ANNALEN DER PHYSIK.

JAHRGANG 1803, FÜNFTES STÜCK.

I.

EINFACHE EINRICHTUNG

der Atwoodischen Fallmaschine nebst Geräthſchaft zu Verſuchen über das Pendel,

von

ERNST GOTTFR. FISCHER,

Mitglied der Akademie der Wiſſenſchaften und
Profeſſor am Berliniſch - Könl. Gymnaſium.

Man hat für den Vortrag der mechanischen Naturlehre vielerlei Geräthſchaften erſonnen, welche mehr zur Erläuterung und Verſinnlichung vorgetragener Sätze, als zur Begründung derſelben, oder zu eigentlichen Unterſuchungen über Naturgeſetze dienen. Werkzeuge dieſer Art haben für den Unterricht ihren Werth, wenn ſie ihrem Zwecke gemäß und nicht zu koſtbar ſind.

Die Atwoodiſche Fallmaſchine iſt für ihren Zweck, die Geſetze des Falles ſchwerer Körper anſchaulich zu machen, in der That ſehr ſinnreich und

Annal. d. Phyſik. B. 14. St. 1. J. 1805. St. 5. A

gut ausgedacht, aber sie ist für ihren Nutzen viel zu kostbar.

Dies hat mich veranlaßt, auf Vereinfachung derselben zu denken, und es ist mir gelungen, diesen Zweck nicht nur in so fern zu erreichen, daß das Instrument jetzt für 20 bis 30, (statt 80 bis 100 Rthlr.,) verfertigt werden kann, sondern der Augenschein kann jeden, der die Vergleichung machen will, überzeugen, daß man mit meiner Maschine bequemer als mit der gewöhnlichen experimentirt, ohne an der Präcision der Experimente das geringste zu verlieren.

Da ich nicht voraussetzen kann, daß jedem meiner Leser das Instrument und dessen Mechanismus genau bekannt sind, so will ich zuerst die Idee, die bei dem Instrumente zum Grunde liegt, dann meine Einrichtung des Mechanismus, und die Abweichungen von der gewöhnlichen Einrichtung beschreiben.

Idee des Instruments. Da der freie Fall eines schweren Körpers viel zu schnell geschieht, als daß man bei ihm die Gesetze dieser Bewegung unmittelbar wahrnehmen könnte, so bediente man sich seit Galiläi, um diese Gesetze des Falles oder vielmehr der gleichförmig beschleunigten Bewegung überhaupt anschaulich zu machen, einer viele Fufs langen, und unter einem kleinen Winkel geneigten ebenen Fläche, auf welcher Kugeln nach den Gesetzen der gleichförmig beschleunigten Bewegung mit hinlänglicher Langsamkeit herabrollen, um alle

Umstände der Bewegung wahrnehmen zu können. So einfach diese Idee ist, so schwer ist es, die Vorrichtung auszuführen, und mit Präcision zu experimentiren, weil das Holz, woraus man allein die schiefe Fläche verfertigen kann, unvermeidlich dem Werfen unterworfen ist. Atwood hat statt dessen folgende Idee substituirt. Um eine äußerst bewegliche Rolle ist eine Schnur geschlagen, an deren beiden Enden Gewichte hängen. Sind diese Gewichte gleich, so steht alles still; wird aber auf der einen Seite ein Uebergewicht aufgelegt, so sinkt das Gewicht auf dieser Seite; und daß diese Bewegung, mit einer für die Sinne hinlänglichen Genauigkeit, eine gleichförmig beschleunigte seyn müsse, ist nicht schwer einzusehen. Man nehme an, daß die ganze bewegte Masse, (d. h., die anhängenden Gewichte nebst der Masse der Rolle *) und Schour zusammen,) 9000 Gran betrage, und daß das auf der einen Seite aufgelegte Uebergewicht

*) Genau genommen darf für die *Masse* der Rolle nicht ihr *Gewicht* genommen werden. Denn da nicht alle Punkte der Rolle mit gleicher Geschwindigkeit umlaufen, so muß die ganze Masse, vermittelst der Theorie von dem Momente der Trägheit, auf den Schnurlauf reducirt, und die so reducirte Masse, die hier etwas geringer als das Gewicht ausfällt, in Rechnung gebracht werden. Diese Berechnung ist in der That nicht leicht, weil sie eine äußerst genaue Abmessung der Größe und des specifischen Gewichts aller Theile

48 Gran betrage; so müssen diese 48 Gran, deren Gewicht beim freien Falle bloß sich selbst in Bewegung zu setzen hat, hier eine $187\frac{1}{2}$ mahl grössere Masse bewegen, daher wird das Gewicht $187\frac{1}{2}$ mahl langsamer als bei dem freien Falle sinken. Legt daher ein frei fallender Körper in der ersten Sekunde $15\frac{1}{8}$ Fufs, d. i., $187\frac{1}{2}$ Zoll zurück, so wird das gedachte Uebergewicht hier nur einen Zoll in der ersten Sekunde zurücklegen, welches langsam genug ist, um alle Umstände der Bewegung hinlänglich genau wahrzunehmen.

