.

Die Erklärung des Auftretens dieses Wasserstoffes und dieses Heliums kann weittragende Bedeutung haben: Sind sie das Erzeugnis eines Abbaues, oder sind sie das Erzeugnis eines im Vakuum beginnenden Aufbaues?

Wenn in der Entladungsröhre ein Aufbau stattgefunden hat, so waren die Bausteine die Elektronen und der Äther, ihr Zusammenwirken ergäbe die greifbaren Stoffe Wasserstoff und Helium.

Die primitivsten Weltkörper sind diejenigen Nebelflecke, welche aus leuchtenden Gasmassen in weitestgehender Verdünnung bestehen, — im nächsten Stadium erst bilden sich Kondensationskerne mit wachsender zentripetaler Anziehung und Kontraktion, welche der Anfang der Sternbildung sind.

Das Leuchten der Gasnebel vor Eintritt der Kondensation ist eine magnetoelektrische Erscheinung und nicht die Folge hoher Temperatur.

Das Spektroskop lehrt, daß die leuchtenden Gasnebel aus einem in den Sonnensystemen unbekanntem Element Nebulium, aus Wasserstoff und aus Helium bestehen.

Die einen sagen nun, das Spektroskop könne uns nur diese Elemente aufdecken, weil bei der niedrigen Temperatur der primitiven Nebelflecke alle anderen Stoffe zu Tropfen kondensiert und nicht leuchtend seien.

Andere neigen aber der Ansicht zu, daß diese anderen Stoffe noch gar nicht entstanden sind, daß vielmehr der Aufbau des betreffenden Weltkörpers erst bis zum Nebulium, Wasserstoff und Helium gelangt ist.

Wasserstoff hat das leichteste Atom, dann kommt Helium.

Ein Chemiker MOROSOFF hat eine mir sehr interessant scheinende Hypothese aufgestellt, nach der alle Elemente aus 1. dem Nebulium oder Archonium, 2. dem Protowasserstoff und 3. dem Protohelium nebst den zugehörigen elektrischen Bindungen sich aufbauen können.

Es scheint also, daß in den primitiven Nebelflecken als Gegenstück zur Radioaktivität der Wiederaufbau der Elemente letzten Endes aus dem Äther und den Elektronen eingeleitet ist.

Wissenschaftlich steht fest, daß alle Atome Elektronen enthalten. Was wir als Lichtstrahlen empfinden, wenn ein Gegenstand uns sichtbar ist, sind die periodischen Erschütterungen des Äthers durch die Schwingungen der Elektronen in den Atomen des uns sichtbaren Gegenstandes.

Das, was wir als Trägheit des greifbaren Stoffes empfinden, ist die durch die geänderte Bewegung der in den Atomen vorhandenen Elektronen erzeugte Änderung des Widerstandes des magnetischen Feldes im Äther.

Die Röntgenstrahlen sind aperiodische Äthererscheinungen, hervorgerufen durch die plötzliche Unterbrechung der Bewegung frei von Atomen strömender Elektronen.

Bei den frei von Atomen bewegten Elektronen bleiben, wie nicht anders sein kann, die Gesetze der Trägheit gültig. Die mechanisch wirksame Masse jedes einzelnen Elektrons ist im Experiment $\frac{1}{2000}$ stel bis $\frac{1}{1000}$ stel derjenigen des kleinsten Atomes, des Wasserstoffatoms. Je schneller das vom Atome freie Elektron fliegt, um so größer wird sein Trägheitswiderstand. Ein mit Lichtgeschwindigkeit fliegendes Elektron hätte wahrscheinlich eine unendlich große Trägheit, könnte also nur durch eine unendlich große Kraft gebremst werden — fürwahr trotz seiner Kleinheit der robusteste Geselle im Weltall.

Die aus dem Verbande mit den Atomen herausgelösten Elektronen stellen eine fast unfaßbare Naturgewalt dar. Man hat folgendes berechnet: Wenn man die Anzahl Elektronen, welche beim Silberplattieren die Atome vom 108 g Silber niederschlagen, als freie Elektronen sammeln könnte und etwa am Nordpol der Erde anbrächte, und wenn man eine ebenso große Anzahl freier Elektronen am Südpol anbrächte, und wenn man diese beiden negativen Elektrizitätsmengen durch ein Stahlkabel von 35 000 kg Tragkraft verbände, so würde dieses Kabel ihre gegenseitige Abstoßungskraft gerade noch aufheben können; in kürzerer Entfernung würden diese selben Ansammlungen freier Elektronen dieses Kabel sprengen und womöglich mit den Stücken davonfliegen, — immer vorausgesetzt, daß sie freie Elektronen bleiben. Glücklicherweise sind die freien Elektronen sehr dünn gesäet, verglichen mit den Atomen:

Wenn eine kleine Kugel mit negativer Ladung so hoch gespannt ist, daß aus ihr die Elektrizität als Büschelentladung ausspritzt, so besitzt sie doch nur so viele freie Elektronen, daß auf 1000 Milliarden ihrer Atome erst 1 freies Elektron kommt, — allerdings hat z. B. Silber in jedem Gramm etwa 7000 Milliarden von Milliarden Atome.

