

Puluj J.

*Fr. Hochwolgebornen*  
*Herrn Baron Roman Goskowski*  
*mit bestem Dank für die übersen-*  
*dete sehr interessante Arbeit*  
*20069* *der Verfasser.*  
*2* Beitrag zur unipolaren Induction

von

J. Puluj,

*Professor an der k. k. deutschen technischen Hochschule in Prag.*

(Mit 4 Holzschnitten.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 19. April 1888.)

Aus den Sitzungsberichten d. kais. Akademie d. Wissenschaften in Wien  
Mathem.-naturw. Classe; Bd. XCVII. Abth. II. a. Mai 1888.



WIEN, 1888.

AUS DER K. K. HOF- UND STAATSDRUCKEREI.

IN COMMISSION BEI F. TEMPSKY,  
BUCHHÄNDLER DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN





## Beitrag zur unipolaren Induction

von

J. Puluj,

*Professor an der k. k. deutschen technischen Hochschule in Prag.*

(Mit 4 Holzschnitten.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 19. April 1888.)

In der vorliegenden Mittheilung sollen einige Versuche über die unipolare Induction in einer um ihre Axe rotirenden Metallkugel im Felde eines kräftigen Elektromagnets beschrieben und erklärt werden. Zu den Versuchen diente mir eine kupferne Hohlkugel von 6 cm Durchmesser, welche mittelst eines 250 cm langen Doppelfadens an der Decke des Zimmers über dem Pol eines aufrecht stehenden einschenkligten Elektromagnets, gerade in der Verlängerung der magnetischen Axe desselben, aufgehängt war. — Zur Erregung des Elektromagnets, der einen Eisenkern von 29 cm Länge und 3.5 cm Durchmesser und eine Wicklung von circa 665 Windungen hatte, wurde ein Strom von ungefähr 5 Ampères verwendet.

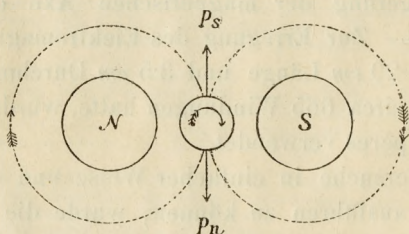
Um die Versuche in einfacher Weise und ohne besondere Vorrichtungen ausführen zu können, wurde die Kugel zunächst aus freier Hand in drehende Bewegung versetzt und auf diese Weise der doppelte Aufhängefaden vielemal tordirt. Nachher wurde das Pendel in der Gleichgewichtslage sich selbst überlassen, und die Kugel drehte sich um die verticale Axe in entgegengesetzter Richtung, sobald aber der Elektromagnet im geeigneten Momente erregt wurde, verliess das Pendel die Gleichgewichtslage und die Kugel rotirte anfangs auf einer spiralförmigen und zuletzt auf einer kreisförmigen Bahn um den Pol des Elektromagnets, wobei gleichzeitig die Axendrehung der Kugel eine Verlangsamung erfuhr.



Viele Versuche, bei denen die Richtung der Axendrehung der Kugel und die Polarität des Elektromagnets variiert wurden, ergaben das übereinstimmende Resultat, dass der Sinn der um den Pol kreisenden Bewegung der Kugel immer derselbe ist, wie jener der Eigenbewegung um die verticale Axe und unabhängig von der Polarität des der Kugel zunächst liegenden Endes des Elektromagnets.

Die um den Pol kreisende Bewegung der Kugel bleibt also bei Umkehrung des magnetisirenden Stromes unverändert und es ergibt sich daher von selbst, dass eine rotirende Kugel im magnetischen Felde zwischen zwei kräftigen entgegengesetzten Magnetpolen in Folge bipolarer Inductionswirkung stillstehen muss, welches schöne Experiment bekanntlich schon von Faraday ausgeführt wurde. Eine kupferne Kugel, deren Axendrehung im Sinne des Uhrzeigers erfolgt, müsste nach dem Gesagten, wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, im selben Sinne sowohl um den Nordpol als um den Südpol gleichzeitig rotiren und die aus der Induction der beiden Pole resultirenden Kräfte  $P_n$   $P_s$  müssen sich gegenseitig aufheben.  $P_n$  sucht die Kugel um den Nordpol  $P_s$  um den Südpol zu drehen.

Fig. 1.



Die Kugel kann daher nur eine drehende Bewegung um ihre verticale Axe ausführen, aber auch diese wird in Folge elektro-magnetischer Wechselwirkung aufgehoben und zwar desto rascher, je kräftiger das magnetische Feld ist.

