

Zur Frage nach der Abhängigkeit der Gravitationskraft vom Zwischenmedium.

Von
THEODOR ERISMANN.

I.

Allgemein methodologische Betrachtungen in ihrem Zusammenhang mit der Frage nach der unmittelbaren Fernwirkung.

Die gesamte moderne Naturwissenschaft ist aufgebaut auf der unmittelbaren Beobachtung der Natur und dem wissenschaftlichen Experiment. So oft auch Theorie und Hypothese zur Auffindung neuer Gesetze geführt haben mögen, so entspringen sie selbst doch wieder der Beobachtung von Einzeltatsachen und bedürfen des Experimentes zu ihrer Bestätigung. Wir können schlechthin gar nichts über die Natur der Dinge und die sie beherrschenden Gesetze a priori aussagen, denn bei den letzten Eigenschaften der Dinge und den Grundgesetzen, denen sie gehorchen, haben wir es nicht mit einem logischen Verstehen, auf Grund dessen wir uns dieselben selbst zu recht legen könnten, oder gar mit einem Definieren und Konstruieren wie in der Mathematik zu tun, sondern mit einem Hinnehmen der sich uns anbietenden Tatsachen.¹⁾

Alle Versuche, solch letzte Tatsachen zu begründen und logisch abzuleiten, sind missglückt. So der Versuch, die Unzerstörbarkeit der Materie als eine logische Notwendigkeit hinzustellen (Kant „Kritik der reinen Vernunft“, Ausgabe von Kirchmann, p. 62 und 64, 1901; Schopenhauer „Welt als Wille und Vorstellung“); so die als selbstverständlich angenommene und durch Jahrhunderte behauptete Eigenschaft der Materie, nicht nur zum *Bewegtwerden*, sondern auch zur *Erhaltung* der Bewegung einer besonderen Kraft zu bedürfen; denn auch sie widerspricht aufs Schärfste unserer auf Grundlage des Experimentes gewonnenen Anschauung über diese Grundeigenschaft der Materie. — Man denke ferner an die Naturphilosophie eines Schelling, die eine zeitlang sich mächtig auszubreiten begann, um bald darauf

¹⁾ Wir wollen hier absehen von denjenigen Eigenschaften der Dinge und ihren Beziehungen, die begründet sind in ihrem *Gegebensein im Raum* (geometrische Axiome).

von den aufstrebenden Naturwissenschaften untergraben und gänzlich verdrängt zu werden; oder, um ein Beispiel zu nennen, das der vorliegenden Arbeit näher liegt, — an die auch heutzutage noch so oft aufgestellte Behauptung, dass es doch „selbstverständlich“ sei, dass das Gewicht von 1000 Gramm in Einzelstücken gewogen gleich sein muss ihrem Totalgewicht bei einer Gesamtwägung, während doch schon ein Parallelbeispiel auf dem Gebiete des Magnetismus uns des Besseren belehrt. — Selbst die Notwendigkeit der allgemeinsten Annahme der Naturwissenschaften, nämlich der kausalen Verbindung zwischen aufeinanderfolgenden Naturerscheinungen, ist schon von Hume, und neuerdings wieder, wenn auch in anderer Form, von Mach und seinen Anhängern stark in Zweifel gezogen worden. — Die einzige logische Forderung, die wir demnach an die Lösung irgend eines naturwissenschaftlichen Problem es stellen dürfen, besteht darin, *dass sie keinen Widerspruch in sich selbst enthalten darf; über alles andere entscheidet das Experiment.*

Um nun zur vorliegenden Arbeit überzugehen, wollen wir *ihre Aufgabe genau formulieren: sie soll ein Versuch sein, die Antwort auf die Frage zu geben, ob die Gravitationskraft, die zwischen zwei entfernten Körpern wirkt, in irgend welcher Abhängigkeit steht von dem diese beiden Körper trennenden Medium.* — So gefasst, deckt sie sich fast vollkommen mit der Frage nach der *unmittelbaren Fernwirkung* der Gravitationskraft.

Ist überhaupt eine unmittelbare Fernwirkung denkbar? Ist es, rein logisch gefasst, möglich, anzunehmen, *dass ein Körper an einem Orte des Raumes wirken könne, wo er nicht ist*; durch ein absolutes Vacuum hindurch, also so zu sagen, bloss infolge der Tatsache seines Bestehens?

Bei solchen Fragen ist es oft ratsam, sich in der Geschichte über die zu verschiedenen Zeiten verbreiteten Anschauungen zu orientieren. Da stellen sich sehr merkwürdige Widersprüche gerade diesem Problem gegenüber heraus: während Newton in einem Brief an Bentley eine unvermittelte Fernwirkung als „eine so grosse Absurdität“ behandelt „dass niemand, der in philosophischen Dingen eine ausreichende Denkfähigkeit besitzt, jemals darauf verfallen könne“, — war schon für Kant und seine Zeitgenossen die Fernwirkung „nicht nur begreiflich, sondern sogar selbstverständlich und a priori notwendig“¹⁾. Nach unserer Einleitung ergibt sich's aber, dass schon eine solche Fragestellung der naturwissenschaftlichen Methodik wider-

¹⁾ Wundt: Erkenntnislehre, zweite Auflage, p. 616; Kant: Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft, Werke, Ausg. v. Rosenkranz, Bd. 5, p. 358 ff.

spricht: im allerbesten Falle würden wir ja die Gravitation auf einen Stoss oder eine Anziehung unmittelbar benachbarter Teilchen zurückführen können, die ebenso wenig einen Widerspruch in sich enthalten, aber auch genau ebenso wenig „logisch denkbar“ oder verständlich sind, wie irgend eine Fernwirkung (siehe auch Wundt: Erkenntnislehre, zweite Auflage, p. 616—618).

Wohl besteht in der gegenwärtigen Physik die Tendenz, alle Kräfte auf Nahwirkungskräfte zurückzuführen; auch ist dieses Bestreben bei der Untersuchung aller anderen Kräfte von grossem Erfolg begleitet gewesen. Von diesem Standpunkte aus erscheint es von unverkennbarem Werte, den anderen Kräften auch die Gravitation anzugliedern und auf diese Weise eine grosse Einheit in den Begriff der Kraft hineinzutragen. Wie sich die anderen Kräfte als bloss *scheinbare* Fernwirkungskräfte erwiesen, so könnte es ja auch mit der Gravitation geschehen. Wir dürfen uns aber dabei nicht verhehlen, dass sich die Gravitation doch in sehr manchen Eigenschaften von den übrigen Kräften unterscheidet; warum — können wir da die Frage aufwerfen — sollte sich nicht auch die besprochene Eigenschaft der Wirkung im Raume als verschieden erweisen? Man sieht: durch allgemein theoretische Auseinandersetzungen lässt sich's der Frage nicht näher kommen, und so sind wir denn gezwungen, ihre Lösung dem Experiment zu überlassen.

Wir haben oben erwähnt, dass die Hauptaufgabe der vorliegenden Arbeit sich mit der Frage nach der unvermittelten Fernwirkung nicht ganz deckt; in der Tat kann die Gravitation immer noch eine Nahwirkungskraft sein, auch wenn ihre Grösse sich als ganz unabhängig von der Beschaffenheit der die beiden gravitierenden Massen trennenden Körper erweisen würde. Man könnte auch dann immer noch annehmen, dass gerade das Leitungsvermögen für die Gravitationskraft allen Arten von Materie, den Aether inbegriffen, in genau gleichem Masse zukomme; oder doch wenigstens, dass die mutmasslichen Modifikationen, die der Aether im Innern *verschiedener* Körper erfährt (vorausgesetzt, dass er das leitende Medium sei), von keinem Einfluss auf seine Leitungsfähigkeit der Gravitation gegenüber seien. Hingegen würde eine bejahende Antwort auf unsere Hauptfrage die Anschauung über die Gravitation als eine unvermittelte Fernwirkungskraft ein für alle mal beseitigen. — Dies wäre aber nicht die einzige Konsequenz, die sich aus einer solchen Feststellung ergibt. Denn dadurch wäre nun mit einem Schlage die vornehme Sonderstellung der Gravitation allen anderen Kräften gegenüber vernichtet, es liesse sich an eine Zurückführung der Gravitation auf Elektrizität, an eine Fort-

pflanzungsgeschwindigkeit der Gravitationskraft denken; ganz ungeahnte Abhängigkeitsbeziehungen zwischen bis jetzt völlig fremden Gebieten könnten hervortreten. Was die praktische Anwendung dieser Resultate betrifft, so würden sie für unsere „lokalen“, irdischen Untersuchungen wohl kaum von Bedeutung sein können, bei der mutmasslich sehr geringen Änderung der Gravitation in Abhängigkeit von Zwischenmedium; doch schon für die Bestimmung der Masse der Erde und der anderen Planeten würde die Berücksichtigung dieser Änderung von prinzipieller Bedeutung sein. — Wir wollen uns hier aber nicht länger bei den möglichen Folgen der noch ungewissen Resultate unserer Untersuchungen aufhalten, bevor wir die Resultate selber und den Weg, der zu ihnen führt, näher kennen gelernt haben.

II.

Experimentelle Feststellungen zur Lösung vorliegender Frage.

Von welchen Gesichtspunkten werden wir uns nun bei der Wahl der vorzunehmenden Experimente leiten lassen? — Die hier in Betracht kommenden Experimente zerfallen in zwei Klassen: solche, die zur Voraussetzung gewisse hypothetische Eigenschaften der Gravitation haben, und solche, die sich frei von allen Voraussetzungen unmittelbar auf die Hauptfrage unserer Arbeit richten. Beide Arten von Versuchen sind auch früher schon durchgeführt worden, und wir wollen in aller Kürze ihre Methoden und Ergebnisse mitteilen.

