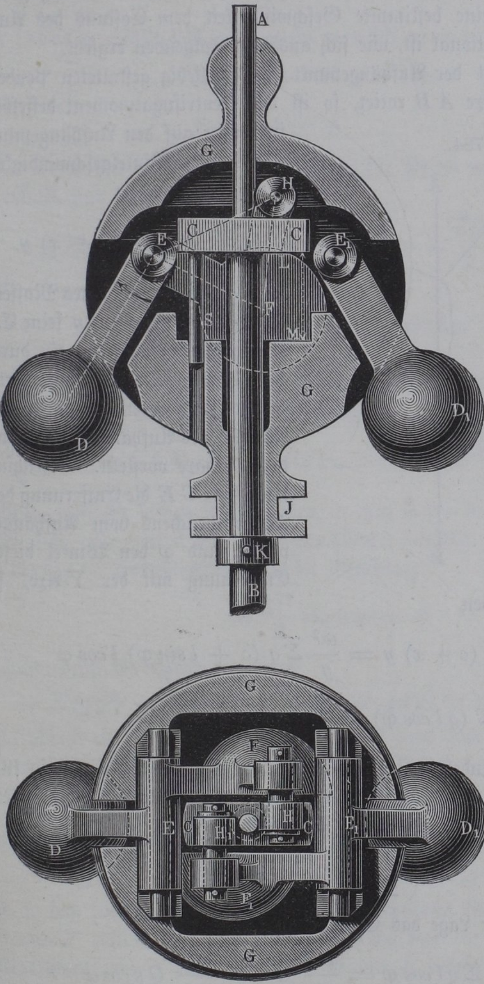
hat, welche die Pendel zum größten Theile umhüllt. Durch einen mit dem Ansatze C fest verbundenen cylindrischen Stift S, welcher in eine passende Bohrung des unteren Theiles der Hülse eintritt, wird letztere durch die rotirende Axe mitgenommen, ohne an der verticalen Verschiebung auf der Axe behindert zu sein.

Fig. 783.

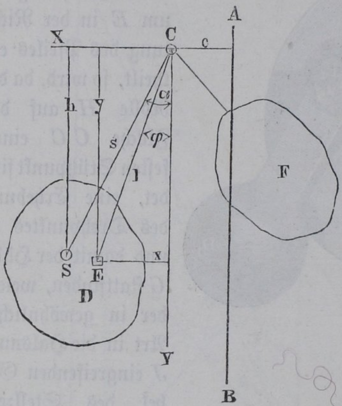


Denkt man sich bei der Drehung des ganzen Systems dem Pendel DFE durch die Centrifugalkraft der Massen D und F eine Schwingung um E in der Richtung des Pfeiles ertheilt, so wird, da die Rolle H auf der Fläche CC einen festen Stützpunkt findet, eine Erhebung des Drehpunktes E und damit der Hülse G stattfinden, welche der in gewöhnlicher Art in die Halsnuth J eingreifenden Gabel des Stellzeuges mitgetheilt wird. Während die kugelförmigen Gewichte D der beiderseits angeordneten Pendel in einer Axenebene liegen, sind die Gewichte F von gedrückter Form neben die Axe verlegt und haben die Winkelhebel DEF daher die dazu geeignete gekröpfte Gestalt erhalten müssen, welche aus dem Grundrisse der Figur ersichtlich ist. Die Hubhöhe LM der Hülse ist unterhalb durch den Stellring K, oberhalb durch den Ansatz CC begrenzt.

Die Bezeichnung Cosinus-Regulator ist für den besprochenen Apparat aus dem Grunde gewählt, weil das angewandte Pendel vermöge seiner Anordnung die Eigenschaft hat, daß das Centrifugalmoment desselben in Bezug auf den Drehpunkt für eine bestimmte Geschwindigkeit dem Cosinus des Ausschlagswinkels proportional ist, wie sich aus dem Folgenden ergiebt.