Nach dieser allgemeinen Darstellung der Idee des Instruments komme ich auf die umständlichere Beschreibung derjenigen Maschine, die ich für die ansehnliche Instrumentensammlung unsers Gymnasiums durch den rühmlichst bekannten Mechanicus Herrn Elkner den ältern habe verfertigen lassen.

Das Gestell, (Taf. I, Fig. 1, 2.) In der Mitte eines dreieckigen hölzernen Fufsbrettes *AB*, das auf zwei Ecken mit Stellschrauben *C* und *D*, auf der dritten vordern Seite *E* aber bloß mit einem runden Unterfatze versehen ist, erhebt sich eine hölzerne Säule *FG*, 70 Zoll hoch, $2\frac{1}{2}$ Zoll breit und über $1\frac{1}{2}$ Zoll dick; auf deren vorderer Seite sich eine in

voraussetzt. Indessen werde ich weiter unten zeigen, daß diese Rechnung für den gewöhnlichen Gebrauch des Instruments ohne Nachtheil bei Seite gesetzt werden kann. F.

Zoll und Zehntel getheilte Scale *HF* von 64 Zoll befindet, so daß also über die Scale noch 6 Zoll ohne Eintheilung überstehen. Die Zolle werden von oben nach unten gezählt. Oben ist diese Säule von der einen Seite, (wie Fig. 1 zeigt,) eingeschnitten, und auf der Seite dieses Ein- oder Abchnittes ist ein, (bei I durch punktirte Linien angedeutetes,) Loch senkrecht heruntergebohrt. Von vorn nach hinten aber ist ein Stück Messing, (das bei I Fig. 2 durch punktirte Linien angedeutet ist,) durchgelegt, so daß das gedachte Loch durch dieses Stück Messing hindurchgeht. Dieses Loch hat, so weit das Messing geht, Schraubengänge, zu einem sogleich anzuzeigenden Gebrauche.

Die Rolle, (Fig. 3, 4, 5, 6.) Der wesentliche Theil des Instruments ist eine messingene äußerst genau centrirte Rolle *K*, welche Fig. 5, nebst ihrem Gestelle, von vorn, Fig. 4 von der linken Seite zeigt. Fig. 5 und 6 stellen das Gestell der Rolle von unten vor. Die Rolle dreht sich um eine stählerne, an beiden Enden zugespitzte Achse *ab*, Fig. 4, deren Spitzen sich in regeiförmigen Vertiefungen in den beiden messingenen Ständern *c* und *d* bewegen. Doch befindet sich eine der beiden Vertiefungen nicht unmittelbar in dem Ständer, sondern in einer durch den Ständer gehenden Schraube, um die Rolle einsetzen und dann so stellen zu können, daß sie weder geklemmt wird noch schlottert. Diese Ständer sind auf dem Brettchen *LM* befestigt, durch welches bei *N*, Fig. 4, eine Pressschraube

geht, durch die es auf der Säule in dem bei *I*, Fig. 1, befindlichen Loche angeschraubt werden kann. Die Rolle hat einen Durchmesser von 3 Zoll, und in der Peripherie einen keilförmig eingeschnittenen Schnurlauf. Die Breite des Brettchens *ef*, Fig. 5 und 6, ist um etwas kaum merkliches kleiner als der Durchmesser des Schnurlaufs, so daß, wenn eine Schnur mit Gewichten an beiden Enden über die Rolle gelegt wird, die Schnur dicht an dem Brettchen herunterhängt, doch ohne es zu berühren.

Aus Gründen, die in der Folge angeführt werden sollen, ist es rathsam, die Rolle durchbrochen zu arbeiten, und die Achse so dünn, als es die Festigkeit erlaubt, zu machen, damit sich der größte Theil der Masse in der Nähe des Schnurlaufs befindet.

Die Hemmung, (Fig. 3, 4, 5, 6.) Wenn an der über die Rolle gelegten Schnur ungleiche Gewichte hängen, und das schwerere sinkt, so muß man in jedem Augenblicke die Bewegung hemmen können. Hierzu dient ein einarmiger Hebel von Messing oder Holz *gh*, Fig. 5 und 6, (der Fig. 3 bei *h* bloß von vorne, und Fig. 4 bei *Mh* zum Theil von der Seite zu sehen ist.) Dieser Hebel ist um den Punkt *g* beweglich, und ragt bei *h* einige Zoll über das Brettchen hervor; übrigens ist er so eingerichtet, daß er sich nur um wenige Grade öffnen kann, was zwar nicht nothwendig, aber bequem, und auf mehr als Eine Art leicht zu erhalten

ist. Die Flächen des Hebels und des Brettchens sind da, wo sie an einander anliegen, mit Leder oder feinem Tuche überzogen, damit die Schnur desto sicherer geklemmt werde. Sobald aber der Hebel geöffnet ist, muß die Schnur ganz frei hängen, aber dicht am Brettchen hinfstreichen. Bei dieser Einrichtung kann die Bewegung des sinkenden Gewichts augenblicklich durch einen kleinen Schlag mit dem Finger auf das Ende des Hebels gehemmt und, sobald man will, hergestellt werden.

