

I. Die Apparate.

§ 2.

Das Bohnenberger'sche Maschinchen Fig. 1. besteht in seiner gewöhnlichen Einrichtung aus einem Sphäroid, (auch wohl aus einer messingnen, kreisförmigen Scheibe mit aufgeworfenem Rande oder besser noch aus einem Ringe aus Schmiedeeisen mit eingetriebener, dünner Scheibe) welches um seine Axe ii leicht beweglich und mittelst dreier Ringe J, M, A so aufgehängt ist, dass die Mittelpunkte der Ringe und zugleich der Mittelpunkt des Sphäroids genau zusammenfallen, und der Durchmesser mm , um welchen der die Axe desselben ii tragende innere Ring J in dem mittlern M drehbar ist, gegen diese Axe rechtwinklig, und der Durchmesser aa , um welchen der mittlere Ring M im äussern A drehbar ist, ebenfalls rechtwinklig gegen mm ist. Die leichte Beweglichkeit der Ringe um ihre Drehaxen wird durch stählerne Schraubchen bewirkt. Der äussere Ring ist in der Regel in einem festen Fuss F eingeschraubt, welcher das Instrument trägt. In dem innern Ring J lässt sich in der Richtung der Rotationsaxe ein kleines Gewicht G mit zweien Stiften, welche in entsprechende Löcher desselben passen, erforderlichen Falles aufsetzen. Am Ende der stählernen Axe des Sphäroids ist ein kleiner Stift angebracht, in welchen die Schlinge eines starken Seidenfadens eingehangen werden kann, um ihn auf die Axe oder eine kleine, auf derselben angebrachte Rolle aufzuwickeln. Durch einen kräftigen, möglichst gleichmässigen, gegen das Ende nicht abnehmenden Zug wird er, während man den innern Ring mit der einen Hand in seiner Lage festhält, mit der andern von der Axe abgewickelt und so das Sphäroid in eine rasche, eine geraume Zeit andauernde Rotation versetzt.

Eine für andere Versuche, als die sind, welche wir hier betrachten werden, zweckmässige Abänderung ist dem Apparate von Professor Poggendorf*) gegeben worden und besteht darin, dass der dritte äussere Ring A in einem vierten, mit ihm in einer Ebene liegenden Ringe sich so befestigen lässt,

*) Poggendorffs Annalen, Bd. X., S. 351.

dass die Drehaxe des erstern mit der verticalen Drehaxe des letztern jeden beliebigen Winkel bilden, die Verlängerung der letztern Drehaxe aber in eine Centrifugalmaschine eingesetzt werden kann. Es sei hier gelegentlich nur bemerkt, dass wenn man nicht, wie bei dieser Vorrichtung, eine Drehung des Apparates um eine Verticalaxe will, welche durch den Mittelpunkt der Ringe geht, sondern um eine, welche dieser parallel ist, man sich mit Vorthail der stählernen Drehaxe mit der Gabel in dem später zu beschreibenden Fessel'schen Apparate bedienen kann, indem man nur durch die kreisförmige Hülse derselben eine eiserne Stange zu stecken braucht, welche an dem einen Arm ein verschiebbares Gegengewicht, am andern eine festschraubbare Zwinge mit einem aus zwei Bogenstücken bestehenden Ansatz nach Unten trägt, zwischen welche der dritte Ring des Bohnenberger'schen Maschinchens, nachdem man das Ganze von dem Fusse abgeschraubt, unter jedem Winkel seiner Axe gegen die Verticale festgeschraubt werden kann.

2. Bei dem Fessel'schen Apparate ist der Rotationskörper gewöhnlich eine messingne, runde Scheibe mit starkem Rande; durch ihre Mitte geht eine stählerne Axe, welche in einem messingnen Ringe leicht drehbar ist. Ursprünglich war dieser Ring unmittelbar mittelst eines Scharniers, um welches der Ring in vertikaler Ebene drehbar ist, mit einem Stahlstifte verbunden, welcher sich mit möglichst geringer Reibung in einer vertikalen messingnen Säule mit gehörig festem, eisernem Fusse um die Verticale drehen kann. Wird ein kleiner Schieber, der sich zur Seite des Stahlstiftes befindet, vorgeschoben, so wird die Axe durch denselben getragen und zu sinken verhindert. Eine spätere, zweckmässigere Einrichtung ist die Fig. 2 abgebildete. In jenen Ring R ist eine lange, runde Stange S fest eingelassen, welche sich durch eine kleine Hülse h hindurch stecken und mittelst einer Schraube in derselben feststellen lässt. Die Hülse ist zwischen den Armen einer messingnen Gabel g, welche am Ausgangspunkt der Arme einen langen unten zugespitzten Stift J trägt, in vertikaler Ebene leicht drehbar. Der Stift dreht sich wieder in der verticalen, messingnen Säule eines eisernen Ständers F mit möglichst geringer Reibung. Durch Verschiebung der Stange in der Hülse und Gewichte, welche sich auf ihr in verschiedenen Entfernungen vom Drehpunkte aufschrauben lassen, lässt sich theils auf beiden Seiten das Gleichgewicht, theils ein Druck auf die Axe hervorbringen, durch welchen die Scheibe gesenkt oder gehoben wird. Das Gegengewicht besteht aus einem soliden, mittelst einer gabel-