Ist C in Fig. 784 der Aufhängepunkt eines beliebig gestalteten Pendels D, welches um die Axe AB rotirt, so ist das Centrifugalmoment desselben in Bezug auf den Aufhängepunkt C bei einer Winkelgeschwindigkeit ω gegeben durch:

Fig. 784.



$$M = \frac{\omega^2}{g} \Sigma q\,(c + x)\,y,$$

wenn q das Gewicht eines Massentheilchens E ist, x und y seine Coordinaten in Bezug auf ein durch C gelegtes Axenkreuz mit verticaler Y-Axe bedeuten, und c den Abstand des Aufhängepunktes von der Drehaxe vorstellt. Bezeichnet noch $l = CE$ die Entfernung des Massentheilchens vom Aufhängepunkte und φ den Winkel dieser Entfernung mit der Y-Axe, so kann man auch schreiben

$$M = \frac{\omega^2}{g} \Sigma q\,(c + x)\,y = \frac{\omega^2}{g} \Sigma q\,(c + l \sin \varphi)\, l \cos \varphi$$

$$= \frac{\omega^2}{g} \left[c \Sigma\,(q\, l \cos \varphi) + \Sigma \left(q\, \frac{l^2}{2} \sin 2\varphi \right) \right].$$

Würde man ein Pendel herstellen, für welches in jeder Stellung, also für jeden Ausschlagswinkel α, welchen der Abstand $CS = s$ des Schwerpunktes mit der Drehaxe bildet, die Beziehung stattfindet

$$\Sigma \left(\frac{q l^2}{2} \sin 2\varphi \right) = 0,$$

so würde auch in jeder Lage das Centrifugalkraftmoment

$$M = \frac{\omega^2 c}{g} \Sigma q\, l \cos \varphi = \frac{\omega^2 c}{g}\, G h = \frac{\omega^2 c}{g}\, G s \cos \alpha$$

sein, wenn G das Gewicht des Pendels und h den verticalen Abstand seines Schwerpunktes S unter dem Aufhängepunkte C bedeutet. Dieser Werth von M ist dann für jeden Winkel α dem Cosinus desselben proportional. Es ist nun leicht zu erkennen, daß jene Bedingung

$$\Sigma \frac{q l^2}{2} \sin 2 \varphi = 0$$

für jedes α erfüllt sein muß, wenn man für eine einzige beliebige Lage

$$\Sigma (q y^2) - \Sigma (q x^2) = 0$$

und

$$\Sigma (q x y) = 0$$

hat. Denn sind diese beiden Gleichungen für irgend einen Ausschlagswinkel α erfüllt, und schreibt man sie

$$\tfrac{1}{2} \Sigma q l^2 \cos^2 \varphi - \tfrac{1}{2} \Sigma q l^2 \sin^2 \varphi = \Sigma \frac{q l^2}{2} \cos 2 \varphi = 0$$

und

$$\Sigma q l^2 \sin \varphi \cos \varphi = \Sigma \frac{q l^2}{2} \sin 2 \varphi = 0,$$

so ist auch, wenn δ irgend einen Winkel bedeutet, um welchen das Pendel aus seiner Lage ausschlägt, die Gleichung

$$\Sigma \frac{q l^2}{2} \sin (2 \varphi + 2 \delta) = \Sigma \frac{q l^2}{2} \sin 2 \varphi \cos 2 \delta + \Sigma \frac{q l^2}{2} \cos 2 \varphi \sin 2 \delta = 0$$

erfüllt, weil die beiden Summanden in dem letzten Ausdrucke einzeln gleich Null sind. Da nun δ jeden beliebigen Winkel bedeutet, so ist auch für jeden beliebigen Ausschlagswinkel α die Gleichung

$$\Sigma \frac{q l^2}{2} \sin 2 \varphi = 0$$

erfüllt, wenn für irgend eine Lage

$$\Sigma (q y^2) - \Sigma (q x^2) = 0 \text{ und } \Sigma (q x y) = 0$$

ist. Denkt man sich nun, für ein Pendel D seien diese letzteren Bedingungsgleichungen nicht zutreffend, vielmehr sei für dasselbe

