Tab. XIV. stellt Whewell's Isorachien von 2 zu 2 Stunden dar; der unsichere Theil der Curven ist punktirt.

Man sieht hier deutlich, wie die Fluthwellen, aus dem indischen Ocean nach Westen vordringend, durch den afrikanischen Continent aufgehalten werden. Die südlich vom Cap der guten Hoffnung vorbeischreitenden Fluthwellen treten nun in südöstlicher Richtung in den atlantischen Ocean ein, in welcher Richtung sie auch die Ostküsten von Nordamerika erreichen, während sie in südwestlicher Richtung an die Westküsten von Europa anschlagen. (Näheres in Berghaus' physikalischem Atlas.)

Sowie die Fluthwelle in abgelenkter Richtung in den atlantischen Ocean eintritt, so findet eine Ablenkung der Fluthwellen auch bei Seearmen und Buchten Statt; die Form der Gestade hat dann nicht allein auf die Richtung, sondern auch auf die Geschwindigkeit, mit welcher die Fluthwellen fortschreiten, einen wesentlichen Einfluß; im Allgemeinen wirkt die Nähe der Küsten verzögernd auf die Geschwindigkeit des Fortschreitens.

Werden in ihrem Fortschreiten die Fluthwellen in Buchten eingezwängt, dann erreichen sie, indem sie gleichsam concentrirt werden, eine ungeheure Höhe, wie wir dies an dem bereits angeführten Beispiel der Fundybai sehen.

Je nach der Configuration der Küsten wird es öfters vorkommen, daß an gewissen Stellen die Fluthwellen von verschiedenen Seiten zusammentreffen, wie dies z. B. in dem Meere zwischen England und Irland der Fall ist, wo die Fluthen von Norden und Süden her eindringen. Hier müssen natürlich Interferenzerscheinungen eintreten, welche das Phänomen noch verwickelter machen und die auffallendsten Abweichungen vom normalen Gang bedingen.

Erklärung der Präcession. Die Erscheinung der Präcession selbst 100
haben wir bereits in §. 35 kennen gelernt; um zu ihrer mechanischen Erklärung zu gelangen, wollen wir aber zunächst eine andere Erscheinung betrachten, welche sich auf denselben Erklärungsgrund zurückführen läßt, nämlich die langsame Bewegung, welche die Axe eines rotirenden Kreisels annimmt, wenn sie nicht ganz vertical steht. Man kann die Erscheinung an jedem Kreisel, am bequemsten vielleicht an dem allgemein bekannten Brummkreisel (Brummtoppich) beobachten.

Fig. 151.

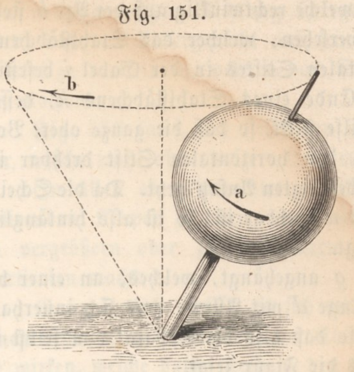
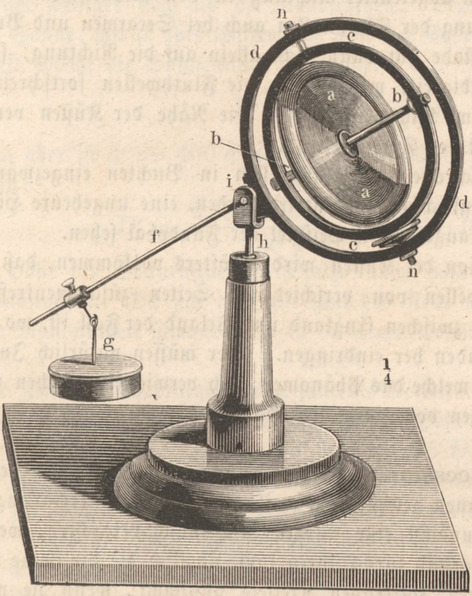


Fig. 151 stellt einen solchen Kreisel dar. Wenn die Rotationsaxe desselben, gleich nachdem er angelassen worden ist, nicht vertical steht, sondern mit der Richtung des Bleilothes einen Winkel macht, wie es die Figur zeigt, so fällt er nicht etwa um, wie man auf den ersten Anblick wohl vermuthen könnte, weil der Schwerpunkt nicht unterstützt ist, sondern die Axe des Kreisels beschreibt in langsamer Bewegung die Oberfläche eines

Kegels, wie dies in unserer Figur durch punktirte Linien angedeutet ist, ohne daß der Kreisel sich mehr gegen die horizontale Ebene neigt, ja der Kreisel richtet sich allmälig mehr und mehr auf, bis endlich seine Axe senkrecht steht, welches letztere jedoch nur eine Folge der Reibung ist, welche die Spitze des Kreisels am Boden zu überwinden hat; dieses Aufrichten des Kreisels würde nicht stattfinden, wenn keine Reibung stattfände.