Crémieu war es, der sich als Erster mit der erstgenannten Art von Versuchen abgab. Seine Arbeiten sind veröffentlicht in „Comptes Rendus“ 1905: Band 140, p. 80; Bd. 141, p. 653; Bd. 141, p. 713; 1906: Bd. 143, p. 887; und „Journal de Physique“, 1906: (4) 5, p. 25. — Von der Annahme ausgehend, dass die Gravitation nur eine *scheinbare* Anziehungskraft, die zwischen den Körpern auftritt, sei (genau von der gleichen Art wie etwa die „Anziehung“ zwischen der Wasserfläche und einem aus der Tiefe aufwärtsstrebenden Kork oder Stück Holz), — tatsächlich aber auf den Ätherdruck zurückzuführen ist, welcher entsteht, weil sich der Äther gleichsam zu einem Kontinuum zu vereinigen strebt und die Körper aus sich heraus drängen möchte, nimmt *Crémieu* an, dass die Grösse der zwischen zwei Körpern wirkenden Gravitation nicht nur von ihrer Masse, sondern auch von ihrer sonstigen Beschaffenheit abhängig sei, da doch, wie bekannt, der Zustand und die Beschaffenheit der Körper auch auf den Zustand des benachbarten Äthers von Einfluss ist. Er taucht nun Körper von genau gleichem spezifischem Gewicht wie die umgebende Flüssigkeit in dieselbe hinein (Öltropfen in ein Gemisch von

Wasser u. Alkohol). Wäre das Newtonsche Gesetz in der ihm gewöhnlich gegebenen Form richtig, so müssten sich die beiden Körperchen weder einander nähern noch sich von einander entfernen, — tatsächlich bemerkt aber Crémieu eine allerdings sehr langsam vor sich gehende Annäherung der eingetauchten Fremdkörperchen. Crémieu schliesst daraus auf die Richtigkeit der Hypothese, von der er ausgegangen war. Allerdings sind diese Versuche so subtil und die dabei zu berücksichtigenden Fehlerquellen so schwer zu vermeiden, dass Crémieu selbst seine Versuche für noch nicht abgeschlossen hält und noch weitere unter günstigeren Bedingungen durchzuführen beabsichtigt.

Ich will von den Versuchen von *Mackenzie, Gray und Poynting* mit Kristallen von verschiedener orientierter Axenrichtung absehen, da sie zu keinen eindeutigen Ergebnissen geführt haben, und nun direkt zum Experiment von *Austin und Thwing* („Physical Review“ 1897, p. 294) übergehen, das der Methode nach demjenigen der vorliegenden Arbeit sehr nahe steht, und hier — in einer allerdings sehr schematischen Weise — beschrieben werden soll. Als eine die Gravitationskraft messende Vorrichtung wird von den beiden Forschern nach dem Vorgange von Cavendish eine nicht wesentlich modifizierte Coulombsche Drehwaage verwendet. Anstatt der *elektrisch* geladenen Körper wirken aber die an den Enden des Querbalkens angebrachten Metallkörperchen und grössere Metallklötze, die in ihrer

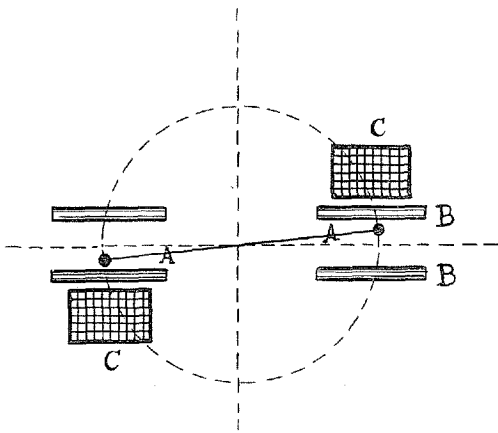


Fig. 1. Wagrechter Querschnitt in der Balkenhöhe. (siehe Fig. 1).
 A Balken mit Kugeln; B Zwischenmedium;
 C Anziehende Masse.

Nähe aufgestellt sind, *gravitierend* auf einander. Zwischen die anziehenden und die angezogenen Körper werden nun Platten von verschiedenster Beschaffenheit eingeführt und zugeesehen, ob die Grösse der Ablenkung unter diesen Umständen, da die Gravitation durch die Platten hindurch wirken muss, sich in irgend einer Weise verändert hat

Ich gebe hier diese kurze Beschreibung und eine Zeichnung des Instrumentes, da das von mir verwendete auf dem gleichen Prinzip beruht, allerdings aber im Ausbau und in Einzelheiten sehr stark davon abweicht. Es sei gleich bemerkt, dass eine wichtige Änderung dieses Instrumentes dadurch notwendig geworden ist, dass

bei der angegebenen Lage der Platten ihr Einfluss als Zwischenmedium schwierig zu trennen ist von der anziehenden Wirkung, die sie als massenbegabte Körper selbst wieder auf die beweglichen Körperchen ausüben müssen. Selbst wenn die Körperchen von zwei gleichdicken und im Anfang gleichweit abstehenden Platten eingeschirmt sind, wird sich der Abstand sofort ändern, sobald im Verlauf des Experimentes eine Verschiebung des Querbalkens stattgefunden hat. Eine Vergrößerung des Ausschlages mit Zwischenmedium würde also an und für sich noch nichts beweisen; aber selbst wenn der Ausschlag sich nicht ändern würde, hätte man keine völlige Garantie dafür, dass sich die beiden Wirkungen des Zwischenmediums, die ihm als Leiter und gravitierende Substanz zukommen, nicht nahezu aufheben, namentlich wenn man die naheliegende Annahme macht, die Absorption der Gravitationskraft könnte in Abhängigkeit stehen von der Masse des Zwischenmediums. Ferner wird bei planparallelen Platten eine Änderung infolge einer möglichen Brechung der Kraftlinien nicht zum Ausdruck gebracht. Auf welche Weise nun andere Forscher beim weiteren Ausbau des Apparates diesen Übelständen abzuhelfen versuchten, wird im Folgenden näher ausgeführt werden.

Das Ergebnis der Untersuchungen von Austin und Thwing war ein negatives, d. h. der Einfluss des Zwischenmediums lag, — wenn vorhanden, — unter der Fehlergrenze, die von ihnen bei $\frac{1}{500}$ der gesamten Verschiebung angegeben wird.

Weitere Versuche ähnlicher Art sind wieder von *Crémieu* ausgeführt worden. Anstatt das Zwischenmedium aus Platten bestehen zu lassen, tauchte er — natürlich unter sehr grossen Vorsichtsmassregeln — den unteren Teil der Drehwage, samt dem angezogenen und den anziehenden Körpern in Wasser, um dann zuzusehen, ob die gegenseitige Anziehung der beiden Körper einfach dem Gesetze von Archimedes, das unter diesen Umständen sich natürlich geltend machen muss, entsprechend abnimmt, oder ob die so veränderten Umstände eine Änderung der Gravitationskonstante nach sich ziehen werden. *Crémieu* arbeitete unter Verwendung der höchsten Vorsichtsmassregeln und sehr teurer Apparate, in einem eigens dazu eingerichteten Raume, auf felsigem Boden, etwa 2 km von jeglicher Wohnstätte entfernt; seine Versuche lassen sich also in einem gewöhnlichen Laboratorium, in der Nähe von Stadtverkehr und den tausenderlei Erschütterungen, die durch ihn verursacht werden, weder wiederholen noch prüfen. Seine Apparate baute er während mehr als zwei Jahren immer weiter aus mit den ihm von der „Caisse de Recherches“ zur Verfügung gestellten Mitteln. Das

vorläufige Resultat, zu dem er gelangte, fasst er kurz in den Worten zusammen: „Tout ce qu'on peut dire c'est que, dans l'état actuel de la question, il *semblerait*¹⁾ que dans un champ gravifique très convergent, un corps plongé dans un liquide serait soumis à quelque chose de plus que la différence entre la poussée hydrostatique et l'attraction newtonnienne.“ (Comptes Rendus, 1906, Bd. 143, p. 887.) Aus dem angeführten Zitat ersieht man, dass Crémieu seine Versuche trotz aller Vorsicht, mit der sie durchgeführt wurden, für noch nicht abschliessend ansieht. Das hat seinen Grund darin, dass, wenn auch alle Versuche im gleichen Sinne ausgefallen sind, zwischen den einzelnen Werten sehr grosse Differenzen hervortreten: das Verhältnis der Verschiebung mit und ohne Wasser sollte nach Archimedes 0,919 betragen, die von Crémieu erhaltenen Werte liegen aber zwischen den Grenzen von 0,928 und 1,029. Diese Unterschiede erklärt Crémieu durch die Prismenwirkung des Fensters beim Ablesen. Ferner sieht man, dass die Fragestellung von Crémieu sich mit der unsrigen nicht vollkommen deckt und also auch seine Antwort den Resultaten unsrer Arbeit in keiner Weise vorgreift.

Eine unmittelbare Fortsetzung der Arbeit von Austin und Thwing bildet die Dissertation von Laager („*Versuch, mit der Drehwage die Abhängigkeit der Gravitation vom Zwischenmedium nachzuweisen*“, Haller'sche Buchhandlung Bern, 1904), die er am hiesigen Laboratorium ausarbeitete. Die schon oben angedeuteten Misstände der früheren Methode suchte Laager dadurch zu beseitigen, dass er anstatt der Platten die Wandung eines senkrecht stehenden Zylinders als Zwischenmedium verwendete, in dessen vertikaler Achse der Faden mit dem daran befindlichen Querbalken aufgehängt war, so dass letzterer gleichsam den Durchmesser des Zylinders abmass, und die angezogenen Kugelchen sich bei ihrer Bewegung im Innern desselben auf der Peripherie eines zum Zylinder konzentrischen Kreises bewegten (siehe Fig. 2 auf folgender Seite).

Die anziehenden Kugeln konnten vermittels einer Rollbahn, die einen mit dem übrigen Instrument in gar keiner Verbindung stehenden Teil bildet, von Stellung A in Stellung B gebracht werden, was eine entgegengesetzte Richtung der zwischen den Kugeln wirkenden Gravitation zur Folge hatte. Diese Art der Verschiebung der grossen Kugeln erwies sich als vorzüglich, da das eigentliche Instrument mit dem Gehänge, das auf eigenen Füßen aufgestellt war, durch das Auswechseln der Stellungen A und B nicht die geringste Erschütterung erfuhr; sie wurde auch bei meiner Arbeit in gleicher Form beibehalten.

¹⁾ Durch Kursivschrift von mir hervorgehoben.