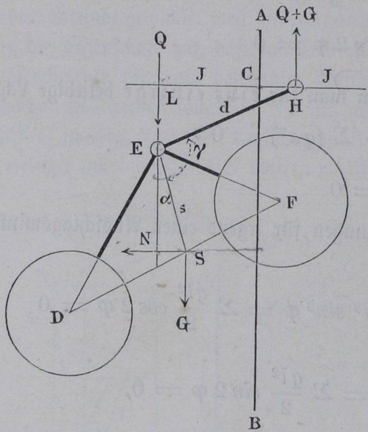
$$\Sigma (q y^2) - \Sigma (q x^2) = + A \text{ und } \Sigma (q x y) = + B,$$

so läßt sich ein anderes Gewicht F mit ihm verbunden denken, für welches

$$\Sigma (q y^2) - \Sigma (q x^2) = - A \text{ und } \Sigma (q x y) = - B$$

ist, so daß jene vorausgesetzte Bedingung jedenfalls für die Verbindung von D und F erfüllt ist. Aus diesem Grunde sind die Pendel des Cosinus-Regulators mit je zwei Gewichten D und F belastet. Sei nun DEF, Fig. 785 (a. f. S.), ein solches um E drehbares Cosinuspendel, dessen Gewicht G in dem Schwerpunkte S wirksam ist, und bezeichne man den Ausschlagswinkel von ES gegen die Verticale mit α und den Winkel SEH mit γ, wo H den Mittelpunkt der besagten horizontal geführten Rolle bedeutet. Man hat dann bei einer Winkelgeschwindigkeit ω der Axe das Moment der Centrifugalkraft in Bezug auf E nach dem Obigen

Fig. 785.



$$M = \frac{\omega^2 c}{g}\, G s \cos\alpha.$$

Dieser Centrifugalkraft entgegen wirkt das Gewicht G des Pendels im Schwerpunkte S und das in dem Drehpunkte E des Pendels vertical abwärts wirkende Gewicht Q der halben Hülse. Da das Pendel mit dem Punkte H sich auf die feste Leitbahn JJ stützt, so reagirt dieselbe in H mit der Kraft $G + Q$ vertical aufwärts. Man hat daher für das Gleichgewicht der Kräfte in Bezug auf den Punkt E die Momentengleichung:

$$\frac{\omega^2 c}{g}\, G s \cos\alpha = G\,.\,SN + (G + Q)\,.\,HL,$$

oder, wenn die Länge EH mit d bezeichnet wird:

$$\frac{\omega^2 c}{g}\, G s \cos\alpha = G s \sin\alpha + (G + Q)\, d \sin(\gamma - \alpha).$$

Daraus folgt:

$$\frac{\omega^2 c}{g}\, G s \cos\alpha = G s \sin\alpha + (G + Q)\, d \sin\gamma \cos\alpha - (G + Q)\, d \cos\gamma \sin\alpha,$$

oder

$$\frac{\omega^2 c}{g}\, G s \cos\alpha = (G + Q)\, d \sin\gamma \cos\alpha + [G s - (G + Q)\, d \cos\gamma] \sin\alpha.$$

Für eine solche Wahl des Winkels γ, für welche

$$G s = (G + Q)\, d \cos\gamma,$$

d. h. wenn

$$\cos\gamma = \frac{G}{G + Q}\,\frac{s}{d}$$

ist, hat man daher:

$$\omega^2 = \frac{g}{c}\,\frac{G + Q}{G}\,\frac{d \sin\gamma}{s}.$$

Da in dieser Gleichung der Ausschlagswinkel α gar nicht enthalten ist, so folgt hieraus, daß das Cosinuspendel unter der gemachten Voraussetzung

$$\cos\gamma = \frac{G}{G + Q}\,\frac{s}{d}$$

in jeder beliebigen Lage bei derselben Winkelgeschwindigkeit

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{c}\,\frac{G + Q}{G}\,\frac{d \sin\gamma}{s}}$$

im Gleichgewichte ist, der Regulator in diesem Falle daher die Eigenschaft der vollkommenen Astasie besitzt. Will man demselben eine gewisse Stabilität belassen, so hat man nur dem Winkel γ einen etwas abweichenden Werth von jenem der Astasie entsprechenden zu geben. Dies zu ermöglichen, ist bei dem Cosinus-Regulator die Anordnung so getroffen, daß man den Abstand HL der Rolle H von der Drehaxe innerhalb gewisser enger Grenzen verändern kann. Es ist z. B. bei dem Gruson'schen Regulator $Q = 3\,G$ und $d = 1{,}5\,s$ gemacht, demnach berechnet sich für vollkommene Astasie der Winkel γ durch

$$\cos\gamma = \frac{G}{G + Q}\,\frac{s}{d} = \frac{1}{6} \text{ zu } \gamma = 80^0\,24'.$$