Wenn der Kreisel in der Richtung rotirt, welche der Pfeil *a* andeutet, so dreht sich die Rotationsaxe in der Richtung des Pfeiles *b*.

Fig. 152.



Der Kreisel fällt erst um, wenn seine Rotationsgeschwindigkeit bis zu einem gewissen Grade abgenommen hat.

Noch viel schöner und sicherer läßt sich diese langsame Drehung einer Rotationsaxe am Fessel'schen Rotationsapparate zeigen, welcher in Fig. 152 dargestellt ist: *a* ist eine runde messingene Scheibe, deren äußere Begränzung durch einen dicken messingenen Wulst gebildet wird. Durch die Mitte dieser Scheibe geht eine stählerne Axe *b*, welche, von einem messingenen Ringe *c* getragen, möglichst leicht in Spitzen läuft. Der Ring *c* ist endlich wieder in dem Ringe *d* befestigt und um eine Axe *n n* drehbar, welche rechtwinklig auf der Axe *b* steht.

Der Ring *d* ist mit einem Ansatz versehen, welcher das Stahlstäbchen *f* trägt, und welcher mittelst eines horizontalen Stiftes in der Gabel *i* befestigt ist. Die Gabel *i* aber sitzt am oberen Ende eines Stahlstäbchens *h*, dessen untere Hälfte in einer verticalstehenden Hülse steckt, so daß die ganze obere Vorrichtung um die verticale Axe *h* und um den horizontalen Stift drehbar ist, welcher durch *i* und den an dem Ringe *d* befestigten Ansatz geht. Da die Scheibe *a* nun außerdem noch um die Axen *b* und *n* drehbar ist, so ist also hinlänglich für ihre allseitige freie Beweglichkeit gesorgt.

An dem Stäbchen *f* ist ein Gewicht *g* angehängt, welches, an einer bestimmten Stelle festgestellt, gerade dem Ringe *d* mit Allem, was sich innerhalb desselben befindet, das Gleichgewicht hält, so daß also der Apparat von selbst in einer solchen Stellung stehen bleibt, wie es die Figur zeigt.

Rückt man nun das Gewicht g an dem Stäbchen f hinauf oder nimmt man es ganz weg, so bekommt der Ring d mit der Scheibe a das Uebergewicht und senkt sich, bis er auf den Rand der Säule anstößt, in welcher h steckt; rückt man dagegen das Gewicht g von der Gleichgewichtsstellung aus an dem Stäbchen f mehr herab, so fällt natürlich das Uebergewicht auf die Seite von g; die ganze Vorrichtung wird um die horizontale in i steckende Axe gedreht, bis g auf dem Boden oder an dem Fuße des Stäbchens anstößt.

Die eben besprochenen Gleichgewichtsverhältnisse beziehen sich aber nur auf den Ruhestand des Apparates; die Sache ändert sich sogleich, wenn man der Scheibe a eine hinlänglich rasche Rotation um die Axe b ertheilt.

Die Rotation der Scheibe a wird dadurch hervorgebracht, daß man eine auf die stählerne Axe b aufgewickelte Schnur rasch abzieht, während man den Ring c in einer Stellung festhält, bei welcher die Axe b in die Verlängerung von f fällt.

Wird nun, nachdem das Gewicht g ganz entfernt oder doch so weit hinaufgerückt ist, daß das Uebergewicht auf Seite des Ringes d und seines Inhaltes ist, die Scheibe a in rasche Rotation versetzt, während der ganze Apparat ungefähr die Stellung hat, wie es die Figur zeigt, so scheint die Scheibe mit ihrem Ringe der Schwere nicht mehr zu gehorchen; denn die Neigung des Stiftes f und der Axe b gegen die Verticale bleibt unverändert, während sich die ganze Vorrichtung um die verticale Axe h dreht, und zwar in einer Richtung, welche derjenigen gerade entgegengesetzt ist, nach welcher sich gerade der oberste Punkt der rotirenden Scheibe bewegt.