Laager konstatierte bei seinen Versuchen eine sehr merkliche Abhängigkeit der Gravitationswirkung vom Zwischenmedium; doch auch seine Versuche können durchaus nicht als abschliessend betrachtet werden, denn abgesehen davon, dass die Zylinderform des Zwischenmediums, wie die nachher angestellte Rechnung deutlich zeigte, durchaus nicht ein sicheres Schutzmittel gegen einen analogen Fehler bietet, wie er sich in den Versuchen von Austin und Thwing geltend machte (*sehr* kleine Differenzen in der Aufstellung des Zylinders, die beim Auswechseln der Zylinder unver-

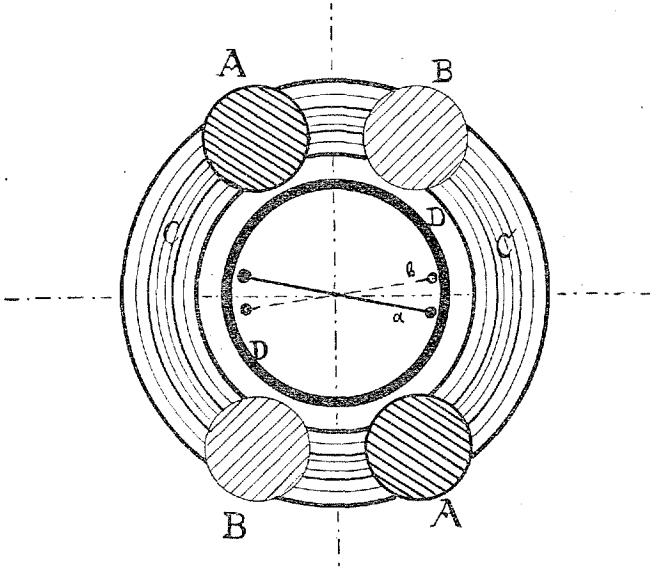


Fig. 2. *A* anziehende Kugeln in erster Stellung; *B* anziehende Kugeln in zweiter Stellung; *C* Rollbahn; *a* und *b* die zu *A* u. *B* gehörenden Lagen des Wagebalkens; *D* Zylinder.

meidlich sind, ziehen sofort *beträchtliche Änderungen* des Ausschlages nach sich), waren dabei, wie sich weiter unten zeigen wird, so viele Fehlerquellen zu berücksichtigen — von denen die wichtigste die Inkonstanz des Nullpunktes, — dass die Resultate dadurch sehr verdunkelt werden mussten.

III.

Weitere Ausbildung der Methode durch vorliegende Arbeit.

Dies war der Stand der experimentellen Beobachtungen auf diesem Gebiete, als ich meine Arbeit im physikalischen Laboratorium der Universität Zürich begann — im Herbst des Jahres 1905; sie nahm 2 Jahre in Anspruch und wurde im Herbst 1907 ebendasselbst abgeschlossen.

Es galt also: erstens — *eine Drehwage zur Anwendung zu bringen, die sensibel genug war, die Gravitationskraft bis zu den kleinsten Bruchteilen hinunter genau zu messen*; zweitens — *sie von allen fremden Einflüssen der Aussenwelt, der Fadennachwirkung und dergl. absolut zu schützen*, so dass für den Ausschlag des Wagebalkens nur die zu messende Gravitation verantwortlich gemacht werden konnte; und drittens — *das Zwischenmedium in einer Form anzubringen, dass es sich sicher nur als Schirm für die zwischen den Kugeln vorhandene Gravitation, nicht aber auch selbst wieder als gravitierende Masse geltend machen konnte*.

Die Erfüllung einer jeden dieser Aufgaben weist schon beträchtliche Schwierigkeiten auf, so namentlich das Unabhängigmachen der Wage von allen äusseren Einflüssen; die Hauptschwierigkeit aber liegt darin, dass das Instrument allen drei Anforderungen zugleich genügen muss. Deswegen war häufig nicht viel auszurichten mit theoretischen Überlegungen, denn die Anzahl der — sich oft widersprechenden — Komponenten, die berücksichtigt werden mussten, war eine sehr grosse: dem Versuch musste dann entnommen werden, in was man etwa an einer Stelle nachgeben musste, um an einer anderen etwas zu gewinnen, bis sich diejenigen Durchschnittsbedingungen ergaben, die für das Experiment am geeignetsten waren.

Ich will zunächst die allgemeinen Bedingungen, unter denen gearbeitet wurde, in groben Zügen angeben. Auf einer steinernen Konsole, die in die Ecke eines geräumigen Arbeitszimmers im Kellergeschoss des physikalischen Laboratoriums eingemauert war, wurde das Instrument — in der Hauptsache eine Coulombsche Drehwage mit einem am Gehänge angebrachten Spiegel — aufgestellt. Ihm gegenüber, in einer Entfernung von etwas über 2 m, stand auf einem soliden Holzbock das Ablesungsfernrohr mit einer damit fest verbundenen wagerechten, in mm eingeteilten Skala. Das für die ersten orientierenden Versuche verwendete Instrument unterschied sich nicht wesentlich von dem oben beschriebenen Laagerschen, nur dass auch hier schon das Zwischenmedium nach Vorschlag von Prof. Kleiner anstatt eines Zylinders aus zwei Hohlkugeln bestand, deren Wandung die Schirmwirkung hervorrufen sollte, so dass der Querschnitt in der Höhe des Wagebalkens nunmehr aussah, wie Fig. 3 auf folgender Seite zeigt.

Erste Aufgabe.

Wenn wir uns zur ersten Aufgabe wenden: *eine möglichst sensible Wage zu konstruieren*, die uns erlauben würde, bei einer

Balkenlänge von 5,5 cm die zwischen den Kugeln wirkende Kraft von ca. $50 \cdot 10^{-8}$ Dyn bis auf 0,001 genau zu messen, so wird durch diese Form des Apparates die Handhabung desselben um ein Wesentliches erschwert. Denn bei der minimalen Drehkraft, die der Aufhängefaden besitzen muss, damit der Feinheit der Wage kein Abbruch geschehe, wird es sehr schwierig, dem Wagebalken die oben aufgezeichnete Gleichgewichtstellung zu geben: wenn die Hohlkugeln noch nicht angelegt sind, wird der aus den beiden Öffnungen herausragende Wagebalken gleich Flaumteilchen von den leisesten Luftströmungen um den Nullpunkt hin und her getrieben; berührt

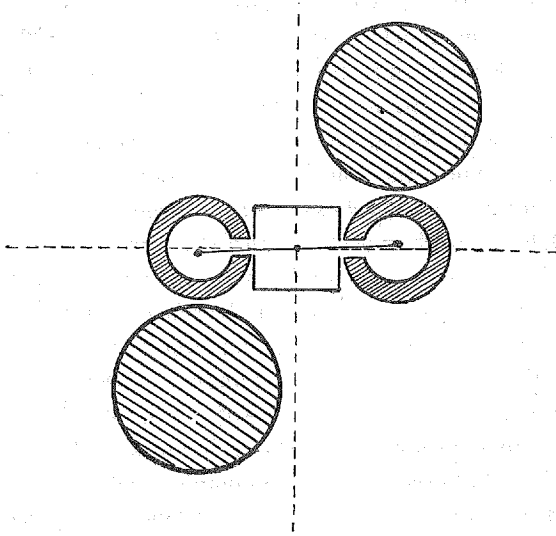


Fig. 3. Ansicht von oben.

er aber einmal den Rand der Öffnung, so bleibt er an demselben mit einer relativ grossen Zähigkeit haften. Die Stellung des oben angebrachten Torsionskreises, die einer Gleichgewichtslage des Balkens genau in der Mitte der Öffnung entspricht, muss also bei angelegten Hohlkugeln aufgesucht werden. Hier aber erwächst die Schwierigkeit, den Wagebalken ganz sachte in die Mittellage zu bringen, denn der geringste Stoss

treibt ihn sofort bis zum entgegengesetzten Rande der Öffnung, an dem er sich wieder festklebt. Dieses Kleben konnte durch möglichst grosse Reinlichkeit und möglichst kleine Oberfläche der sich berührenden Stellen etwas verringert werden; immer aber blieb die Kraft, mit der sich der Öffnungsrand und der anliegende Balken festhielten, grösser als die Drehkraft des auf die Mittellage eingestellten Fadens. Leider konnte auch der sonst so einfache Weg nicht eingeschlagen werden, dass man den Balken auf den Haken des Gehänges erst nach dem Feststellen der Mittellage auflegen würde, da die beim Auflegen desselben auftretende Mehrbelastung stets eine Verschiebung der Gleichgewichtslage zur Folge hatte. Die Einstellung des N.-P. mit Gewichten von einer geeigneteren Form war auch mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden und so dauerte

das Auffinden der Mittellage des Wagebalkens beim Aufhängen eines neuen Fadens oft Stunden und Tage lang. Es wurde dabei so verfahren, dass dem an dem einen Rande der Öffnung klebenden Balken durch einen Stoss an das Instrument eine Bewegung gegen das andere Ende hin erteilt wurde; der Stoss musste stark genug sein, um das Ablösen des Balkens vom Öffnungsrand zu bewerkstelligen, zugleich aber musste die darauffolgende Bewegung des Balkens so langsam sein, dass die Drehkraft des Fadens die lebendige Kraft des Balkens und der kleinen Kugeln überwinden konnte, bevor der andre Rand der Öffnung erreicht wurde. Selbst wenn der Torsionskreis einer Mittellage des Balkens schon entsprach, war das Einbringen des Balkens in die Mittellage eine oft langwierige Aufgabe; unvergleichlich schwieriger aber war das Herauslesen aus der mehr oder minder schnellen Verschiebung des Balkens, die auf den Stoss folgte, die richtige Lage des Torsionskreises, — denn das Feststehen in der einen oder der anderen Extremstellung gab ja nicht die geringste Andeutung dafür. Weder an eine mechanische noch an eine elektrische Arretiervorrichtung durfte dabei gedacht werden, da — abgesehen von dem nachher vorzunehmenden Auspumpen des Apparates — jede mechanische Arretierung zu brüsk wäre, und die Elektrizität viel zu viel neue Faktoren mit sich bringen würde, die die Feinheit der Messungen ganz verunmöglichen würden. — Unter anderem zeigte sich bei diesen feinen Einstellungen, wie ein relativ grosses Potential in jedem Glasstück stets verborgen ist: als nämlich einmal versucht wurde, anstatt der Metallhohlkugeln Glashülsen anzubringen, war die elektrische Anziehung des Glases so gross, dass die Gravitationskraft dagegen vollkommen verschwand, d. h. die Versuche wurden unter diesen Bedingungen gänzlich unmöglich.

Das *Gehänge* musste natürlich möglichst *leicht und stark gemacht* werden. Nachdem verschiedene Materialien ausprobiert waren, blieb ich bei feinem Aluminiumdraht stehen; Fig. 4 stellt das bei der Arbeit verwendete Gehänge in ca. $\frac{2}{3}$ natürlicher Grösse dar. Der Spiegel hatte einen Durchmesser von bloss ca. 3 mm, was die Notwendigkeit einer ziemlich starken Beleuchtung der Skala beim Ablesen zur Folge hatte. Das gesamte Gehänge musste sehr präzisiert sein; namentlich betrifft dies den unteren Haken, an dem der Querbalken aufgehängt wurde, da einerseits Balken und Spiegel genau parallel zu einander stehen mussten, andererseits der Balken und der vertikale Draht genau einen rechten Winkel einschliessen mussten. Das Anbringen des Balkens geschah, wenn Faden und Gehänge sich schon im Innern des senkrechten Messingrohres befanden, durch die beiden Öffnungen hindurch (siehe Fig. 6), wobei man einen

unwillkürlichen Ruck oder ein Klebenbleiben an den Fingern mit der grössten Sorgfalt vermeiden musste, da die Tragfähigkeit des Fadens das Gewicht des Balkens nicht viel überstieg.