förmigen Vorrichtung anhängbaren Cylinder Z, zwischen welcher sich eine in beliebiger Entfernung vom Drehpunkte auf die Stange aufschraubbare, cylindrische Hülse befindet; auf den Cylinder kann man mit einem Einschnitte versehene Metallscheiben aufschieben.

Eine von Prof. Plücker ebenfalls veranlasste Abänderung des letztern Apparates, welche indessen in England einem Andern zugeschrieben zu werden scheint,*) besteht darin, dass durch den Ring mit der Tragstange senkrecht auf der Richtung derselben die Drehaxe eines zweiten innern Ringes geht, welche zugleich senkrecht auf der Axe des von diesem Ringe getragenen Rotationskörpers ist. Diese Drehaxe des innern Ringes wird nun einerseits bestimmt durch die Spitze eines, durch den äussern Ring hindurchgehenden, in den innern hineinreichenden Schraubchens, andererseits ebenfalls durch eine Schraube, welche zwei concentrische Abschnitte von Kugelschalen gegeneinander presst, von denen der grössere eine Eintheilung trägt und an dem Ringe befestigt ist, der andere eine Marke hat, so dass der innere Ring unter jedem Winkel gegen den äussern festgestellt werden kann; nur wenn dieser Winkel Null ist, fällt die Rotationsaxe der Scheibe in die Richtung der Tragstange des äussern Ringes.

3. Ein Apparat, den ich durch H. Fessel grössten Theils habe ausführen lassen, um zugleich als Bohnenberger'scher und für weitere Zwecke zu dienen, ist in Fig. 3 dargestellt.

In den innern Ring J sind diametral gegenüber zwei Schraubenmütterchen von Stahl eingesetzt, in welche sich zwei stählerne Schrauben mit Spitzen umdrehen lassen, deren jede ein in der Nähe ihrer Spitze feststehendes, k, und ein durch Drehung nach der einen oder andern Seite versetzbares Schraubköpfchen, k', trägt; durch Andrehen des letzteren an den Ring wird die Schraube, wenn man sie mehr oder weniger mittelst des festen Schraubköpfchens in den Ring hineingeschraubt hat, im Ringe festgehalten. Man kann so mit Leichtigkeit den Schwerpunkt des Rotationskörpers R, dessen stählerne Axe von jenem Ringe getragen wird und den Spitzen der Schrauben entsprechende, kleine Vertiefungen hat, genau in den Mittelpunkt des Ringes einstellen, erforderlichen Falles mit Hülfe der beiden Schrauben um mehr als eine Linie weit aus demselben herausrücken, und ihn mit anderen Rotationskörpern bequem vertauschen. Durch den äussern, mit der Tragstange versehenen Ring A, geht dieser Stange gegenüber eine Schraube mit einem

*) Siehe den oben angeführten Bericht von Baden-Powell.