Erst wenn die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe a bis zu einem gewissen Grade abgenommen hat, beginnt der Ring d mit der Scheibe a ganz allmälig herabzusinken.

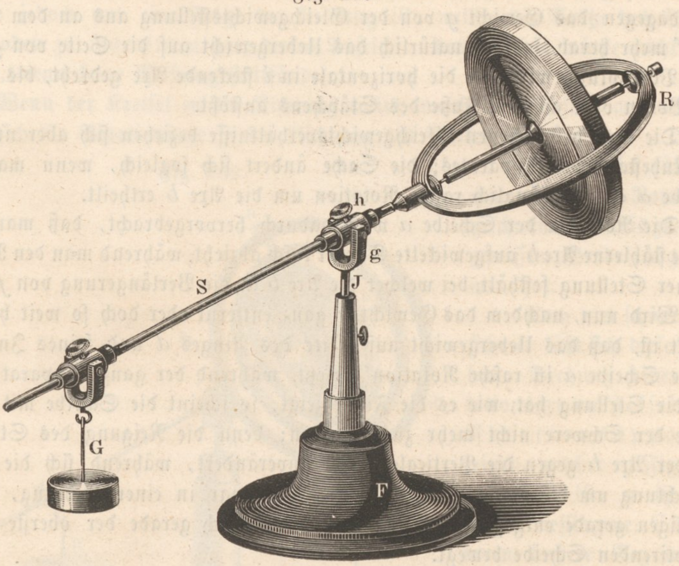
Wenn man das Gegengewicht g an dem Stäbchen f mehr und mehr herunterschiebt, so daß das Uebergewicht, welches den Winkel des Stäbchens f und der Axe b mit der Verticalen zu vergrößern sucht, kleiner und kleiner wird, so wird unter übrigens gleichen Umständen die Drehung um die Axe h immer langsamer werden, bis sie endlich ganz aufhört, wenn g so befestigt ist, daß es dem Ringe d mit seinem Inhalte gerade das Gleichgewicht hält, und in eine Drehung von entgegengesetzter Richtung übergehen, wenn g so weit heruntergeschoben wird, daß das Uebergewicht auf seiner Seite ist und ein Bestreben zeigt, den Winkel zu verkleinern, welchen das Stäbchen f und die Axe b mit der Verticalen machen.

Fig. 153 (a. f. S.) stellt den Fessel'schen Apparat in einfachster Form dar, welche wohl ohne weitere Erklärung verständlich sein wird.

In allen eben betrachteten Fällen haben wir es mit einem um eine Axe rotirenden Körper zu thun, auf welchen Kräfte wirken, welche den Winkel zu vergrößern oder zu verkleinern streben, den die Rotationsaxe mit der Verticalen macht.

Ganz ähnlich verhält es sich mit der Erde; sie rotirt um eine Axe, welche einen bestimmten Winkel mit der Ebene der Ekliptik macht, während Kräfte auf sie wirken, welche dahin streben, den Winkel zu verkleinern, welchen die Erdaxe mit derjenigen Linie macht, welche durch ihren Mittelpunkt gehend auf der Ebene der Ekliptik rechtwinklig steht.

Fig. 153.



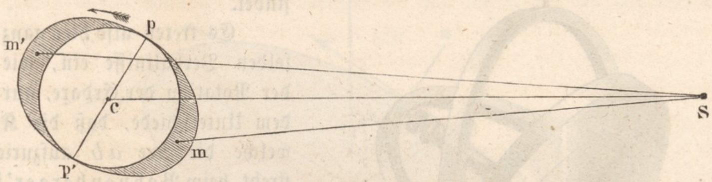
Die Kraft, welche die Erdaxe rechtwinklig auf die Ebene der Ekliptik zu stellen strebt, rührt von der Anziehung her, welche die Sonne auf die Erde ausübt. Wenn die Erde eine vollkommene Kugel und ihre Masse gleichförmig um ihren Mittelpunkt vertheilt wäre, so würde die Resultirende aller Wirkungen, welche die Sonne auf die einzelnen Theile der Erde ausübt, durch ihren Mittelpunkt gehen. Diese Resultirende könnte also keinerlei Einfluß auf die Rotationsaxe der Erde ausüben, dieselbe würde stets sich selbst parallel im Raume fortschreiten, wie ja auch an dem Apparat, Fig. 152, die Drehung um die Axe h aufhört, sobald das Gewicht g so gestellt ist, daß in Beziehung auf die durch i gehende horizontale Axe Gleichgewicht stattfindet.