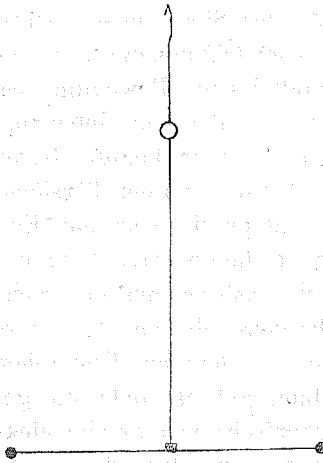


Fig. 4.

Im Masstab von ca. 2 : 3.
Gewicht beider Al-Kügelchen:
0,18 gr.

Zur genauen Messung war natürlich ein *möglichst grosser Ausschlag des Balkens erwünscht*. Die Grösse des Ausschlages ist abhängig von der Grösse der wirkenden Kraft, der Länge des Balkens und der Drehkraft des Fadens. Eine Grenze war ihr gesetzt durch das Gewicht der bewegten Kügelchen — d. h. die Tragfähigkeit des Fadens — einerseits und die Länge des Balkens andererseits, da bei einem zu grossen Durchmesser der *anziehenden* Kugeln jede von ihnen auf beide beweglichen Kugeln einwirken würde. Sie waren aus Blei und wogen einzeln ca. 2,8 kg. Die Länge des Balkens war wiederum namentlich dadurch bestimmt, dass mit seiner Verlängerung der Einfluss der Temperatur, der Luftströme etc. zunehmen musste.

Einen nicht minder wichtigen Teil der Wage bildete der Faden. Auch an ihn musste die gleiche Forderung gestellt werden: er soll einen möglichst grossen Ausschlag zulassen. Dabei muss er aber immer noch eine gewisse Tragkraft besitzen, um im Stande zu sein, das Gehänge mit den relativ schweren Kügelchen zu tragen, von deren Masse ja auch die Grösse des Ausschlages abhängt. Ausserdem waren zu dünne Fäden mit grossem Ausschlag unbrauchbar für Schwingungsbeobachtungen, da ihre Drehkraft so klein war, dass eine periodische Schwingung bei vorhandener Reibung überhaupt nicht mehr zu erzielen war. — Als weitere höchst wichtige Forderungen waren an den Faden zu stellen: *eine möglichst grosse Konstanz seiner Beschaffenheit in der Zeit, bei verschiedener Temperatur, verschiedener Lichtbestrahlung und dgl., endlich eine völlige Freiheit von jeglicher Nachwirkung bei Verdrehung*. — Ich habe eine grosse Anzahl von Fäden durchprobiert, bis es mir gelang, einen zu finden, mit dessen Eigenschaften man zufrieden sein konnte. Zu Anfang experimentierte ich mit Quarzfäden, es erwies sich aber der $7\ \mu$ dicke Wollastonfaden als geeigneter. Was Nachwirkung anbelangt, so wäre auch der Quarzfaden annehmbar, aber der Wolla-

stonfaden besitzt eine kleinere Drehkraft bei gleicher Tragfähigkeit; dabei lässt er sich durch Anlöten am Haken sehr schön drehfest anmachen. — In neuerer Zeit ist manchmal behauptet worden, dass ein konstanter Nullpunkt bei einem Wollastonfaden nur nach einem Ausglühen desselben erzielt werden könne. Ich verwendete einen nichtausgeglühten Faden und erreichte, wie sich weiter zeigen wird, eine sehr grosse Konstanz des Nullpunktes. Unter geeigneten Vorsichtsmassregeln lässt sich ein solcher Wollastonfaden aus seiner Silberhülle in einer fast beliebigen Länge lösen. Der bei den Schlussversuchen verwendete Wollastonfaden mass 47,5 cm. Die Verschiebung des Balkens beim Umlegen der äusseren Kugel bewirkte eine Differenz von ca. 120 Skalenteilen im Fernrohr (1 Skalenteil = 1 mm). Das Anlöten der Wollastonfäden an die kleinen Häkchen zum Aufhängen lässt sich ausgezeichnet durchführen; ja selbst das Zusammenlöten zweier Wollastonfäden zu einem längeren kann gelingen, wenn auch mit Überwindung grösserer Schwierigkeiten.

Beim Experimentieren mit den Quarzfäden stellte sich nebenbei die sehr interessante Eigenschaft derselben heraus, sich bei Überlastung um ein gutes Stück (ganz ungefähr: um 4 cm bei einer Länge von 30 cm) ausziehen zu lassen, bevor das Reissen eintrat.

Zweite Aufgabe.

Die zweite, weitaus schwierigste Aufgabe besteht in der *Elimination aller ungewollten Einflüsse der Aussenwelt auf unser bewegliches System*, damit wir sicher sein können, dass jede Veränderung in demselben den willkürlich veränderten Umständen, d. h. der Verschiebung der anziehenden Massen und der Schirmwirkung des Zwischenmediums zuzuschreiben ist. Mit anderen Worten, wir wollen einen konstanten Nullpunkt herstellen. — Schon die ersten orientierenden Versuche zeigten die Schwierigkeit dieser Aufgabe; der N-P schwankte ganz unregelmässig hin und her, manchmal traten Stösse auf, die von der Grössenordnung der Gravitationsverschiebung waren, und doch war es meine Aufgabe, diese Verschiebung durch Gravitation bis auf $\frac{1}{1000}$ genau zu messen. Selbst wenn der Faden anstatt des Wagebalkens mit einem kleinen Gewicht beschwert wurde, das keinen Angriffspunkt für eine drehende Kraft bot, traten diese Störungen auf. Sobald man etwas dickere Fäden verwendete, wurden die Störungen allerdings sofort sehr viel kleiner, aber diese Fäden waren dann eben auch für die Messung der Gravitation viel zu steif.

Ich versuchte nun schrittweise die möglichen Ursachen dieser Ausschläge aufzufinden und auszuschalten. Eine plötzliche und

grosse Änderung trat ein durch das *Überdecken des Instrumentes mit einer grossen Kiste*, das ich vornahm, um das Instrument von äusseren Einflüssen möglichst zu isolieren. Die grössten Störungen verschwanden; dabei bewirkte das Öffnen und Schliessen der Kiste, ohne dass ein Luftzug an den Balken gelangen konnte, einen sehr grossen Ausschlag. Nun wurde mit Thermo-Elementen die *Temperatur* im Innern der Kiste ganz nahe am Instrument gemessen, und es stellte sich eine weitere Abhängigkeitsbeziehung von der Temperatur heraus. Die Abhängigkeit tritt natürlich nicht in ganz reiner Form hervor, da ausser der Temperatur noch andere störende Ursachen tätig sind, aber in der untenstehenden Temperatur- und Verschiebungskurve sieht man diesen Zusammenhang doch ziemlich deutlich hervortreten.

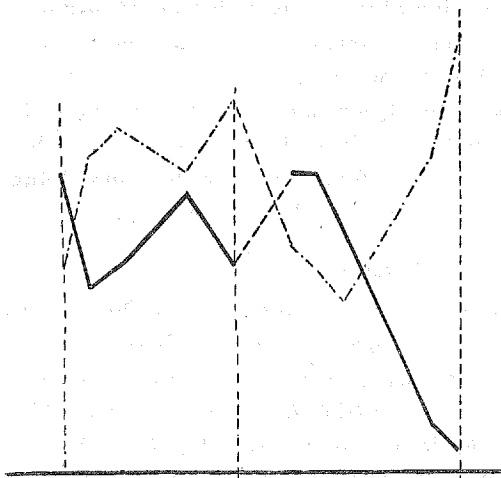


Fig. 5.

————— Verschiebungen des Nullpunktes;
 - - - - - Temperaturkurve.

Der Zusammenhang wird deutlicher, wenn nicht ein Gewicht, sondern der Balken mit den Kügelchen aufgelegt ist, — ein Zeichen, dass Luftströmungen mit im Spiele sind. Diese Vermutung wurde durch spätere Versuche vollkommen bestätigt. Sobald nämlich oben am Torsionskreis auch nur die geringste Öffnung, die der Luft einen Durchgang gestattete, übrig blieb, begann eine deutliche Verschiebung des Nullpunktes, die Hunderte von Skalenteilen betragen konnte; bei völligem Abschluss des Instrumentes stellte sich sofort eine viel grössere Konstanz des Nullpunktes ein.

Der Gedanke, diese Luftströmungen durch Evacuieren des Apparates wegzubringen, lag also nahe; doch wurde er wegen der vielen Schwierigkeiten, die die Evacuation mit sich bringen musste, nicht sofort zur Ausführung gebracht.

Darauf versuchte ich, die andern Ursachen der Inkonstanz aufzufinden; der Einfluss eines magnetischen Feldes erwies sich als nicht vorhanden; elektrische Störungen waren ebenfalls nicht zu konstatieren; desgleichen änderte sich nichts beim Einbringen eines Radiumpräparates in die Kiste. Auch zwischen den Feuchtigkeits-

Der Zusammenhang wird deutlicher, wenn nicht ein Gewicht, sondern der Balken mit den Kügelchen aufgelegt ist, — ein Zeichen, dass Luftströmungen mit im Spiele sind. Diese Vermutung wurde durch spätere Versuche vollkommen bestätigt. Sobald nämlich oben am Torsionskreis auch nur die geringste Öffnung, die der Luft einen Durchgang gestattete, übrig blieb, begann eine deutliche Verschiebung des Nullpunktes, die Hunderte von Skalenteilen betragen konnte; bei völligem Abschluss des Instrumentes stellte sich sofort eine viel grössere Konstanz des Nullpunktes ein.