Für einen größeren Werth von γ ist der Regulator stabil. Nimmt man z. B. $\gamma = 90^0$, so erhält man aus

$$\frac{\omega^2 c}{g}\,G s \cos\alpha = (G + Q)\,d \cos\alpha + G s \sin\alpha,$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{c}}\sqrt{\frac{G + Q}{G}\,\frac{d}{s} + \operatorname{tang}\alpha}.$$

Dieser Werth von ω nimmt zu, wenn man α von Null aus, wofür der Schwerpunkt S des Pendels vertical unter dem Aufhängepunkte E liegt, zunehmen läßt, und er nimmt ab, wenn man α negativ macht, d. h. also das Pendel ist stabil für die unteren beiden Quadranten. Unter Annahme der oben angegebenen Verhältnisse $Q = 3\,G$ und $d = 1{,}5\,s$ wird z. B.

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{c}}\sqrt{6 + \operatorname{tang}\alpha}.$$

Dieser Ausdruck liefert für

$\alpha =$	-20^0	-10^0	0^0	$+10^0$	$+20^0$
$\sqrt{6 + \operatorname{tang}\alpha} =$	2,3741	2,4131	2,4495	2,4852	2,5226

daher das Verhältniß der zugehörigen Winkelgeschwindigkeiten ω:

96,9 98,5 100 101,5 103,0

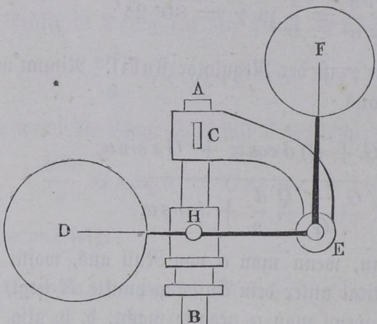
Die Geschwindigkeiten ω schwanken also dann bei einem Ausschlage von je 20° nach links und rechts von der verticalen Lage um etwa 3 Procent, der Ungleichförmigkeitsgrad beträgt daher

$$\eta = \frac{103,0 - 96,9}{100} = 0,061.$$

Wählte man den Winkel γ zwischen 80° 24′ und 90°, so würde die Stabilität des Regulators geringer. Die Energie dieses Regulators ist eine verhältnißmäßig große, oder die Unempfindlichkeit ist gering, insofern das Gewicht der Hülse sowie der Pendel, d. h. also hier das Gewicht der Hauptbestandtheile des Regulators zur Erzeugung der Energie mitwirkt, wie man sich in der in §. 196 angegebenen Art leicht überzeugt.

Der in neuerer Zeit gleichfalls vielfach mit Erfolg in Anwendung gekommene Regulator von Buß*) trägt auf der Axe zwei Pendel, von denen jedes ebenfalls mit zwei Gewichten D und F versehen ist, nur haben diese Pendel hier die in Fig. 786 dargestellte Lage und ihre Aufhängepunkte E sind mit der Axe AB fest verbunden. Man kann diesen Regulator gewissermaßen als eine Umkehrung des Cosinus-Regulators ansehen, zu welcher man gelangt, wenn man bei dem letzteren allen Theilen eine zusätzliche Bewegung ertheilt denkt, welche der verticalen Verschiebung der Hülse in jedem Augenblicke gleich und entgegengesetzt ist. Dadurch wird der Aufhängepunkt E des Pendels zu einem fest mit der Axe verbundenen, und der auf der horizontalen Leitbahn verschiebliche Punkt H erhält zu dieser Verschiebung noch eine solche in verticaler Richtung, welche er der Hülse mittheilt.

Fig. 786.