Nun aber ist die Erde abgeplattet, und deshalb kann man sie als eine Kugel betrachten, deren Radius dem halben Polardurchmesser gleich, und welche noch mit einem Wulst bedeckt ist, welcher, am Aequator am dicksten, nach den Polen zu abnimmt, wie dies Fig. 154 in übertriebener Weise angedeutet ist, welche die Stellung der Erde gegen die Sonne zur Zeit des Sommersolstitiums darstellt.

Betrachten wir nun die Wirkung der Sonne S auf den Aequatorialwulst für sich, so ist klar, daß die Kraft, mit welcher die Einheit der Masse bei m von der Sonne angezogen wird, größer ist als die Anziehung, welche die Sonne auf eine gleich große Masse bei m' ausübt; die Wirkung der Sonne auf den fraglichen Wulst strebt also dahin, die Erde in der Richtung des Pfeiles um eine

Axe zu drehen, welche in der Ebene der Ekliptik liegt und senkrecht auf SC steht. Wir haben also hier in der That ein ganz ähnliches Verhältniß, wie wir es beim Kreisel und der Fessel'schen Rotationsmaschine kennen lernten.

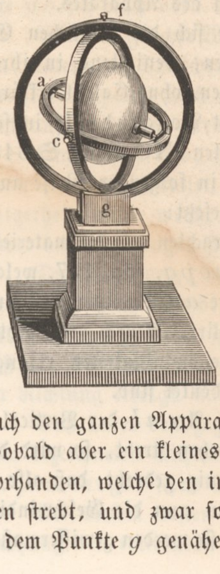
Fig. 154.



Zur Zeit des Wintersolstitiums, wenn die Erde auf der entgegengesetzten Seite der Sonne steht, ist der Südpol p' der Sonne zugekehrt ist; es wird alsdann m' stärker von der Sonne angezogen als m, so daß also auch zu dieser Zeit die Sonne ein Streben äußert, die Erde in der Richtung des Pfeiles zu drehen, also die Erdaxe aufzurichten. Zur Zeit der Aequinoctien, wo die Erdaxe rechtwinklig auf SC steht, ist die Kraft, welche die Erdaxe zu drehen strebt, gleich Null, wir sehen also, daß die Kraft, welche die Schiefe der Ekliptik zu verkleinern strebt, zur Zeit der Solstitien ein Maximum wird und von da bis zu den Aequinoctien abnimmt.

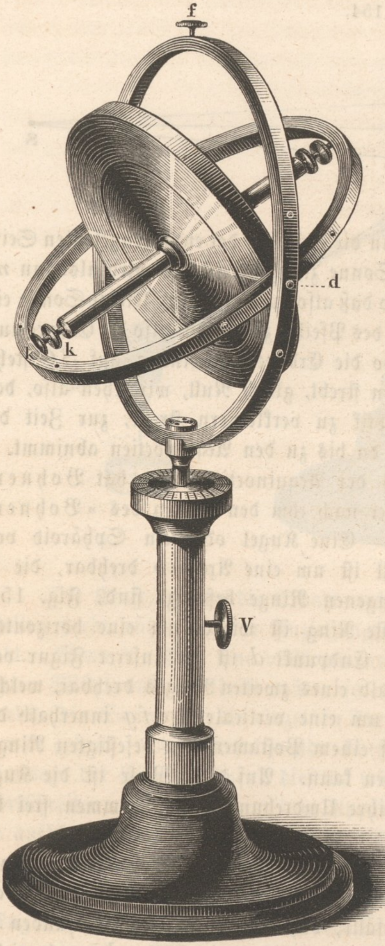
Zur Erläuterung des Rückganges der Aequinoctialpunkte hat Bohnenberger einen Apparat construirt, welcher nach ihm den Namen des »Bohnenberger'schen Maschinchens« führt. Eine Kugel oder ein Sphäroid von Elfenbein oder noch besser von Metall ist um eine Axe ab drehbar, die in Spitzen läuft, welche in einem messingenen Ringe befestigt sind, Fig. 155. Dieser innerste Ring ist wieder um eine horizontale Axe cd (der Endpunkt d ist in unserer Figur verdeckt) innerhalb eines zweiten Ringes drehbar, welcher selbst wieder um eine verticale Axe fg innerhalb des äußersten auf einem Postamentchen befestigten Ringes gedreht werden kann. Auf diese Weise ist die Kugel sowohl wie ihre Umdrehungsaxe vollkommen frei beweglich.