änderungen und den Ausschlägen schien gar keine Gesetzmässigkeit zu herrschen. Merkwürdigerweise hatte ich sehr wenig zu leiden unter den mechanischen Erschütterungen, über die in den älteren Arbeiten stark geklagt wird; — allerdings lag mein Zimmer an einer Strasse, die fast nie befahren wurde, aber selbst wenn ein Wagen vorbeifuhr oder im Auditorium über mir die Vorlesung zu Ende war, konnte ich keine wesentliche Änderung im Verhalten des Nullpunktes bemerken. Desgleichen beim Durchfahren eines Eisenbahnzuges durch einen tief unter dem Laboratorium gelegenen Tunnel. Es war aber auch damals schon eine andere Abhängigkeit angedeutet, nämlich *die Abhängigkeit der Lage des Nullpunktes von der Lichtmenge, die auf das Instrument fiel*; das Beleuchten mit einem Sonnenstrahl oder dem Auerbrenner, sowie auch das Öffnen und Schliessen der Kiste schien einen selbständigen, von der Temperatur unabhängigen Einfluss auf den Nullpunkt auszuüben.

Damit hatte ich also einige Anhaltspunkte, um weitere Abänderungen am Instrument zu treffen. Die Temperaturänderungen mussten vor allem unschädlich gemacht werden; dies war aber nicht leicht, da ganz kleine Temperaturdifferenzen schon beträchtliche Schwankungen nach sich zogen. Das Anziehen einer wattierten Schutzdecke über die Kiste, in der sich das Instrument befand, genügte keineswegs, und es schien, dass man auf dem Wege der Regulierung der äusseren Temperatur nicht viel weiter kommen könnte. Dazu kam noch der Umstand, dass es mir nicht gelingen wollte, periodische Schwingungen beim Umlegen der Bleikugeln zu erhalten; die Reibung zwischen Luft, Wagebalken und Kugeln war eine so grosse, dass ein schleichendes Herannahen an die Gleichgewichtslage stattfand und diese letztere viel zu wenig sicher markiert wurde. Trotzdem ich Kügelchen von möglichst grossem spezifischen Gewicht verwendete, ¹⁾ und den Balken aus möglichst dünnem Draht herstellte und beides mit Graphit polierte, — nichts wollte nützen.

Da entschloss ich mich doch zu dem oben angedeuteten Mittel zu greifen und zu versuchen, *durch das Evacuieren des Apparates beide Misstände zu beseitigen*. Die von Crémieu beobachtete Abhängigkeit zwischen Nullpunkt und Athmosphärendruck konnte mich in diesem Entschluss natürlich nur noch bestärken. Durch die mechanische Werkstatt des hiesigen Laboratoriums wurde nun ein Instrument hergestellt, das dicht genug gemacht werden konnte, um mit Wasserstoff angefüllt oder ganz ausgepumpt zu werden. Es besteht aus einem dickwandigen, ca. 55 cm langen Messingrohr, das

¹⁾ Ich verwendete zuerst Aluminium dann Silber, da sich Platin als weniger unabhängig von elektr. Einflüssen zeigte (siehe Laagersche Dissertation).

oben mit einem Torsionskreis und einer Kappe, die das obere Ende möglichst luftdicht abschliesst, versehen ist. (Siehe Abbildung 6.) Am unteren Ende des Rohres ist ein Hahn angebracht; einige Zentimeter über demselben befinden sich die beiden Öffnungen für die herausragenden Enden des Balkens. An die Öffnungen sind kurze Rohr-

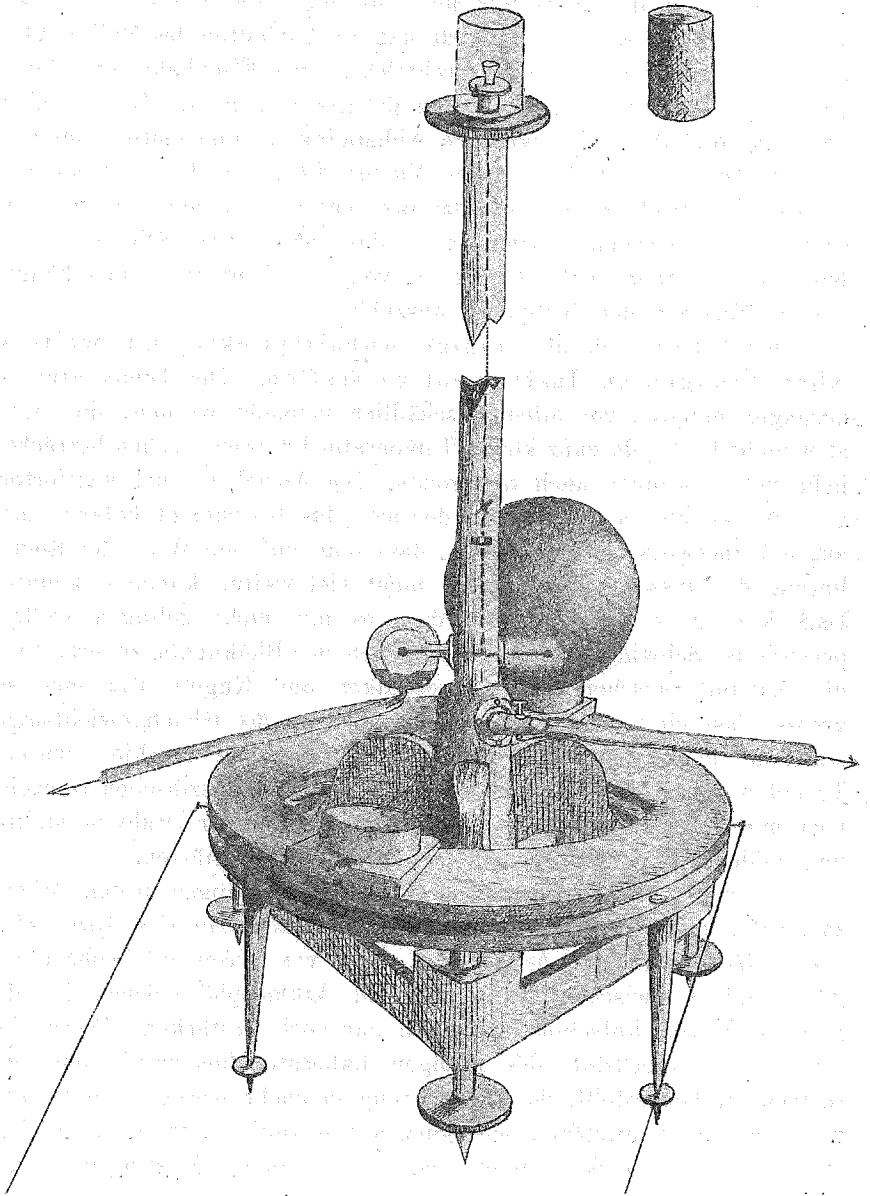


Fig. 6.

stutzen angelötet, in die entsprechende Rohrstützen — angebracht an der Öffnung der Hohlkugeln — fest hineingeschraubt werden können. Etwas weiter oben befindet sich das schmale Ablesungsfenster. Das Instrument ist auf einem soliden dreifüssigen Gestell aufgestellt. Die Rollbahn für das Umlegen der Bleikugeln blieb unverändert.

Der Luftdruck im Innern des Apparates brauchte nicht ausserordentlich gering zu sein (ca .0,5 mm bis zu einigen mm), aber *eine vollkommene Konstanz desselben war absolut erforderlich*, und das war es, was sehr grosse Schwierigkeiten bereitete. Acht Dichtungsstellen mussten völlig luftdicht gemacht werden. *Als dies aber gelang, war das bewegliche System mit einem Schlag wie isoliert von den Einflüssen der Aussenwelt*; Verschiebungen des Nullpunktes, die früher doch immerhin einige mm pro Stunde betrug, sanken auf wenige Bruchteile eines mm hinunter. Zugleich ist auch die Periodizität der Schwingungen vollkommen erreicht werden.

Unter diesen unvergleichlich günstigeren Umständen sind nun nochmals alle Beobachtungen *über Abhängigkeit von Temperatur, Radium usw.* durchgeführt worden. Die früher als indifferent vermuteten Veränderungen der Umgebung wie das Auftreten des magnetischen Feldes, elektrischer Ströme, das Einbringen von Radium, kleinere mechanische Erschütterungen u. dergl., sowie auch Wetterwechsel erwiesen sich ohne Einfluss auf die noch übrig gebliebenen Zehntelsmillimeter-Schwankungen. — Um den Temperatureinfluss nachzuweisen, brauchte man jetzt viel grössere plötzliche Temperaturschwankungen als früher; so versuchte ich z. B. grössere Schwingungen hervorzurufen durch Aufstellen einer Flasche mit heissem Wasser oder eines Bunsenbrenners in unmittelbarer Nähe des Apparates. Es schien sich dabei eine gewisse Abhängigkeit herauszustellen, wenn auch etwas undeutlich, da auch hier die Verschiebungen sich bloss in Bruchteilen eines mm bewegten. — Ebenso blieb noch ein gewisser Zusammenhang *zwischen der Lage des Nullpunktes und dem Anzünden des Auerstrumpfes, der am Fernrohr aufgestellt war*. Dabei trat die Verschiebung fast unmittelbar nach dem Anzünden der Lampe auf, so dass man nicht an eine Wärmeleitung vom Auerbrenner bis zum Apparat in so kurzer Zeit denken konnte. Auch Sonnenstrahlen, die ins Zimmer fielen, vergrösserten die Inkonstanz des Nullpunktes. Endlich hatte das Öffnen und Schliessen der Kiste eine verhältnismässig sehr grosse Verschiebung zur Folge (sie betrug einige mm). — Während der Einfluss der Temperatur auf den Nullpunkt nichts merkwürdiges an sich hat, ist dieser Zusammenhang zwischen Beleuchtung und Nullpunktverschiebung von ganz rätselhafter Natur, und seine genauere Erforschung, die kaum grosse

Schwierigkeiten bieten würde, könnte eine äusserst interessante Spezialuntersuchung abgeben. Vor allem müsste dabei natürlich festgestellt werden, ob sich dieser Einfluss auf den Balken und das Gehänge überhaupt oder unmittelbar auf den Faden geltend macht. — Nun waren aber auch Störungen, die durch fremde Massen verursacht wurden, leicht zu bemerken: das Herannahen des Beobachters an das Instrument führte stets einen kleinen Ausschlag nach der entsprechenden Seite herbei; ebenso das Verrücken von schwereren Gegenständen in der Nähe des Apparates. Diese letztere Störung war aber natürlich leicht zu vermeiden, und es blieben als die wichtigsten störenden Einflüsse: Temperatur- und Beleuchtungsänderungen zurück. Ich suchte sie zu beseitigen durch möglichst gute Isolation des Instrumentes und auch dadurch, dass ich die eigentlichen Versuche immer in der Nacht ausführte.