Bei einigen Versuchen läßt man dasjenige Gewicht, welches mitten vor der Säule hängt, und welches allezeit das sinkende ist, bis auf das Fußbrett *AB*, (Fig. 1 und 2,) herabsinken; bei andern soll es nur bis zu einer bestimmten Tiefe, (z. B. 16 oder 25 Zoll,) sinken. Hierzu sind *Unterlagen* nöthig, die man an jeder Stelle der Säule befestigen kann. Eine dieser Unterlagen ist Fig. 2 bei *u*, *x*, *y* abgebildet. *uu* ist eine Platte von Messing, so lang und breit, als vorn die Säule breit ist, (*FF*, Fig. 1.) Von *u* bis *v* ist sie rechtwinklig umgebogen. An dieser Umbiegung ist in der Mitte ein anderes Stück Messing *w* befestigt, welches sich an die rechte Seite der Säule anschmiegt, und hinten bei *xy* von neuem umgebogen ist, so daß das Stück *xy* an der Rückseite der Säule anliegt. *xy* ist federhart geschlagen und an beiden Enden ein wenig gegen die Säule gebogen; daher klemmt es sich scharf an dieselbe an, und hält die ganze Unterlage, wo sie stehen soll, fest.

Solcher Unterlagen muß man drei haben: 1. Die erste ist ganz, wie wir sie eben beschrieben haben; sie heist *die undurchbrochne Unterlage*. 2. Die zweite ist eben so, nur ist in der Platte ein rundes Loch von $2\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser geschnitten; die 14te Figur stellt eine solche *durchbrochne Unterlage* von oben gesehen vor, in Ansehung deren nur noch zu bemerken ist, daß das Centrum des Lochs von der Säule gerade so weit entfernt seyn muß, als der Schnurlauf der Rolle von der Säule absteht. 3. Die dritte ist völlig wie die erste, nur fehlt die zum Anklemmen erforderliche Feder xy ; diese *freie Unterlage* wird nämlich nicht an der Säule befestigt, sondern bloß mit der Hand an dieselbe gehalten. Sie ist bestimmt, das Gewicht, welches sinken soll, leicht und sicher auf Null der Scale zu stellen. Zu dem Ende ist an der Säule bei Z, Fig. 1 und 2, ein Stuf befestigt, in solcher Höhe, daß, wenn man die freie Unterlage daran hält, die auf der Platte anliegenden Gewichte mit ihrer untersten Fläche gerade auf Null stehen.

Die Gewichte. Ueber die Rolle geht, wie schon gedacht worden, eine Schnur, (von so genannter Granatseide,) und an jedem Ende derselben hängt eine kleine horizontale Scheibe von Messing OP , Fig. 3, in deren Mitte senkrecht ein drei bis vier Zoll langer Draht in die Höhe steht, der sich oben in ein Häkchen endigt, das in eine Schlinge der Schnur eingehängt wird. Diese Scheiben, die wir, um sie bestimmt unterscheiden zu können, *Patellen*

nennen wollen, dienen, die Gewichte zu tragen. In Ansehung der GröÙe dieser Patellen bemerke ich noch, daÙ es vorthailhaft ist, sie so einzurichten, daÙ das Gewicht derselben nebst dem Gewichte der Rolle und der Schnur eine runde Zahl ausmache; an meiner Maschine wiegen diese Stücke zusammen gerade 1000 Gran Nürnberg. Medicinalgewicht. Die Gewichte selbst bestehen aus runden Scheiben von etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, die an der einen Seite einen bis zum Mittelpunkte gehenden Einschnitt haben, (man s. Fig. 7,) vermittelt dessen sie auf die Patelle geschoben werden können. Ich habe für die Maschine folgende Gewichte verfertigen lassen: 10 Stück von 1000 Gran; 10 Stück von 100 Gran; 10 Stück von 10 Gran, alle von Messing; dann Stücke von 9, 8, 7 bis 1 Gran von Papier, die, um ungefähr gleichen Umfang zu erhalten, aus 9-, 8-, 7- bis 1fachem Papiere gemacht sind. Außer diesen runden Gewichten habe ich noch folgende in der Gestalt von 3 Zoll langen Stäbchen: Stücke von 1, 2, 3 bis 9 Gran aus Papier; Stücke von 10, 20, 30 bis 100 Gran aus Messing; endlich noch zwei besondere Gewichte, jedes von 48 Gran für die Beschleunigung, das eine rund, das andere als Stäbchen. Wer die möglichste Sparsamkeit beobachten will, kann viel kürzer fertig werden. Er braucht zwei runde gleiche Gewichte von Blei, die oben mit einem etwas langen Drahthäkchen versehen, und so schwer sind, daÙ sie nebst Rolle und Schnur

zusammen 9000 Gran wiegen; ferner, wie oben, zwei Gewichte von 48 Gran für die Beschleunigung; endlich mehrere kleine Gewichte von Karten, von der Gestalt der runden messingenen nach Fig. 7, von beliebigem gleichen oder ungleichen Gewichte. Diese letztern sind bloß bestimmt, zu dem Gewichte, welches die Beschleunigung bewirkt, hinzugelegt zu werden, und die Friction und andere kleine Hindernisse der Bewegung zu überwäligen, wie unten in dem Absatze von der vorläufigen Stellung der Maschine gezeigt werden wird.

Das Pendel. Zur Abmessung der Zeit kann ein bloßes Sekundenpendel dienen, sobald es nur so eingerichtet ist, daß es hörbar schlägt.