Fig. 155.



Ist das Gleichgewicht der Kugel und des innersten Ringes so hergestellt, daß ihr Schwerpunkt auf die Axe cd fällt, daß also keine Kraft vorhanden ist, welche eine Drehung um die Axe cd zu bewirken strebt, so wird die Axe ab ihre Stellung im Raume unverändert beibehalten, wenn man die Kugel in rasche Rotation um diese Axe versetzt hat, wie man auch den ganzen Apparat, am Fußgestell haltend, herumtragen und drehen mag. Sobald aber ein kleines Uebergewicht bei b angebracht wird, ist jetzt eine Kraft vorhanden, welche den innersten Ring sammt der Kugel um die Axe cd zu drehen strebt, und zwar so, daß die Axe ab aufgerichtet und a dem Punkte f, b dem Punkte g genähert werden würde, wenn die Kugel nicht rotirte. Ist aber die Rotation der Kugel hinlänglich rasch, so bleibt trotz des Uebergewichtes bei b die Neigung der Axe ab gegen fg unverändert, während dagegen eine Drehung der Kugel sammt ihrer Rotationsaxe um die Axe fg stattfindet.

Fig. 156.



Es treten also hier ganz dieselben Verhältnisse ein, wie bei der Rotation der Erdaxe, nur mit dem Unterschiede, daß die Kraft, welche die Axe ab aufzurichten strebt, beim Bohnenberger'schen Apparate stets gleich stark wirkt.

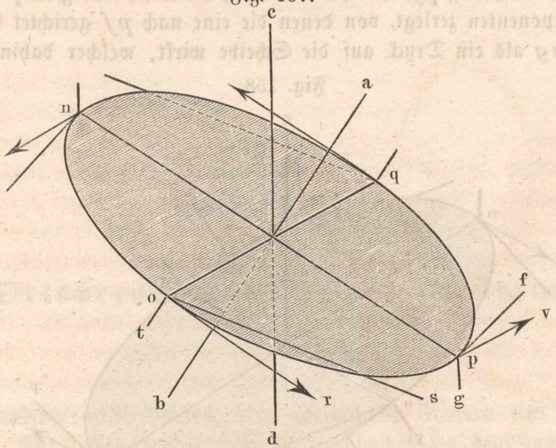
Man kann den Fessel'schen Apparat, Fig. 152, leicht in einen Bohnenberger'schen verwandeln, wenn man von dem Ringe d das Stäbchen f entfernt und statt dessen einen Stahlstift befestigt, welcher dem Stahlstift h gleich ist und dann diesen Stift in die Hülse des Statifs steckt, wie Fig. 156 zeigt. Daß hier die Kugel des ursprünglichen Bohnenberger'schen Maschinchens durch eine Metallscheibe ersetzt ist, ändert nichts am Wesen des Apparates.

Wie sich die fraglichen Erscheinungen, wenigstens in ihren Hauptzügen, ohne Calcül erklären lassen, hat Poggendorff in seinen Annalen (XC. Band, S. 348) ungefähr in folgender Weise auseinandergesetzt:

Betrachten wir die materielle Scheibe $nopq$, Fig. 157, welche um die Axe ab, die einen bestimmten Winkel mit der Verticalen cd macht, sehr rasch rotirt. Durch diese Rotation haben alle Theilchen der Scheibe tangentiale Geschwindigkeiten erlangt, welche für die Punkte o, p, q und n durch Pfeile angedeutet sind.

Wirkt nun auf die Scheibe eine Kraft, welche die Axe ab der Verticalen cd zu nähern, also die Scheibe um die Axe oq zu drehen strebt, so wird der nächste Effect sein daß die Scheibe in der That ein wenig gedreht, daß also p etwas gehoben, n etwas gesenkt wird. Dadurch werden nun die Geschwindigkeiten, mit welchen p und n behaftet sind, nicht alterirt, sie werden gewissermaßen parallel mit sich selbst verschoben. Anders verhält es sich mit den materiellen Theilchen in o und q; sie werden genöthigt, aus der Richtung der Tangential-

Fig. 157.



geschwindigkeiten, mit welchen sie eben behaftet sind, herauszutreten; das Theilchen o z. B. wird genöthigt, die Richtung os einzuschlagen. Dadurch wird aber offenbar die ursprüngliche Geschwindigkeit or in zwei Seitenkräfte zerlegt, von welchen die eine os die Richtung bezeichnet, welche die in o an die Peripherie gelegte Tangente annehmen muß, während die andere Seitenkraft ot rechtwinklig zur Ebene der Scheibe als ein Druck wirkt, welcher eine Drehung um die Axe np zu bewirken strebt, und zwar in der Art, daß die obere Hälfte der Axe ab sich nach vorn bewegt.