festen Köpfchen *f* nach Aussen, deren Spitze sich in die Oeffnung eines der in den innern Ring eingesetzten Schraubenmütterchen einsenken lässt, damit man den letztern, welcher sich um die Spitzen zweier Schrauben, *d*, *d*¹, die durch den äussern Ring in der Richtung eines auf der Stange senkrechten Durchmessers hindurchgehen, leicht drehen lässt, in der Ebene des äussern Ringes feststellen kann. Zwischen den parallelen Armen der Gabel *G*, in welche sich die in die messingene Säule des Ständers *F* passende, unten zugespitzte stählerne Verticalaxe endigt, ist auf den Spitzen zweier, durch dieselben hindurchgehender Schrauben eine etwa zwei Linien dicke, messingene Kreisscheibe *K* um ihren Mittelpunkt leicht drehbar, welche in der Richtung eines Durchmessers zur Aufnahme der Tragstange *T* des äussern Ringes durchbohrt ist und auf der einen Kreishälfte eine von der Mitte derselben nach beiden Seiten zu jenem Durchmesser hin sich erstreckende Theilung von 5 zu 5 bis 90 Grad hat, auf der andern, unteren, aber entsprechend gezahnt ist. Bequem ist es, die Theilung auf beiden Seiten der Kreisscheibe anbringen zu lassen. Die beiden verticalen Arme der Gabel tragen nach oben hin Zeiger *i*, welche wenn der mit der Durchbohrung der Kreishülse parallele Durchmesser horizontal ist, auf den Nullpunkt der Theilung zeigen. In der Richtung des durch den Nullpunkt gehenden Durchmessers dringt in die Kreishülse eine lange stählerne Schraube hinein, um die Stange in derselben festsetzen zu können. Auf ihr befindet sich zunächst der Kreisscheibe, etwa in der Mitte der ganzen Schraube ein festsitzendes Schraubenköpfchen *a*, und oben, auf der Verlängerung nach Aussen, eine kleine messingene Scheibe *b*, welche in verschiedenen Entfernungen vom Ende aufschraubbar ist und die Bestimmung hat, durch ihre Versetzung den Schwerpunkt des beweglichen Theils des Apparates zu heben oder zu erniedrigen, um ihn möglichst genau für den Fall des Gleichgewichtes in den Drehpunkt zu bringen. Zwei flache, metallne Bogenstücke, auf beiden Seiten auf die Kreishülse der Schraube gegenüber aufgeschraubt, dienen dazu, um den durch die Verzahnung an der unteren Hälfte hervorgebrachten Gewichtsverlust zu ersetzen und dem Gewicht der Schraube bei verschiedenen Lagen gegen die Verticale das Gleichgewicht zu halten. Durch richtige Stellung der versetzbaren, kleinen Scheibe erreicht man es, dass auch bei sehr abweichenden Neigungen der Stange gegen die Verticale das Gleichgewicht fort dauert. Als Gegengewicht gegen den Rotationskörper und die Ringe bediene ich mich eines messingnen in der Richtung seiner

Axe durchbohrten Cylinders, P, welcher sich auf der runden Tragstange mittelst eines Schraubchens, — als Gegengewicht steht ihm ein anderes gegenüber — in verschiedenen Entfernungen vom Drehpunkt feststellen lässt und vor dem oben beschriebenen den Vorzug hat, dass sein Schwerpunkt auf der Stange liegt, während durch dieses der Schwerpunkt des beweglichen Theiles unter die durch den Drehpunkt gehende Horizontale fällt und bei verschiedenen Neigungen der Stange bald auf die eine, bald auf die andere Seite der Verticalen rückt. In einer der Endflächen des Cylinders ist gegen den Rand hin ein gekrümmter Stift um Metallringe von kleinerm Durchmesser und sonstige ringförmige Uebergewichte bequem einzuhängen.

Zur Hervorbringung eines periodisch veränderlichen Gegendruckes dient ein Pendel, dessen Pendelstange in einen messingnen Ring eingelassen ist, durch welchen diametral gegenüber zwei stählerne Schraubchen senkrecht zur Richtung der Stange gehen. Eine auf der Tragstange feststellbare, cylindrische Hülse nimmt in zweien kleinen Vertiefungen die Spitzen jener Schrauben auf; in der verlängerten Richtung der Stange ist im Ringe eine Schraube befestigt, um auf derselben ein Gegengewicht aufschrauben zu können, ähnlich wie bei dem Metronom. Fig. 4 zeigt das Pendel mit der Hülse.

In den beiden Armen der Gabel G sind am untern Ende zwei mit der Ebene derselben parallele Einschnitte, durch welche ein messingnes, nach oben zugeschärftes Plättchen e geht, welches an beiden Enden aus der Gabel hervorragt und sich um ein Stifchen in dem einen Arm dreht; je nachdem man auf das eine oder andere Ende abwärts drückt, greift das Plättchen in einen Zahn der Kreishülse ein, und fixirt dadurch die Stange in ihrem Winkel gegen die Verticalen, oder fällt aus und lässt ihr wieder freie Beweglichkeit in der Vertical-Ebene. Um bei starken Erschütterungen des Apparats das Ausfallen des Plättchens aus dem Zahne zu verhindern, hängt man in einen Einschnitt des Plättchens an dem Ende, wo der Drehstift ist, ein Gewicht ein. — Noch ist an der Gabel in der Mitte des Zwischenstückes zwischen den beiden Armen senkrecht gegen dasselbe ein durchgehender horizontaler Stift, z, angebracht, der, wenn die stählerne Tragstange der Gabel in der messingnen Säule des Ständers F steht, unmittelbar sich über einer auf dem obern Ende der Säule angebrachten, ähnlich wie die Kreishülse, eingetheilten Metallplatte H als Zeiger bewegt. Eine durch die Säule hindurchgehende Schraube v dient dazu, die Verticalaxe der Gabel erforderlichen Falles festzustellen; bei ge-

löster Schraube kann man durch einen Druck auf das Blättchen in der Gabel die Bewegung um die Verticale beschleunigen oder verlangsamen.