Wird bei diesem Pendel nichts weiter beabsichtigt, als der Gebrauch bei der Fallmaschine, so kann es mit geringen Kosten eine ganz ähnliche Einrichtung als ein gemeines Uhrpendel, das an einer Uhrfeder aufgehängt ist, erhalten, nur wird oben am höchsten Ende der Uhrfeder eine unterwärts, (wie bei einer Wage,) zugespitzte Achse befestigt, welche auf Pfannen ruht, daß sich das Pendel mit sehr wenig Friction bewegt. Ein so vorgerichtetes Pendel bewegt sich, wenn es einmahl um einen Bogen von 10 bis 15 Grad aufgehoben wird, mehrere Stunden hinter einander fort. Seine Schläge lassen sich dadurch hörbar machen, daß man die Uhrfeder zwischen den Armen einer engen Gabel vibrieren läßt, so daß es bei jedem Schwunge anschlagen muß. Dies verkürzt zwar die Bewegung des Pen-

dels gar sehr; aber sie dauert immer noch weit länger, als es je zu einem Versuche mit der Fallmaschine erforderlich ist.

Bei meiner Maschine ist die Einrichtung anders, weil ich beabsichtigte, das Gestell der Maschine auch zu allen über das Pendel nöthigen Versuchen zu brauchen:

Die Stange ist von Stahl, vierkantig, 48 Zoll lang, $\frac{1}{4}$ Zoll breit und $\frac{1}{10}$ Zoll dick. Der Aufhängepunkt ist 7 Zoll unter dem obern Ende. An dieser Stelle geht eine unterwärts zugespitzte Achse, die auf polirten Pfannen ruht, durch die Stange. Die Linse, welche etwa 12 Pfund schwer ist, ist in *horizontaler* Lage an der Stange befestigt, und besteht eigentlich aus zwei auf einander liegenden halben Linsen, wovon jede für sich an der Stange auf- und abgeschoben und vermittelt einer Stellschraube an jeder Stelle befestigt werden kann. Um beide, wie sie auf einander liegen, genau an der Stelle erhalten zu können, wo sie sich befinden müssen, wenn das Pendel Sekunden schlagen soll, befindet sich unter ihnen noch eine messingene Hülse an der Stange, die verschoben und an jeder Stelle durch eine Stellschraube befestigt werden kann. Das Messing, woraus diese Hülse besteht, ist auf der vordern Seite, (wo die Stellschraube nicht ist,) ziemlich dick und ist hier von unten nach oben in lotbrechter Richtung durchbohrt. Durch dieses Loch geht eine Schraube mit sehr feinem Gewinde, welches unten ohne Flügel oder Knopf bloß viereckig ist, damit

sie vermittelt eines Schlüssels gestellt, und dann nicht leicht wieder verrückt werden kann. Ist die Hülse und ihre Schraube einmahl genau gestellt, so kann man die beiden Linen einzeln oder zugleich, zum Behufe anderer Versuche, verschieben, und wenn man sie wieder bis auf die Hülse herabsinken läßt, so wird das Pendel immer wieder richtige Sekunden schlagen. Vom Aufhängepunkte an ist die Pendelstange an der vordern Seite von oben nach unten in Zolle und Zehntel getheilt. Man wird übrigens leicht wahrnehmen, daß diese Einrichtung den Zweck hat, Versuche über die Theorie des *zusammengesetzten Pendels* anzustellen.

Ein Haupttheil an diesem Pendel sind die *Schlaghämmer*, durch welche seine Schläge hörbar werden. Da ich glaube, daß alles Bisherige auch ohne Figur verständlich sey, so habe ich bloß diesen Theil des Pendels in den Figuren 8, 9, 10 abgebildet. Fig. 8 stellt den obern Theil des Pendels von der Seite gesehen, aber ohne die Schlaghämmer vor. Fig. 9 stellt eben den Theil von vorne gesehen mit den Schlaghämmern vor. Die Gestalt dieses Theils des Pendels ergibt sich sehr deutlich aus Vergleichung beider Figuren, und ich bemerke bloß, daß der Stahl in der Vertiefung *l*, Fig. 8, zugeschärft ist, damit die Schlaghämmer, die hier aufgehängt werden, keine merkliche Friction leiden. *Q* ist in beiden Figuren die unterwärts zugeschärfte Achse, auf welcher sich das Pendel bewegt. Die Gestalt der Schallhämmer *R* und *R*, Fig. 9, ist

aus der Figur deutlich. Sie sind aus Stahl gemacht und federn also. Durch eine Klammer von Messing *TT*, Fig. 9 und 10, werden sie in der gehörigen Entfernung zusammengehalten; die rote Figur stellt die Gestalt der Klammer von oben herunter gesehen vor. Ihre Haken bei *TT*, womit sie die Arme der Schlaghämmer faßt, sind federhart und so enge, daß sie sich nur mit Mühe verschieben lassen. Man sieht leicht, daß durch das Auf- und Niederschieben dieser Klammer die Hämmer *RR* von einander entfernt oder einander genähert werden können.