Eine wesentliche Verbesserung der Isolation gegen die äusseren Temperaturschwankungen brachte das Bestreichen des ganzen Instrumentes mit einer dicken Schicht Schmierseife mit sich. *Die Konstanz des Nullpunktes* steigerte sich und wurde merkwürdig unabhängig von dem Darüberstülpen der Kiste; die Versuche konnten von nun an ohne dieselbe unternommen werden, was natürlich eine Erleichterung im Handhaben des Instrumentes zur Folge hatte. Es traten zuweilen noch kleinere Verschiebungen des Nullpunktes um 0,1—0,15 Skalenteile in verschieden grossen Zeitintervallen auf; nur bei Sonnenlicht und namentlich bei raschem Verschwinden der Sonne hinter Gewitterwolken u. dergl. überstiegen sie bisweilen ziemlich bedeutend diese Grenze; *gewöhnlich aber war der Nullpunkt konstant genug* (siehe Tabelle und Versuche), *damit die Versuche vorgenommen werden konnten*. Einige Proben einer schönen Konstanz mögen hier angeführt werden:

1907 13. Februar (vormittags):	26. Juni (vormittags):	26. Juni (abends):	6. Juli (abends):
665,2 — 9 ^h 40	666,15 — 8 ^h 15	665,2 ₃ — 8 ^h 57	719,8 — 8 ^h 09
,15 11 10	,2 9 07	,2 9 04	,8 15
,2 30	,2 10 09	,2 11	,8 25
,2 45	,2 45	,1,7 16	,8 35
,2 12 35	,2 11 55	,1,7 21	,8 10 45
	,2 12 00	,1,7 27	
	,2 07		
	,2 13		
	,2 19		

Vor jedem Versuch musste die Konstanz geprüft und der Versuch eventuell auf die folgende Nacht verschoben werden.

Da ganz kleine Unregelmässigkeiten manchmal plötzlich entstanden, war man auch während des Versuches vor ihrem Auftreten nie vollkommen gesichert; — die Resultate liessen aber solche Störungen stets leicht erkennen. Übrigens konnten sie jeweilen nur für einen einzelnen Versuch von Bedeutung sein (und auch da in vollem Umfang nur dann, wenn die Störung während des Umlegens der Bleikugeln auftrat). Da aber jedes Experiment aus einer Reihe von Einzelversuchen bestand, wurde ihr möglicher Einfluss völlig unschädlich gemacht (siehe Versuche). — Wie langsam eine allmähliche Nullpunktsverschiebung in der Zeit vor sich ging, zeigte sich während drei Wochen, an denen nicht gearbeitet wurde: am 26. Juli stand der Nullpunkt auf 616, am 15. August ist er auf 611 hinuntergegangen (1 Skalenteil = 1 mm).

Die unter diesen Bedingungen angestellten Versuche fielen aber doch noch wesentlich ungenau aus¹⁾, da die III. Aufgabe noch nicht erfüllt war und sowohl das Zwischenmedium selbst als die Operation des Auswechselns desselben immer noch modifizierend auf die Gleichgewichtslage einwirkten und so die Resultate beim Vergleichen verschiedener Versuche noch nicht ganz einwandfrei sein konnten.

Einer merkwürdigen Erscheinung sei hier Erwähnung getan, deren Entstehung bis jetzt noch gänzlich unaufgeklärt geblieben ist: viermal sind während der Arbeit ganz auffällige unregelmässige Schwingungen des Wagebalkens ohne jede angebbare Ursache aufgetreten; und zwar am 6. und 19. Februar, am 30. April und am 22. Juni 1907. Die beiden zuletzt genannten Erscheinungen waren von kurzer Dauer (ca. 24^h) und weniger stark ausgeprägt; die ersten dauerten mehrere Tage lang und wiesen Verschiebungen des Nullpunktes auf, die Hunderte von Skalenteilen betrugten. Die nächstliegende Annahme zur Erklärung dieses Phänomenes, die ich aber nicht eigentlich als Behauptung aufstellen möchte, sind Umlagerungen im Faden selbst, die solche Schwankungen hervorrufen könnten.

Dritte Aufgabe.

Wir wenden uns nun der dritten Aufgabe zu, mit deren Lösung erst sich uns der Weg zu den eigentlichen Versuchen eröffnen kann.

Prof. Kleiner, von dem die Anregung zur Arbeit ausging und dem ich für seine Ratschläge während der ganzen Ausführung derselben hier meinen Dank aussprechen möchte, führte das Zwischen-

¹⁾ Es waren bei gleichseinsollenden Versuchsbedingungen Differenzen bis auf 0,2—0,3 Skalenteile vorhanden, bei einer Differenz von 120 Skalenteilen zwischen den beiden Extremlagen. Dies konnte noch nicht genügen, da die Messungen mindestens bis zu einer Genauigkeit von 1 : 1000 getrieben werden sollten.

medium schon zu Beginn der Arbeit in Form von Hohlkugeln ein. Diese konnten gegen andere Hohlkugeln von verschiedener Beschaffenheit und Wandstärke ausgewechselt werden. — Sobald aber die Feinheit der Untersuchungen deutlich genug hervortrat, wurde es klar, dass ein solcher Wechsel des Zwischenmediums, der mit Anfüllen des Instrumentes mit Luft und unvermeidlichen Stößen am Instrument und Wagebalken verbunden war, Fehler hereinbringen würde, die 1 pro 1000 des Gesamtausschlages um vieles übersteigen konnten. Der Balken durfte nicht über den gewöhnlichen Ausschlag hinaus bewegt werden und die Luft durfte nicht ein- und wieder ausgepumpt werden — das stand fest. Da blieb denn nichts anderes übrig, als *das Instrument ein für allemal auszupumpen und das Zwischenmedium nachher von aussen anzubringen*. Das gelang in der Weise, dass kleinere Hohlkugeln aus ca. 1,5 mm dickem Aluminiumblech an das Instrument definitiv angeschraubt wurden und das Zwischenmedium in Form von zwei Hohlkugelhälften über dieselben angezogen wurde, so dass der Querschnitt des Instrumentes in der Höhe des Wagebalkens zu dieser Zeit folgendermassen aussah:

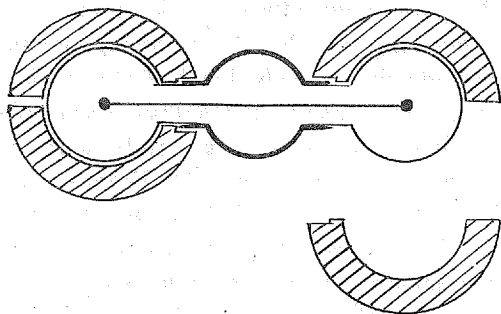


Fig. 7.

um so wie so nicht ausführen konnte, und es also nur auf den Vergleich von verschieden dicken und verschieden beschaffenen Zwischenmedien ankommen konnte, — da war denn der Einfluss einer so dünnen Aluminiumschicht kaum von Bedeutung, dem 6,3 mm dicken auswechselbaren Zwischenmedium aus schwerem Metall gegenüber.

Unter diesen Bedingungen sind die ersten Versuche ausgeführt worden. Wie schon oben erwähnt, zeigte sich's aber, dass auch diese Einrichtung noch keine eindeutig bestimmten Resultate garantieren konnte: die Abweichungen derselben von einander überstiegen, wenn auch nunmehr nur sehr wenig, die gesuchte Fehlergrenze. Beim An- und Ausziehen der Kugelschalen ergaben sich eben doch noch immer mechanische Stösse und Störungen des Nullpunktes;

Die Verbesserung der Versuchsbedingungen ist einleuchtend. Allerdings kam dadurch die Wandung der Aluminiumhohlkugel als invariables Zwischenmedium hinein; das machte aber keinen prinzipiellen Unterschied aus, da ich Versuche ohne jedes Zwischenmedium

ferner war es sehr schwierig, so genau gedrehte Kugelschalen herzustellen, dass kleine Abweichungen in der Zentrierung den beweglichen Kügelchen gegenüber, die beim An- und Ausziehen der Kugelschalen unvermeidlich sind, keine Störungen des Nullpunktes mit sich bringen würden. Diese letztere Fehlerquelle zeigte sich sofort in der Verschiebung des Mittelpunktes zwischen den beiden Extremlagen und in mangelhafter Übereinstimmung zwischen den Resultaten, die mit gleichem Zwischenmedium erhalten wurden. Das allgemeine Ergebnis dieser Untersuchungen war, dass, — die Tatsache der Beeinflussung der Gravitationskraft durch das Zwischenmedium vorausgesetzt, — diese Beeinflussung sich durch eine Änderung von höchstens $\frac{3}{1000}$ des Gesamtausschlages dokumentierte. Dabei war die Dicke des auswechselbaren Zwischenmediums 0,63 cm; der Unterschied der den beiden Stellungen der Bleikugeln entsprechenden Lagen des Wagebalkens im Fernrohr betrug ca. 125 Skalenteile.

Eine weitere Änderung von entscheidender Bedeutung bestand im Anbringen einer zweiten, sehr dünnwandigen Kugelschale von grösserem Durchmesser um die Aluminiumhohlkugel herum, so dass zwischen den Wandungen der beiden ein ringsherumgehender Hohlraum entstand, und der Querschnitt nunmehr folgendermassen aussah:

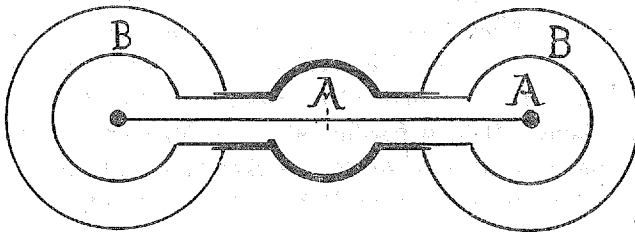


Fig. 8. In natürlicher Grösse.

A luftleerer Hohlraum; B Zwischenraum für die Flüssigkeiten.

Der Hohlraum *B* stand nun vermittelt eines Gummischlauches mit dem Arbeitstisch am Fernrohr in Verbindung und konnte von dort aus durch Heben und Senken eines Reservoirs gefüllt und wieder entleert werden, ohne dass der Beobachter seinen Platz zu verlassen brauchte. — Als Zwischenmedium musste also unter diesen Bedingungen irgend eine Flüssigkeit verwendet werden. Die Versuche sind mit *Quecksilber*, *Wasser* und *Paraffinöl* durchgeführt worden, da diese Substanzen sehr grosse Verschiedenheiten in Bezug auf spezifisches Gewicht, Dielektrizitätskonstante, Durchsichtigkeit usw. aufweisen, die alle eventuell von Einfluss auf die Gravitationskraft sein könnten. — Selbstredend musste auch hier die Zentrierung auf

das sorgfältigste durchgeführt sein, und so lange fortgesetzt werden, bis das Füllen und Leeren des Hohlraumes mit Quecksilber nicht die geringste Änderung des Nullpunktes bei Mittelstellung der äusseren Bleikugeln nach sich zog. Diese Aufgabe nahm sehr viel Zeit in Anspruch, konnte aber schliesslich als gelöst betrachtet werden. (Siehe Versuche.)