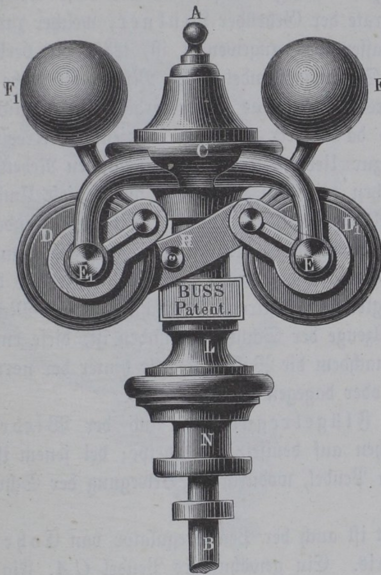


Nach diesen Bemerkungen wird die Einrichtung und Wirkungsweise des Buß'schen Regulators, Fig. 787, verständlich sein. Es möge nur bemerkt werden, daß der vierzinkige Pendelträger CE, welcher auf der Axe AB befestigt mit dieser rotirt, in je zwei seiner Augen E und E_1 ein Pendel mit den Gewichten D und F, bezw. D_1 und F_1 trägt. Jeder der horizontalen

*) Civil-Ingenieur, 1872, S. 1.

Arme ED, von welchen in der Figur nur der vordere sichtbar ist, greift mit dem Zapfen H die auf der Axe verschiebbare Hülse L an, so zwar, daß die-

Fig. 787.



ser Zapfen H auch einer geringen Horizontalverschiebung gegen die Hülse fähig ist. Die letztere wirkt in gewöhnlicher Weise vermittelst der Halsnuth N auf die Gabel des Stellzeuges.

Differentialregulatoren. Eine besondere Art von Regulatoren sind die sogenannten Differentialregulatoren, welche ebenfalls wie die Centrifugalregulatoren erst durch eine bereits eingetretene Aenderung der Geschwindigkeit zur Wirksamkeit gebracht werden. Im Allgemeinen sind diese Regulatoren von solcher Einrichtung, daß zwei Axen angeordnet sind, von denen die eine direct von der zu regulirenden Maschine umgedreht wird, während die andere eine möglichst gleichmäßige Umdrehung, etwa durch ein Uhrwerk oder in sonstiger Art, empfängt. Ein zwischen diesen beiden Axen eingeschaltetes Differentialgetriebe, welches mit dem Stellzeuge verbunden ist, nimmt nun in dem Falle keine Bewegung an, in welchem die beiden Axen gleiche Geschwindigkeit haben. Wenn aber die Maschine und damit die von derselben direct getriebene Axe schneller oder langsamer sich bewegt als die gleichförmig §. 202.

umlaufende Axe, so nimmt das Differentialgetriebe eine der Differenz zwischen jenen beiden Geschwindigkeiten entsprechende Bewegung an, vermöge deren es durch das Stellzeug den Zufluß des Motors zur Maschine in geeigneter Weise regelt. Einige Beispiele werden diese Wirkung verdeutlichen.

Bei dem Apparate der Gebrüder Laukner, welcher zur Regulirung der Schütze eines Wasserrades angewendet ist, trägt die verlängerte Axe des Wasserrades eine Schraubenspindel, deren Mutter die Nabe eines besonderen kleinen Wasserrades bildet. Das letztere erhält eine möglichst constante Beaufschlagung, und da es leer umläuft, so dient die Arbeit des Aufschlagewassers lediglich zur Ueberwindung der schädlichen Nebenhindernisse. So lange dieses Rädchen mit dem Hauptrade gleich viele Umdrehungen macht, wird eine Verschiebung der Mutter auf der Schraubenspindel nicht eintreten. Eine solche Verschiebung findet aber statt, sobald das Hauptwasserrad seine normale Geschwindigkeit ändert, und nun wird diese aus der Differenz der beiden Geschwindigkeiten resultirende Verschiebung der Mutter, welche letztere mit dem Stellzeuge der Schütze verbunden ist, diese entsprechend öffnen oder schließen, je nachdem die Wasserradwelle hinter der normalen Geschwindigkeit zurückblieb oder dagegen voreilte.