Der Künstler hat bei der Verfertigung dieser Schallhämmer folgendes zu beobachten: Beide Hämmer müssen einander möglichst gleich seyn. Sind sie bis auf die Politur fertig, so hängt er sie auf das Pendel, und beobachtet, ob beide Hämmer genau gleich weit von der Stange abstehen. Dies kann er theils unmittelbar mit dem Auge beobachten, noch genauer aber kann er es bemerken, wenn er das Pendel schlagen läßt; gehn die Schläge hinkend, wie an einer Uhr, die schief hängt, so ist der Hammer, welcher zu früh schlägt, zu nahe an der Stange; er muß daher von diesem Hammer so viel abfeilen oder abschleifen, bis die Schläge völlig gleichzeitig werden. Die Klammer muß so weit herunter gerückt werden, daß die Hämmer sehr nahe an der Stange stehen; denn stehen sie weit ab, so schlagen sie bloß bei weiten Schwingungen. Man muß

sie so nahe bringen, daß sie schon bei Schwingungen von ein Paar Graden hörbar schlagen.

Zur *Aufhängung des Pendels* ist am besten, ein besonderes Gestell, etwa von ähnlicher Gestalt als das Gestell der Fallmaschine, (Fig. 1 und 2,) nur kleiner, verfertigen zu lassen. Es ist hinlänglich, wenn die Säule vom Fußbrette an gerechnet 44 Zoll hoch ist. Aber man muß bei diesem Gestelle sehr für Festigkeit sorgen, weil die Schwankungen eines schweren Pendels das festeste Gestell erschüttern. An diesem Gestelle wird das Pendel vermittelt einer kleinen Vorrichtung, welche in der 1ten Figur vorgestellt ist, aufgehängt. *mno p* ist ein Stück starken Messingblechs, welches zweimahl bei *n* und *o* rechtwinklig gebogen ist. Es kann auf der Seite *no* ein Paar Zoll breit, bei *m* und *p* aber schmaler seyn. Was man in der Figur sieht, ist nur die von oben gesehene Dicke des Blechs. *qr* ist ein Stäbchen zwischen den beiden Platten *mn* und *po*, um das Ganze besser zu steifen. *stuv* ist ein kleiner Rahmen von Messing, der sich um die beiden Stifte *w* und *x* wie um eine Achse drehen läßt. Bei *y* und *z* sind die stählernen polirten Pfannen befestigt, auf welchen die zugeshärfte Achse des Pendels, (*QQ*, Fig. 8 und 9,) zu liegen kommt. Die ganze beschriebene Vorrichtung wird oben an der Säule des Pendelgestelles befestigt, vermittelt zweier oder dreier Holzschrauben, welche durch die Platte *no* in die Säule des Gestells gehen. Was

die Figur zeigt, muß bei dieser Befestigung horizontal zu liegen kommen. Diese Vorrichtung hat den Vortheil, daß sich das Pendel von selbst senkrecht stellt. Sieben Zoll unter dem Aufhängepunkte des Pendels ist ein Gradbogen angebracht, der von der Mitte aus auf jeder Seite 30 ganze Grade enthält. Sein Centrum muß begreiflich im Aufhängepunkte liegen, und der Bogen so weit hervorgerückt werden, daß die Pendelstange, ohne ihn zu berühren, dicht vor demselben ihre Schwingungen macht. Man sieht leicht, daß dieser Bogen bestimmt ist, den Winkel der Vibrationen messen zu können.

Uebrige Geräthschaft zu den Pendelversuchen.

Um mit dem Gestelle der Atwoodischen Maschine alle übrigen zur Theorie vom Pendel nöthigen Versuche machen zu können, muß die Geräthschaft noch ein Paar kleine, Fig. 12 und 13 abgebildete, Zusätze erhalten. *mp*, Fig. 12, ist ein zwei Fuß langer Winkelhaken, der vermittelt der Zwingen *qs* an dem Gestelle so befestigt wird, daß die untere Kante des Winkelhakens auf Null-Zoll der Scale, übrigens die in der Figur sichtbare Fläche des Winkelhakens gerade auf der Mitte der Säule zu stehen kommt. Von diesem Arme hängen zwei Pendel *r*, *r* herunter, jedes an zwei Fäden. Der Körper besteht aus einem bleiernen Doppelkegel. Die bei *m*, *n* und *p* befestigten Fäden kommen aus kleinen Löchern hervor, welche durch befestigte

kleine Messingbleche gebohrt sind; über diesen befinden sich bei t , u , v , w kleine Wirbel, durch welche die Pendel verlängert und verkürzt werden können. — xy , Fig. 13, ist ein zweiter, nur $1\frac{1}{2}$ Fufs langer, leichter und dünner gearbeiteter Winkelhaken, der nicht durch eine Zwing(schraube, sondern blofs durch eine Klemme ZZ , (wie oben die durchbrochne und undurchbrochne Unterlage,) an der Säule befestigt wird, und sich auf- und abschieben läfst. Er dient, die Länge der Pendel zu messen, und wird abgenommen, sobald ein Pendel seine bestimmte Länge hat. Es ist aber die Länge von der untern Fläche des obern Winkelhakens bis zu der scharfen Kante, welche die gemeinschaftliche Grundfläche der beiden Kegel begrenzt, zu rechnen.