Soll die Ebene des innern Ringes nicht mit der des äussern zusammenfallen, so löst man die Schraube *f*. Um ihn nun unter einem andern Winkel gegen jenen festzustellen, dient eine kleine messingne, eingetheilte Scheibe *p*, Fig. 5, welche nach der einen Seite zwei Stahlstifte trägt, die in Löcher, welche in gleichen Abständen von *d* im äussern Ringe *A* sich befinden, passen, nach der andern in ihrer Mitte eine Schraube hat. Ein schmales Metallplättchen *q* hat ebenfalls nahe an seinen Enden zwei etwas längere Stahlstifte, die in entsprechende Löcher des innern Ringes *J*, zu beiden Seiten des Drehpunktes *d* passen, in der Mitte eine Oeffnung, etwas weiter als den Durchschnitt jener Schraube, und der Länge nach gegen beide Enden eine Durchbrechung. Setzt man die Kreisscheibe mit ihren Spitzen in die beiden Löcher des äussern Ringes, dreht den innern Ring um $d d'$ in die Lage, die er erhalten soll und schiebt das Plättchen mit seiner Oeffnung durch die Schraube der Scheibe, so dass seine Spitzen in den innern Ring eingreifen, so kann man mittelst eines einschraubbaren Schraubenkopfes *t* das Plättchen und dadurch den innern Ring in seiner Lage festsetzen, und die Durchbrechung des Plättchens gestattet, den Winkel, unter welchem dieser gegen den äussern steht, abzulesen. Beim Abziehen der Schnur muss man den innern Ring allerdings festhalten, dann aber reicht die obige Vorrichtung hin, ihn in seiner Stellung gegen den äussern zu erhalten.

Der Apparat verwandelt sich sofort in den Bohnenberger'schen, wenn man in die Säule des Ständers *F* die unten conisch zugespitzte Tragstange *T* des äussern Ringes einsetzt, welche ebenfalls genau in die verticale Durchbohrung der Säule passt. Figur 6 zeigt den Apparat bei dieser Anordnung.

Als Rotationskörper dienen für die gewöhnlichen Versuche eine dünne Scheibe mit starkem (wulstigem) Rande und die später in Betracht zu ziehenden Körper. Die stählernen Rotationsaxen derselben dürfen nur die eben erforderliche Stärke haben, überhaupt sollte das Gewicht des übrigen beweglichen Theiles des Apparates ausser dem Rotationskörper möglichst verringert sein. Es ist zweckmässig, den Apparat bei den Versuchen auf eine weiche Unterlage, etwa ein zusammengefaltetes Taschentuch, zu setzen, um den Einfluss von Stössen möglichst zu verhindern.

4. Das von Prof. Magnus construirte und so benannte Polytrop unterscheidet sich von der Fessel'schen zweiten Einrichtung im Wesentlichen nur dadurch, dass an beiden Enden der Tragstange sich ringförmige Bügel mit Scheiben befinden, deren Rotationsaxen ebenfalls bei beiden in der Richtung der Stange liegen und mit Stiften versehen sind, um in dieselben die Schlingen zweier gleichlanger Schnüre einhängen zu können, deren andere Enden sich an einem hölzernen Griffe befestigen lassen. Je nachdem die Schnüre beide in demselben oder in entgegengesetztem Sinne aufgewickelt sind, kann man die vollkommen gleichen Scheiben entweder in gleichem oder entgegengesetztem Sinne rotiren lassen, auch mittelst des Griffes den Zug so einrichten, dass die Geschwindigkeit beider wenigstens nahezu gleich wird. An der Hülse, in welcher die Stange sich verschieben und festklemmen lässt, ist unten ein halbkreisförmiges messingnes Stück befestigt, gegen welches sich durch eine in die Gabel eingelassene Schraube ein Messingstück andrücken lässt, um die Stange unter jedem Winkel gegen die Verticale erforderlichen Falles zu fixiren oder bei Lösung derselben ihre Bewegung in der Vertical-Ebene frei zu lassen, was indessen bei den Apparaten, die wir gesehen, sich nicht bewerkstelligen liess, ohne der Gabel eine Seitenbewegung zu ertheilen. Es bildet bei diesem Apparate also der eine Theil der Tragstange mit seiner Scheibe ein Gegengewicht gegen den andern, und hält diesem das Gleichgewicht oder nicht, je nachdem die Stange in ihrer Mitte in der Hülse eingeklemmt ist oder nicht; zugleich trägt sie zu beiden Seiten des Drehpunktes Bügel, in welche sich Gewichte zur Herstellung des Gleichgewichtes oder Hervorbringung eines Uebergewichtes nach einer Seite einhängen lassen, welches indessen den bei dem Fessel'schen Gegengewichte bereits bemerkten Uebelstand hat.