Wird in gleicher Weise die Geschwindigkeit zerlegt, mit welcher ursprünglich ein materielles Theilchen in q behaftet war, so ergiebt sich eine Seitenkraft, welche von q aus nach oben gerichtet ist, welche also die Scheibe in der gleichen Richtung zu drehen strebt, wie ot.

Eine Kraft also, welche die Axe ab der Verticalen zu nähern strebt, hat, wenn die Scheibe rotirt, zunächst die Folge, daß der Rotationsaxe eine Drehung mitgetheilt wird, welche rechtwinklig zu derjenigen ist, welche die störende Kraft direct hervorzubringen strebt.

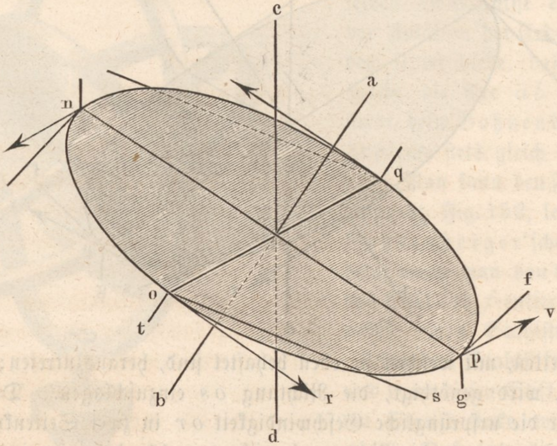
Die Bewegung, welche dadurch der Axe ab mitgetheilt wird, ist zunächst wenigstens ganz dieselbe, als ob eine Umdrehung um die Verticale cd erfolge, und zwar in unserem speciellen Falle so, daß dabei a vor- und b zurücktritt, daß also die Drehung der Rotationsaxe um die Verticale von oben gesehen in der Richtung erfolgt, nach welcher sich der Zeiger einer Uhr bewegt.

Daß unter den gegebenen Umständen die Drehung der Rotationsaxe in der eben bezeichneten Richtung wirklich stattfindet, davon kann man sich sowohl am Bohnenberger'schen wie am Fessel'schen Apparate überzeugen.

Bei diesem ersten Effecte bleibt aber der Vorgang nicht. Sobald eine Drehung der rotirenden Scheibe um die Axe np erfolgt, wird nun auch die

Richtung der Tangentialgeschwindigkeiten in n und p alterirt. Das Theilchen p, welches die Tangentialgeschwindigkeit pv hatte, wird eine Tangentialgeschwindigkeit in der Richtung pf annehmen müssen, die Geschwindigkeit pv wird also in zwei Componenten zerlegt, von denen die eine nach pf gerichtet ist, während die andere pg als ein Druck auf die Scheibe wirkt, welcher dahin strebt, die

Fig. 158.



Axe ab von der Verticalen zu entfernen; eine gleiche Wirkung geht aus der Zerlegung der ursprünglichen Tangentialgeschwindigkeit von n hervor.

In Folge der Drehung der Rotationsaxe treten also Kräfte auf, welche die Rotationsaxe von der Verticalen zu entfernen streben, also der ursprünglich störenden Kraft gerade entgegen wirken, welche dahin streben, die Rotationsaxe der Verticalen zu nähern; so kommt es denn, daß, wenn die Rotationsgeschwindigkeit groß genug ist, der Winkel zwischen der Rotationsaxe und der Verticalen constant erhalten wird.

Eine vollständige Erklärung der hierher gehörigen Erscheinungen nicht allein der Art, sondern auch der Größe nach, ist ohne höhere Rechnung nicht wohl möglich. Eine vollständige Theorie des Kreisels sowohl wie der Präcession hat schon Euler gegeben, und man findet dieselbe im dritten Bande seiner Mechanik, welche vor Kurzem erst wieder in deutscher Uebersetzung mit Anmerkungen und Erläuterungen von Wolfers herausgegeben wurde. Eine interessante und instructive Specialabhandlung über diesen Gegenstand hat Heinen publicirt. (Ueber einige Rotationsapparate, insbesondere den Fessel'schen; Braunschweig 1857.)