Mit dieser Geräthschaft, in Verbindung mit dem oben beschriebenen Sekundenpendel, lassen sich, wie leicht einzusehen, alle zur Theorie des Pendels gehörige Versuche anstellen, so dafs man fast alles, was zu den Experimenten über die Schwere gehört, in der ganzen hier beschriebenen Geräthschaft beisammen hat.

Ich bemerke noch, dafs die Scale, so wie sie in Fig. 1 gezeichnet ist, zugleich als Maafsstab für die Figuren 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12 und 13 anzusehen ist; zu Fig. 8, 9, 10 hingegen sind die Zolle in Fig. 9 der Maafsstab.

Ge-

*Gebrauch der Fallmaschine.**Vorläufige Stellung der Maschine.*

Um die Säule senkrecht zu stellen, setzt man die durchbrochne Unterlage so tief als möglich an dieselbe an, legt die Schnur mit den Patellen um die Rolle, legt gleiche Gewichte auf, und zieht das vor der Säule hängende Gewicht bis zur Unterlage herab; dann schraubt man die Stellschrauben des Fußbrettes so lange, bis das Gewicht gerade in dem Loche der durchbrochnen Unterlage schwebt.

Hierauf ist durch einen Versuch die GröÙe des aufzulegenden Uebergewichts zu bestimmen. Die GröÙe des Uebergewichts hängt ab: 1. von der gesammten Masse, die durch sie bewegt werden soll, und die bei meiner Maschine in der Regel 9000 Gr. beträgt, indem ich gewöhnlich 4000 Gran auf jede Patelle auflege, die Patellen selbst aber nebst Schnur und Rolle zusammen 1000 Gran rechne. *)

*) Jede Patelle wiegt 112 Gr., die Schnur 6 Gr., und die Rolle 771 Gr. Dafs die Rolle mit zur bewegten Masse gerechnet werden müsse, ist leicht einzusehen, weil sie, während das Gewicht sinkt, selbst eine beschleunigte Bewegung erhält. Da aber die Theile der Rolle, nach Verschiedenheit ihrer Entfernung von der Achse, mit verschiedner Geschwindigkeit umlaufen, so ist es, genau genommen, nicht das Gewicht der Rolle, sondern ihr auf den Halbmesser des Schnurlaufs reducirtes Moment der Trägheit, was in Rechnung gebracht werden mufs. Man sieht leicht, dafs dieses Moment alle-

2. Von der GröÙe der Beschleunigung, mit welcher die Bewegung geschehen soll. Zu den Versuchen ist es die bequemste Beschleunigung, wenn das Gewicht in der ersten Sekunde um 1 Zoll sinkt. Da nun die *freie Beschleunigung* der Schwere, (d. i., die Höhe des freien Falls in der ersten Sekunde,) $15\frac{1}{2}$ Fufs oder $187\frac{1}{2}$ Zoll beträgt, so wird eine Masse von 9000 Gran zur Beschleunigung von 1 Zoll ein Uebergewicht von $\frac{9000}{187\frac{1}{2}} = 48$ Gran erfordern. *)
3. Von den vorhandenen Hindernissen der Bewegung, für deren Ueberwältigung ausser den gedachten 48 Gran noch ein besonderes kleines Ueberge-

zeit kleiner seyn werde, als das Gewicht der Rolle, weil fast alle Punkte der Rolle langsamer umlaufen, als die im Schnurlaufe liegenden. Ist indessen die Rolle so gearbeitet, wie wir sie oben angegeben haben, so ist der Unterschied nicht groß. Bei meiner Rolle ist das absolute Gewicht 771 Gran, das Moment der Trägheit hingegen, auf den Halbmesser des Schnurlaufs gebracht, beträgt nach einer sorgfältigen Messung und Berechnung 707 Gran; also 64 Gran weniger. Wir werden aber bei Berechnung des beschleunigenden Gewichts sehen, daß ein Fehler von 64 Gran in der bewegten Masse, noch keinen Fehler von $\frac{1}{2}$ Gran in der Bestimmung des beschleunigenden Gewichts hervorbringen könne, (m. l. die folg. Anm.) F.

*) Also könnte die bewegte Masse, (9000 Gr.,) um $187\frac{1}{2}$ Gran falsch seyn, ehe daraus ein Fehler von 1 Gr. im Beschleunigungsgewichte entstände. F.

wicht angebracht werden muß. Diese Hindernisse bestehen theils in dem Widerstande, welchen die bewegten Gewichte und die Rolle selbst von der Luft leiden, theils in der Reibung, welche die Achse der Rolle leidet; auch ist noch die zwar geringe Steifigkeit der Schnur und ihre Einklemmung in dem Schnourlaufe dahin zu rechnen. Es würde so gut als unmöglich seyn, die GröÙe dieser Hindernisse aus theoretischen Gründen sicher zu bestimmen; dagegen ist es leicht, sie an der Maschine selbst durch einen Versuch zu finden. Und dieser Versuch muß jederzeit, so oft man die Maschine brauchen will, vorläufig angestellt werden, weil der Unterschied nach Umständen der Witterung um einige Gran veränderlich ist. Bei meiner Maschine sind 18 bis 24 Gran erforderlich.