Bei der Ausführung der Versuche ist auch stets sehr sorgfältig darauf geachtet worden, dass beim Auslassen des Quecksilbers die Quecksilbersäule im Schlauch genau bis zur äusseren Hohlkugel reichte, und dass beim Wiederauffüllen der gesamte Hohlraum vom Quecksilber eingenommen wurde. — *Damit war nun die letzte Aufgabe auch praktisch gelöst; es konnte das Zwischenmedium an die Kugeln in einer solchen Form herangebracht werden, dass sein Einfluss als gravitierendes Medium gleich Null war, und es sich nur noch als Schirm für die zwischen den Kugeln wirkende Gravitationskraft geltend machen konnte.*

IV.

Ausführung der Versuche und Diskussion der gewonnenen Resultate.

Bevor wir uns nun zu den eigentlichen Versuchen wenden, muss noch eines Punktes Erwähnung getan werden, der sonst leicht zu Missverständnissen führen könnte, — ich meine *die Feinheit der Ablesungen im Fernrohr*. Das Ablesen mit der Genauigkeit von 0,1 mm auf einer in mm eingeteilten Skala gelingt natürlich schon nach kurzer Übung. Bald befriedigt aber das Markieren von 0,1 mm nicht mehr, man liest ab mit der Genauigkeit von 0,05 mm. — Aber noch mehr: bei Beobachtungen im Ruhepunkt, wie sie bei den letzten Versuchen vorgenommen wurden, schrieb ich bei aufeinanderfolgenden Ablesungen oft Differenzen von 2—3 Hundertstel auf, selbstverständlich ohne für die Richtigkeit dieser Zahlen bürgen zu können; ich brauchte sie ja übrigens bei meiner vermuteten Fehlergrenze gar nicht zu berücksichtigen, aber die Ablesung befriedigte mich mehr, wann ich die Fünfzigstel eines mm noch mitnahm, und die Resultate der letzten Versuche (namentlich mit Wasser und Paraffin) scheinen darauf hinzuweisen, dass diese subjektive Befriedigung einer gewissen objektiven Grundlage nicht entbehrte. — Bei diesen feinen Ablesungen konnte natürlich das gewöhnliche Fadenkreuz nicht mehr verwendet werden, — ein äusserst dünner vertikaler Spinnfaden ersetzte es.

Da die Konstanz des Nullpunktes, wie schon oben erwähnt wurde, von den Beleuchtungsverhältnissen abhängig war, und sich kleine

Störungen in der Nacht viel seltener einstellten als am Tage, *wurden alle Versuche bei Nacht durchgeführt*. Die Auerlampe brannte dabei entweder während des ganzen Versuches, oder sie wurde nur im Momente des Ablesens angezündet, um dann sofort wieder ausgelöscht zu werden.

Im Anfang wurden die extremen Ruhelagen des Wagebalkens, die den beiden Stellungen der Bleikugeln entsprachen, aus *Schwingungsbeobachtungen* bestimmt, indem die Formel für gedämpfte Schwingungen in der Form verwendet wurde, die ihr von Laager gegeben war: Gleichgewichtspunkt $Y = x_2 + \frac{(x_1 - x_2) \cdot (x_3 - x_2)}{(x_1 - x_2) + (x_3 - x_2)}$, wenn x_1 , x_2 und x_3 die aufeinanderfolgenden Ablesungen an Umkehrpunkten darstellen, und x_1 den höheren Skalenwerten zu liegt ($x_1 > x_3 > x_2$);

oder
$$Y = x_2 - \frac{(x_2 - x_1) \cdot (x_3 - x_2)}{(x_2 - x_1) + (x_3 - x_2)},$$

wenn $x_2 > x_3 > x_1$. Dabei ist der Nullpunkt der Skala an dem einen Ende derselben vorausgesetzt. Die Schwingungsdauer betrug ca. fünf Minuten; desgleichen die Zeit, die der Balken brauchte, um sich beim Umlegen der Bleikugeln aus der einen Extremlage in die andere zu bewegen. — Nachher sind die Schwingungsbeobachtungen *durch Ruhepunktsbeobachtungen ersetzt worden*, da sich der Ruhepunkt als von ausserordentlicher Sensibilität erwiesen hat, und eventuelle Störungen bei dieser Art der Beobachtung während des Versuches direkt wahrgenommen wurden. Die Resultate dieser Versuche zeigten denn auch durch ihre grosse Übereinstimmung, dass diese Methode eine überlegenere war. Doch habe ich auch Schwingungsversuche mit annehmbaren Resultaten durchgeführt. — Ganz allgemein soll betont werden, dass, je genauer die Versuche im Laufe der ganzen Arbeit sich gestalteten, desto kleiner auch die Änderung wurde, die das Zwischenmedium herbeiführte.

Ich will nun *alle* Versuche, die unter annehmbar günstigen Verhältnissen durchgeführt wurden, ohne eine weitere Auswahl mitteilen. — Die römischen Zahlen sollen die Aufeinanderfolge der Versuche in der Zeit bedeuten.

Es weichen die Resultate der Versuche I, II, III und IV von allen übrigen ziemlich stark ab. Eine mögliche Erklärung hiefür würde darin zu finden sein, dass nach Versuch IV zum letztenmal eine Zentrierung der äusseren Kugelschalen vorgenommen wurde und dass in der Folgezeit stets unter denselben, wie es scheint, sehr günstigen Versuchsbedingungen gearbeitet wurde.

1. Juli, 1907.

Versuch I.

Quecksilber als Zwischenmedium.
(Schwingsbeobachtungen.)

	Mit Hg:		Ohne Hg:	
I. Stellung der Blei-Kugeln:	1.*) 725,2 ₂	5. 725,3 ₂	2. 724,8 ₅	6. 724,8 ₅
	(ca. 1 ^b Nachts)	(3 ^b 10)	(1 ^b 35)	(3 ^b 33)
II. " " " "	4. 604,3 ₉	8. 603,9 ₁	3. 604,3 ₂	7. 604,3 ₃
	(2 ^b 35)	(4 ^b 20)	(2 ^b 10)	(3 ^b 55)

Man sieht, die Zentrierung ist noch sehr mangelhaft; auch ist die Übereinstimmung der Werte bei Versuchen *mit Hg* noch sehr ungenau (namentlich Wert 4 u. 8!). Wenn wir vom Wert 8 absehen, der sich von den anderen stark unterscheidet, so haben wir im *Mittel* folgende Differenz zwischen Versuchen mit und ohne Hg:

Mit Hg:	Ohne Hg:
725,2 ₇	724,8 ₅
604,3 ₉	604,3 ₃
<hr/>	<hr/>
120,8 ₈	120,5 ₂
+ 0,3 ₆	

10. Juli.

Versuch II.

Hg als Zwischenmedium.
(Schwingsbeobachtungen.)

Versuch II leidet an den gleichen Misständen.

1. Ohne Hg:	2. Mit Hg:	3. Ohne Hg:
678,3 ₀	677,4 ₈	677,0 ₇
550,4 ₉	549,7 ₁	549,9 ₈
<hr/>	<hr/>	<hr/>
127,8 ₁	127,7 ₇	127,0 ₉
- 0,0 ₄		+ 0,6 ₈

16. Juli.

Versuch III.

Hg als Zwischenmedium.
(Ruhepunktsbeobachtungen.)

Schöner Nullpunkt.

Ohne Hg:		Mit Hg:
10 ^h 25: 677,2 ₈ 1. } 677,2 ₆		677,2 ₅ { 3. 677,2 ₅ : 10 ^h 42
10 ^h 32: ,2 ₅ 2. } 677,2 ₆		4. ,2 ₅ : 11 ^h 2
12 ^h 13: 555,7 ₅ 5. } 555,7 ₉		7. 555,6 ₅ : 12 ^h 30
19: ,8 ₀ 6. } 555,7 ₉		8. ,7 ₀ : 36
48: ,8 ₃ 10. } 555,7 ₉		9. ,7 ₀ : 41
<hr/>	<hr/>	<hr/>
121,4 ₇		121,5 ₇
+ 0,1 ₀		

*) Die kleinen Zahlen bedeuten die Aufeinanderfolge der Ablesungsergebnisse in der Zeit.

17. Juli. **Versuch IV.**

Wasser als Zwischenmedium.
(Ruhepunktsbeobachtungen.)

Nullpunkt nicht so schön konstant
wie in Versuch III.

Mit H ₂ O:	Ohne H ₂ O:
677,17	677,20
555,42	555,60
121,75	121,60

+ 0,15

18. Juli. **Versuch V.**

Wasser als Zwischenmedium.
(Ruhepunktsbeobachtungen.)

Bessere Zentrierung!

Mit H ₂ O:	Ohne H ₂ O:
676,76	676,80
555,06	555,20
121,70	121,60

+ 0,10

21. Juli.

Versuch VI.¹⁾

Hg als Zwischenmedium.
(Ruhepunktsbeobachtungen.)

Sehr schöne Zentrierung!

Mit Hg:

Ohne Hg:

9 ^h 32: 667,75	}	667,75	667,79
38: ,75			

{	667,80	667,90	: 8 ^h 50
		,75	: 9 ^h 3
		,75	: 15
{	667,78	667,75	: 41
		,8	: 47

I. Stellung.

11 ^h 30: 546,70	}	546,70	546,74
38: ,70			
39: ,67			
43: ,75			

{	546,74	546,75	: 11 ^h 15
		,70	: 20
		,77	: 26
{	546,73	546,73	: 11 ^h 54
		,70	: 12 ^h 0
		,76	: 6
		,73	: 12

II. Stellung.

667,75	667,79
546,70	546,74
121,05	121,05

0,00

¹⁾ Alle Versuche sind in dieser Art ausgeführt worden, — der Kürze halber werde ich aber im Folgenden bloss die Resultate mitteilen.

16. Aug. Versuch VII.

Hg als Zwischenmedium.

(Ruhepunktsbeobachtungen.)