Sich selbst überlassene Elektronen sind wirklich sehr mächtig; gezügelt und neutralisiert werden sie durch eine andere Macht, welche zwar positive Elektrizität genannt wird, von der wir aber ebenso wenig wissen wie vom Äther.

Wenn man auf einer Wasseroberfläche eine Welle sieht, so glaubt man etwas Dingliches zu sehen, — und doch sieht man nur eine Bewegung, in jedem Augenblick bilden andere Wassertropfen die Welle. Vielleicht ist das Elektron nur eine Bewegung des Äthers!

Vor Entdeckung der Radioaktivität glaubte man an die 80 unzerstörbaren Atomsorten der chemischen Elemente und an die Wärme als

Quelle allen Geschehens im Weltall. Heute kann man wohl als Quelle allen Geschehens nur die Wechselwirkung zwischen den Elektronen und dem Äther ansehen, — und schließlich kommt auch noch der greifbare Stoff in den Verdacht, eine äußerst stabile Form des Geschehens zu sein.

Ist ein Elektron mit Energie behafteter Stoff?

Ist ein Elektron bloß Energie?

Zerfällt auf den Sonnensystemen der greifbare Stoff zu Energie, und entsteht in den Weltnebeln aus Energie wieder greifbarer Stoff?

Schritt für Schritt wird die Wissenschaft auch diese Fragen zu beantworten lernen. Vielleicht bringt ihre Beantwortung auch Aufklärung über die transzendente Naturkraft, welche bei den höheren Lebewesen die Seele genannt wird.

Literatur-Anleitung.

Arrhenius: „Das Werden der Welten“. Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig.
— „Die Vorstellung vom Weltgebäude im Wandel der Zeiten“. Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig.

Auerbach: „Die Grundbegriffe der neuen Naturlehre“. Teubner, Leipzig.
— „Die Weltherrin und ihr Schatten“. Fischer, Jena.

Benedikt: „Biomechanik und Biogenesis“. Fischer, Jena.

Duhem: „Die Wandlungen der Mechanik“. Barth, Leipzig.

Fath: „The story of the spirals“. Century magazine 1912.

Haeckel: „Die Welträtsel“. Strauß, Bonn.

Himstedt: „Elektronen und die Konstitution der Materie“. Speyer u. Kaerner, Freiburg i. B.

Hort: „Der Entropiesatz“. Springer, Berlin.

La Rosa: „Der Äther“. Barth, Leipzig.

Lenard: „Über Äther und Materie“. Berichte der Heidelberger Akademie 1910.

Mie: „Die Materie“. Enke, Stuttgart.

Moore: „The origin and nature of life“. Williams and Norgate, London.

Morosoff: „Die Evolution der Materie“. Steinkopff, Dresden.

Newcomb: „Astronomie für jedermann“. Fischer, Jena.

Planck: „Die Stellung der neueren Physik zur mechanischen Naturanschauung“. Hirzel, Leipzig.

Righi: „Die moderne Theorie der physikalischen Erscheinungen“. Barth, Leipzig.

— „Über die Struktur der Materie“. Barth, Leipzig.

Rincklake: „Astro-Chemie und -Mechanik“. Kapitelverlag, Berlin.

Soddy: „Matter and energy“. Williams and Norgate, London.

Trabert: „Lehrbuch der kosmischen Physik“. Teubner, Leipzig.

Weinstein: „Die Grundgesetze der Natur und die modernen Naturlehren“. Barth, Leipzig.

Wolf: „Die Entfernung der Sterne“. Berichte der Heidelberger Akademie 1911.

Zehnder: „Der ewige Kreislauf des Weltalls“. Vieweg, Braunschweig.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg](#)

Jahr/Year: 1917

Band/Volume: [73](#)

Autor(en)/Author(s): Kriemler

Artikel/Article: [Weltall-Mechanik. 1-9](#)