Der Versuch selbst ist leicht, und besteht in Folgendem: Nachdem die Maschine senkrecht gestellt, und das Sekundenpendel in Bewegung gesetzt ist, bringt man das Gewicht, welches sinken soll, vermittelst der freien Unterlage auf Null, und beschwert es 1. mit dem Beschleunigungsgewichte, 2. mit ungefähr so viel, als zur Ueberwindung der Hindernisse nöthig seyn möchte. Dann läßt man das Gewicht genau mit einem Pendelschlage sinken, welches durch einen schwachen Schlag gegen die Hemmung geschieht. Hat nun das Uebergewicht seine richtige GröÙe, so muß das sinkende Gewicht genau mit dem achten Pendelschlage, (den ersten für Null gezählt,) auf das Fußbrett aufschla-

gen. Kommt es zu früh, so muß man ein oder ein Paar Gran abnehmen; kommt es zu spät, so muß man zulegen. Ereignet sich der Fall, daß es bei einem gewissen Gewichte zu spät, sobald man aber einen Gran zulegt, zu früh kommt, so kann man die Achse der Rolle vermittelst derjenigen Schraube, in welcher sich die eine Pfanne befindet, entweder ein klein wenig schärfer spannen oder nachlassen, und dadurch die Friction etwas vermehren oder vermindern. Man findet durch diesen Versuch sehr schnell, wie groß das erforderliche Uebergewicht seyn muß, und sobald die Maschine auf diese Art vorbereitet ist, können die übrigen Versuche sehr schnell und mit aller erforderlichen Präcision gemacht werden. *)

Ich komme nun auf diejenigen *Versuche*, um deren willen die Maschine erfunden ist.

Die Gesetze einer gleichförmig beschleunigten

*) Wir haben oben bei der Berechnung der bewegten Masse dieses Uebergewicht nicht mit in Anschlag gebracht, ob es gleich eigentlich dazu gehört. Dies ist absichtlich geschehen. Denn da wir oben die bewegte Masse ungefähr 64 Gran zu groß angenommen haben, (Anm. S. 18,) so verkleinern wir sie wieder um 70 Gran, wenn wir das Uebergewicht aus der Rechnung weglassen. Diese beiden Fehler heben sich also fast gänzlich, und man thut wohl, in jedem andern Falle auch das Uebergewicht bei der bewegten Masse nicht in Rechnung zu bringen. F.

Bewegung lassen sich bekanntlich auf folgende zwei zurückbringen.

1. Die Wege, welche der Körper, vom ersten Augenblicke der Bewegung an gerechnet, zurücklegt, verhalten sich wie die Quadrate der Zeiten.

2. Die Geschwindigkeit, welche der Körper am Ende jedes Zeitraums hat, ist dem Produkte aus der doppelten Fallhöhe der ersten Sekunde in die Zeit gleich.

Versuch für 1. Um das erste Gesetz anschaulich zu machen, darf man nur das Gewicht mit dem durch Versuch 1 ausgemittelten Uebergewichte sinken lassen. Die Bewegung ist langsam genug, um zu sehen, daß sich der Körper an dem Ende der 1sten, 2ten, 3ten etc. bis 8ten Sekunde, respective bei 1, 4, 9 etc. bis 64 Zoll befinde. Genauer zeigt sich das Gesetz, wenn man die undurchbrochene Unterlage an einem dieser Punkte, z. B. bei 36 Zoll, ansetzt, wo dann das sinkende Gewicht genau mit dem sechsten Pendelschlage aufschlagen muß.

Versuch für 2. Um zu zeigen, daß das sinkende Gewicht am Ende jeder Sekunde in der That die gesetzmäßige Geschwindigkeit habe, hat Atwood folgenden in der That sinnreichen Versuch angegeben. Das beschleunigende Gewicht, welches bei dem vorigen Versuche ein rundes war, wird in Gestalt eines langen Stäbchens aufgelegt. Will man nun z. B. zeigen, daß das Gewicht am Ende der 5ten Sekunde eine Geschwindigkeit von 10 Zoll habe, so experimentirt man auf folgende Art:

Das Gewicht, welches sinken soll, wird auf Null gebracht, gehemmt, und das Beschleunigungsgewicht aufgelegt. Bei 25 Zoll wird die durchbrochne Unterlage befestigt, und zwar eigentlich so viel über 25 Zoll, als die Höhe des sinkenden Gewichts austrägt, damit die Grundfläche dieses Gewichts in dem Augenblicke, da das oben aufgelegte Beschleunigungsgewicht die durchbrochne Unterlage berührt, genau bei 25 Zoll sey. Zehn Zoll tiefer, also bei 35 Zoll, setzt man die undurchbrochne Unterlage an, und läßt das Gewicht genau mit einem Pendelschlage sinken, so wird mit dem 5ten Pendelschlage das Beschleunigungsgewicht durch die durchbrochne Unterlage abgehoben, und das Gewicht setzt nun seine Bewegung gleichförmig fort, und erreicht mit dem 6ten Pendelschlage die undurchbrochne Unterlage.

Wie vielerlei Abänderungen mit beiden Versuchen ohne allen Zeitverlust gemacht werden können, bedarf keiner Erinnerung.