Mit Hg:	Ohne Hg:
672,2 ₄	672,3 ₃
551,4 ₅	551,5 ₉
<hr/> 120,7 ₉	<hr/> 120,7 ₄

+ 0,0₅

17. Aug. Versuch VIII.

Hg als Zwischenmedium.

(Ruhepunktsbeobachtungen.)

Mit Hg:	Ohne Hg:
672,2 ₆	672,3 ₀
551,3 ₃	551,4 ₆
<hr/> 120,9 ₃	<hr/> 120,8 ₆

+ 0,0₉

18. August.

Versuch IX.

Hg als Zwischenmedium.

(Ruhepunktsbeobachtungen.)

Mit Hg:

2^h 38 — 2^h 50: 672,0₁10^h — 10^h 15: 551,3₃

120,6₃

Ohne Hg:

672,2₃ { 672,2₄ : 2^h 15 — 2^h 35{ 672,2₂ : 2^h 55 — 3^h 5551,5₃ { 551,5₁ : 9^h 42 — 9^h 53{ 551,5₅ : 10^h 23 — 10^h 35

120,7₀— 0,0₂

19. Aug. Versuch X.

Hg als Zwischenmedium.

(Ruhepunktsbeobachtungen.)

Mit Hg:	Ohne Hg:
672,3 ₅	672,3 ₇
551,6 ₄	551,7 ₀
<hr/> 120,7 ₁	<hr/> 120,6 ₇

+ 0,0₄

20. Aug. Versuch XI.

Hg als Zwischenmedium.

(Schwingsbeobachtungen.)

Mit Hg:	Ohne Hg:
672,0 ₉	671,9 ₉
551,8 ₂	551,7 ₇
<hr/> 120,2 ₇	<hr/> 120,2 ₂

+ 0,0₅

21. Aug. Versuch XII.

Wasser als Zwischenmedium.

(Ruhepunktsbeobachtungen.)

Mit H ₂ O:	Ohne H ₂ O:
670,2 ₉	670,2 ₈
549,7 ₆	549,7 ₅
<hr/> 120,5 ₃	<hr/> 120,5 ₃

0,0₀

22. Aug. Versuch XIII.

Wasser als Zwischenmedium.

(Ruhepunktsbeobachtungen.)

Mit H ₂ O:	Ohne H ₂ O:
670,2 ₈	670,2 ₉
549,7 ₅	549,7 ₄
<hr/> 120,5 ₃	<hr/> 120,5 ₅

— 0,0₂

24. August.

Versuch XIV.

Paraffinöl als Zwischenmedium.

(Ruhepunktsbeobachtungen.)

Mit Paraffin:

Ohne Paraffin:

$\left. \begin{array}{l} 9^h 38: 548,7_8 \\ 43: \quad ,7_5 \\ 48: \quad ,7_5 \end{array} \right\} 548,7_4$	$\left. \begin{array}{l} 548,7_4 \\ \\ 548,7_4 \end{array} \right\} 548,7_4$	$\left. \begin{array}{l} 548,7_8 : 9^h 17 \\ \quad ,7_4 : 22 \\ \quad ,7_5 : 27 \end{array} \right\}$
$\left. \begin{array}{l} 11^h 34: 669,2_7 \\ 39: \quad ,2_9 \\ 44: \quad ,2_8 \end{array} \right\} 669,2_8$	$\left. \begin{array}{l} 669,2_8 \\ \\ 669,2_8 \end{array} \right\} 669,2_8$	$\left. \begin{array}{l} 548,7_4 : 9^h 56 \\ \quad ,7_4 : 10^h 1 \\ 669,2_6 : 11^h 13 \\ \quad ,2_7 : 18 \\ \quad ,2_9 : 24 \end{array} \right\}$
$\left. \begin{array}{l} 12^h 14: 669,2_7 \\ 20: \quad ,2_8 \end{array} \right\} 669,2_7$	$\left. \begin{array}{l} 669,2_8 \\ \\ 669,2_8 \end{array} \right\} 669,2_8$	$\left. \begin{array}{l} 669,2_6 : 11^h 53 \\ \quad ,2_9 : 58 \\ \quad ,2_8 : 12^h 4 \end{array} \right\}$
$\frac{669,2_8}{548,7_4}$	$\frac{669,2_8}{548,7_4}$	
$120,5_4$	$120,5_4$	
$\searrow \quad \swarrow$		
$0,0_0$		

Wenn wir die grosse Übereinstimmung der letzten Versuche berücksichtigen und weiter den Umstand, dass gerade diese Versuche in sich selbst die grösste Genauigkeit aufweisen, so dürfen wir mit Recht behaupten, dass das Einführen einer 6,3 mm dicken Schicht Quecksilber, Wasser oder Paraffinöl als Zwischenmedium die Grösse der Ablenkung um höchstens $\frac{1}{1200}$ zu modifizieren imstande ist. — Sehen wir von Versuch I, II, III und VIII ganz ab, so können wir die Grenze des möglichen Einflusses auch schon für Quecksilber auf $\frac{1}{2400}$ der Gesamtablenkung reduzieren. — Mit noch grösserer Wahrscheinlichkeit können wir die Modifikation der Ablenkung auf viel weniger als $\frac{1}{1200}$ bei Wasser als Zwischenmedium ansetzen, da die Versuche XII und XIII den beiden ersten (IV und V) an Genauigkeit weit überlegen sind und eine ganz merkwürdige Übereinstimmung der Resultate unter einander aufweisen. Diese Betrachtung wird noch sehr wesentlich gefestigt durch die überaus eklatante Übereinstimmung zwischen diesen Versuchen und dem letzten Versuch mit Paraffinöl, — man vergegenwärtige sich nochmals die Resultate:

Versuch:

Mit Wasser: $\left\{ \begin{array}{l} 120,5_3 \text{ ————— XII ————— } 120,5_3 \\ 120,5_3 \text{ ————— XIII ————— } 120,5_3 \end{array} \right\}$: Ohne Wasser
 Mit Paraffinöl: $120,5_4 \text{ ————— XIV ————— } 120,5_4$: Ohne Paraffinöl.

An eine Beeinflussung des Beobachters durch die Wünschbarkeit übereinstimmender Resultate beim Ablesen kann dabei nicht gedacht werden, da die Versuche nie am gleichen Tage ausgeführt wurden, die genauen Zahlen des vorhergehenden Versuches also nicht mehr deutlich in der Erinnerung vorhanden waren; sie wurden auch mit Absicht nie vor Abschluss des Versuches wieder nachgeschlagen.

Nach diesen Ergebnissen glaubte ich meine experimentelle Arbeit abschliessen zu dürfen, da eine grössere Genauigkeit unter Anwendung der gleichen Versuchsmethode nicht mehr zu erzielen war und eine weitere Häufung der Versuche mir nicht mehr notwendig erschien. — Die Genauigkeit würde sich allerdings noch wesentlich steigern lassen durch einen *Umbau des Apparates*; indem man etwa nach dem Vorgange von Austin und Thwing die beiden Hebelarme des Wagebalkens durch ein längeres vertikales Verbindungsstück auseinanderziehen würde, so dass der Wagebalken ungefähr die Form eines **Z** bekäme, und jede Bleikugel nur noch auf die ihr zukommende Silberkugel einwirken könnte. Ferner könnte auch die Länge des Balkens, da die Schwingungsdauer bei Ruhepunktsbeobachtungen ohne Einfluss ist, um mehr als das Doppelte vergrössert und dadurch ein längerer Hebelarm für den Angriff der Kraft geschaffen werden. Doch würde sich durch alle diese Abänderungen die Feinheit der Messungen *kaum ihrer Ordnung nach* steigern lassen.

Man wäre nun vielleicht dazu geneigt, die Bedeutung der Resultate durch den Umstand stark beeinträchtigt zu sehen, dass die — allerdings sehr dünne — Wandung von 2 Metallhohlkugeln als Zwischenmedium stets vorhanden war, und die Modifikation des Versuches immer nur in einem Addieren von weiteren Zwischenmedien bestand: wäre nun die Wirkungsweise der Gravitation von der gleichen Beschaffenheit wie die der Elektrizität oder des Magnetismus, so würde sich unter dieser Bedingung der Einfluss des noch hinzutretenden Zwischenmediums gar nicht mehr geltend machen können, was aber keineswegs einen Beweis für gleiches Leitungsvermögen sämtlicher Medien abgeben würde! — Gewiss wären Versuche bei völliger Abwesenheit jeglicher wägbaren Substanz als Zwischenmedium zum Vergleiche mit andern Versuchen sehr erwünscht; sie müssten aber unter ganz andren Bedingungen mit eigens hiefür eingerichteten Apparaten durchgeführt werden. Was ferner den Vergleich mit dem

Verhalten der Elektrizität oder des Magnetismus unter ähnlichen Umständen betrifft, so scheinen gerade diese Versuche eine nähere Beziehung zwischen diesen beiden Kräften und der Gravitation in Abrede zu stellen, denn bei analogem Verhalten der letzteren dürfte sich *überhaupt keine Ablenkung des Wagebalkens, der von einem leitenden System völlig umschlossen ist, ergeben.*

Die Resultate der vorliegenden Arbeit sind negativer Art: *Der Ausschlag bleibt beim Einführen eines 0,63 cm dicken Zwischenmediums mit einer Genauigkeit von $\frac{1}{1200}$ gemessen — unverändert.* — Ein derartig negatives Ergebnis kann natürlich nie abschliessender Natur sein: denn was garantiert uns, dass der Einfluss des Zwischenmediums nicht *unter* dieser Grenze liegt und doch stets vorhanden ist? Allerdings ist er von viel höherer Ordnung bei anderen physikalischen Kräften, — bei der Sonderstellung aber, die die Gravitation ihnen gegenüber sowieso annimmt, braucht das absolut nicht auch bei ihr der Fall zu sein.

Ein derartig negatives Resultat kann zwar auch von einer gewissen praktischen Bedeutung sein, so z. B. für die Berechnung der Planetenmassen, — *sein Hauptgewicht aber liegt auf dem Gebiete der Vergleichen verschiedener Kräfte unter einander: die Wesensgleichheit anscheinend ganz verschiedener Kräfte, wie sie sich bei vielen anderen Kräften ergeben hat, lässt sich in Bezug auf die Gravitation keiner der sonst bekannten Kräfte gegenüber behaupten, und zu den übrigen Eigentümlichkeiten ihrer Wirkungsweise müssen wir, so lange uns durch noch feinere Versuche nicht das Gegenteil bewiesen werden kann, auch ihre Unabhängigkeit vom Zwischenmedium rechnen.*