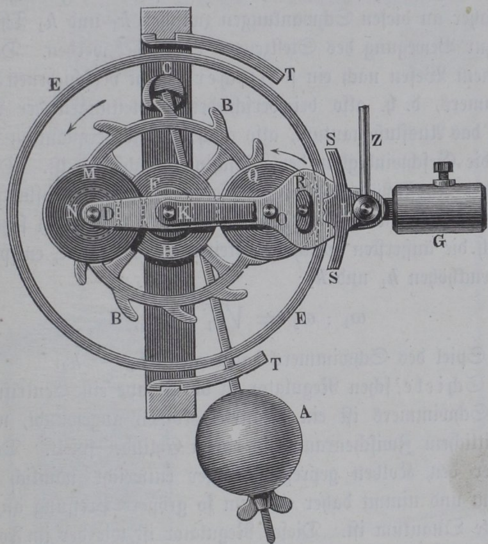
Der Hick'sche Flügelregulator und der Wiede'sche Pendelregulator beruhen auf demselben Principe; bei jenem ist es ein Flügelrad, bei diesem ein Pendel, wodurch die Bewegung der Schraubenmutter regulirt wird.

Sehr interessant ist auch der Pendelregulator von Cohen, David und Siama*) in Paris. Ein gewöhnliches Pendel CA, Fig. 788, ist durch eine Cylinderhemmung (siehe §. 173) C mit einem Steigrade BB in Verbindung gebracht, so daß das letztere eine gleichmäßige Umdrehung erhält. An dieser Drehung im Sinne des Pfeiles nimmt auch das innerlich verzahnte Rad EE Theil (die Verzahnung ist hier wie bei den übrigen Rädern in der Figur weggelassen), da das Steigrad B mit dem Rade E durch eine Spiralfeder in Verbindung gebracht ist. Lose um die Axe K des Steigrades drehbar sind ferner die beiden Rädchen F und H, sowie die Hebel KL und DO angebracht, von welchen letzteren der Hebel KL mit der Zugstange Z für die Admissionsklappe verbunden ist. Der Hebel DO dagegen trägt auf dem Zapfen D die beiden Zahnräder M und N, welche bezw. mit F und H im Eingriffe sind, und auf dem Zapfen O das Rad Q, welches gleichzeitig in H und den inneren Zahnkranz E eingreift. Diese Räderverbindung bildet sonach ein sogenanntes Epicykel-Vorgelege. Wird nun dem Rade F von der Maschine eine Umdrehung ertheilt, so nehmen auch die Räder M, N, H und Q Drehungen um ihre Axen an. So lange hierdurch das Rad Q bei nor-

*) Polytechnisches Centralblatt 1851.

maler Maschinengeschwindigkeit genau dieselbe Umfangsgeschwindigkeit erhält, welche das mit dem Steigrade B verbundene innerlich verzahnte Rad E hat, in welches Q eingreift, wird der Hebel DO einer Drehung um die Axe K

Fig. 788.



nicht ausgesetzt sein. Bei einer Zunahme oder Abnahme der Geschwindigkeit der Maschine und des Rades Q indessen wird das letztere in dem Zahnkranze E abwärts- oder emporsteigen, und die dadurch veranlaßte schwingende Bewegung des Hebels DO wird dem Stellhebel KL mittelst eines auf ihm befindlichen Bolzens R mitgetheilt. G ist hierbei ein Gegengewicht und die Anstoßknaggen T, gegen welche die Nasen S des Stellhebels treffen, dienen für die Schwingungen des letzteren zur Hubbegrenzung.

Hydraulische und pneumatische Regulatoren. Man hat auch §. 203. mehrfach hydraulische und pneumatische Regulatoren vorgeschlagen und zur Anwendung gebracht. Der hydraulische Regulator besteht im Wesentlichen aus einer kleinen Pumpe, welche, durch die zu regulirende Maschine bewegt, Wasser in ein Reservoir fördert, aus welchem das Wasser durch eine Oeffnung am Boden der Pumpe wieder zufließt. Bei der normalen Geschwindigkeit der Maschine wird der Wasserspiegel in dem Reservoir in bestimmter Höhe h über der Ausflußmündung stehen, so daß das unter dieser