Aber dies muß ich noch bemerken, daß die Maschine nicht bloß als verinnlichendes, sondern für den Theoretiker auch als untersuchendes Werkzeug dienen kann. Würste man nämlich die Höhe des freien Falles nicht sehr genau aus den Pendelversuchen, so würde man sie durch diese Maschine finden können. Man müßte zu dem Ende nach Art des 2ten Versuches experimentiren, nur mit der Abänderung, daß man das Beschleunigungsgewicht, welches oben zu 48 Gran bestimmt war,

erst auszumitteln suchte. Man müßte daher nach und nach 20, 30, 40, 50 Gran u. f. w. abheben lassen, und jedes Mal versuchen, ob die Geschwindigkeit, welche das Gewicht nach dem Abheben hat, die richtige sey. Bei der angenommenen GröÙe der Maschine wählt man zu diesem Versuche die Geschwindigkeit, welche das sinkende Gewicht am Ende der sechsten Sekunde hat, und mit der es in den zwei folgenden Sekunden bis 60 Zoll sinkt. Vor der sechsten Sekunde ist die Geschwindigkeit noch zu schwach, und wird durch kleine Irregularitäten im Widerstande leicht gestört; nach der sechsten Sekunde aber kann man, wenn die Scale nur 64 Zoll lang ist, das Gewicht nach Aufhebung der Beschleunigung nur eine einzige Sekunde lang gleichförmig sinken lassen. Durch eine Reihe solcher Versuche würde man finden, was wir oben voraussetzten, daß ungefähr 48 Gr. abgehoben werden müßten. Hätte man dieses gefunden, so würde der Quotient $\frac{2600}{48} = 187,5$ die Höhe des freien Falles für die erste Sekunde in Zollen bestimmen. Diese Methode würde zwar diese Fallhöhe nicht sehr genau geben, weil ein Fehler von einem Gran die gesuchte Fallhöhe ungefähr um $\frac{1}{48}$, (also ungefähr um 4 Zoll,) falsch macht; wiederholte man aber den Versuch mit allerlei Abänderungen sehr oft, so würde das Mittel aus allen Resultaten doch das Gesuchte mit hinlänglicher Genauigkeit geben. Man wird vielleicht sagen, daß dieses Verfahren überflüssig sey, da wir aus der Länge des Se-

kundenpendels das Gefuchte leichter und genauer haben können. Allein man weiß theils, daß es nichts weniger als leicht ist, die Länge des einfachen Sekundenpendels genau auszumitteln, theils, daß die Theorie des Pendels nicht ohne höhere Mathematik vorgetragen werden kann, und der Anfänger daher alle Schlüsse, die auf diese Theorie gegründet sind, fast bloß auf Treue und Glauben annehmen muß. Daher kann man gewiß einer Methode, die freie Fallhöhe der ersten Sekunde, die für die ganze Mechanik so wichtig ist, auf einem Wege zu finden, wo man nichts als die ersten Gründe des Rechnens zu wissen nöthig hat, ihren Werth nicht absprechen.

Was die Abweichung meiner Maschine von der Atwoodischen betrifft, so besteht sie in Folgendem:

1. Atwood's Rolle läuft nicht auf Spitzen, sondern ihre Achse ruht auf so genannten Frictionsrädchen, die ich für eine Erfindung unsers Landsmannes Sturm halte. Diese Maschinerie macht die Ausarbeitung der Maschine um sehr vieles schwerer und kostbarer, und macht die Berechnung der bewegten Masse viel zusammengesetzter, ohne daß für das Wesentliche der Versuche das geringste gewonnen wird; denn bei dem Experimentiren entsteht zwischen beiden Einrichtungen nur der Unterschied, daß das Gewicht, welches selbst bei der Atwoodischen Einrichtung wegen der Friction auf-

gelegt werden muß, etwas kleiner ist, als bei meiner Einrichtung. Hat indessen nur dieses Gewicht seine richtige GröÙe, so erfolgen die Versuche mit gleicher Präcision, dieses Gewicht sey etwas größer oder kleiner.

2. An der Atwoodischen Maschine befindet sich zur Abmessung der Sekunden ein vollständiges Uhrwerk, mit einem Zifferblatte, und einer Glocke, die bei jedem Pendelschlage angeschlagen wird. Ein bloßes Pendel von der einfachsten Art, sobald es nur hörbar schlägt, leistet offenbar alles, was man bei diesen Versuchen fordern kann.

3. An der Atwoodischen Maschine ist keine Hemmung angebracht, auch wird das Gewicht, welches sinken soll, bloß nach dem Augenmaasse auf den Nullpunkt gebracht und vermittelt einer mit der Hand untergehaltenen Platte darauf fest gehalten, bis man es bei einem Pendelschlage sinken läßt. Diese ganze Einrichtung macht dem Experimentator oft den Mangel einer dritten Hand fühlbar.

4. Auch gehören noch zu den getroffenen Abänderungen die Gestalt und Einrichtung der Gewichte. Die Atwoodischen haben in der Mitte ein Loch, womit sie auf den Draht der Patellen gesteckt werden, welches das Wechseln der Gewichte umständlich macht. Auch habe ich mehrere, sowohl runde als lange Gewichte machen lassen, um die Versuche mehr abändern zu können.