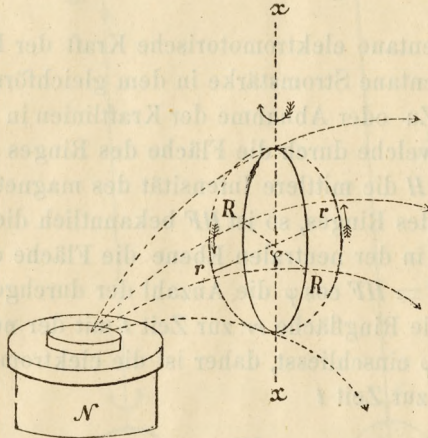
Die um den Pol kreisende Bewegung der Kugel lässt sich nach der Faraday'schen Kraftlinientheorie auf folgende Weise erklären:

Denken wir uns aus der hohlen Kugel durch zwei parallele und vertical geführte Meridianschnitte einen Ring  $RR$  Fig. 2



herausgeschnitten. Dieser in sich geschlossene Leiter stehe seitwärts vom Pol und mit seiner Ebene senkrecht zu den Kraftlinien, welche vom Nordpol ausgehen, befinde sich also in der

Fig. 2.



sogenannten neutralen Ebene. Wird der kupferne Ring um die verticale Axe, von oben gesehen, im Sinne des Uhrzeigers um  $180^\circ$  gedreht, so wird die Anzahl Kraftlinien im ersten Quadranten ab- im zweiten zunehmen. Nach der Maxwell'schen Regel für geschlossene Leiter fließt der Strom im ersten Quadranten im Sinne des Zeigers einer Uhr, im zweiten Quadranten dem Sinne des Zeigers entgegen, wenn der Beobachter den Leiter in der positiven Richtung der Kraftlinien betrachtet. Für einen Beobachter, der am Nordpol des Elektromagnets sich befindet, werden daher die inducirten elektrischen Ströme, bei der angenommenen Rotationsrichtung (im Sinne des Uhrzeigers, die Kugel von oben betrachtet), in der dem Pol näher liegenden Ringhälfte von oben nach unten, in der entfernten Hälfte dagegen von unten hinauf fließen.

Die Maxwell'sche Regel, durch welche die Richtung des elektrischen Stromes in einem geschlossenen Leiter bestimmt ist, lässt sich daher für den Fall, dass der geschlossene Leiter um eine durch denselben gehende Axe rotirt, noch einfacher in folgender Weise ausdrücken:

In einem geschlossen um seine eigene Axe im magnetischen Felde rotirenden Leiter wird ein Strom von solcher Richtung in-



ducirt, dass derselbe für einen Beobachter, der in der positiven Richtung der Kraftlinien nach der Seite der Bewegung einer der beiden Hälften des Leiters schaut, von links nach rechts fliesst, welche Regel bekanntlich auch für nicht geschlossene Leiter gilt.

Die momentane elektromotorische Kraft der Induction, also auch die momentane Stromstärke in dem gleichförmig rotirenden Ringe ist der Zu- oder Abnahme der Kraftlinien in einer Secunde proportional, welche durch die Fläche des Ringes durchgehen.

Bedeutet  $H$  die mittlere Intensität des magnetischen Feldes,  $F$  die Fläche des Ringes, so ist  $HF$  bekanntlich die Anzahl Kraftlinien, welche in der neutralen Ebene die Fläche des Ringes  $RR$  treffen, und  $N = HF \cos \varphi$  die Anzahl der durchgehenden Kraftlinien, wenn die Ringfläche  $rr$  zur Zeit  $t$  mit der neutralen Ebene einen Winkel  $\varphi$  einschliesst, daher ist die elektromotorische Kraft der Induction zur Zeit  $t$

$$E = - \frac{dN}{dt} = HF \sin \varphi \frac{d\varphi}{dt}.$$

Bei gleichförmiger Rotation des Ringes um seine verticale Axe ist die momentane elektromotorische Kraft dem  $\sin \varphi$  proportional, erreicht daher in der neutralen Ebene ein Minimum  $E = 0$  und in einer darauf senkrechten Ebene ein Maximum

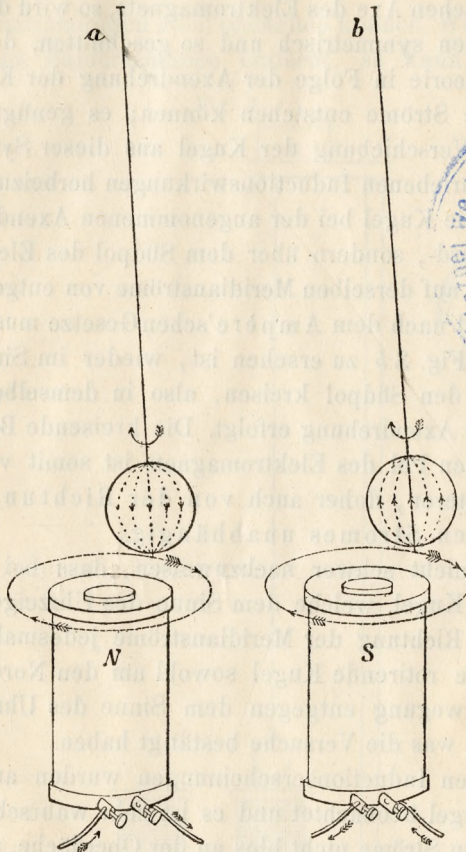
$$E = HF \frac{d\varphi}{dt}.$$

Denken wir uns nun die Kugel durch vertical geführte Meridianschnitte in lauter Ringe getheilt und diese einstweilen durch Luftschichten von einander isolirt. Rotirt die so zertheilte Kugelschale, von oben gesehen, im Sinne des Uhrzeigers Fig. 3 a, so müssen die inducirten Ströme auf der dem Nordpol zugekehrten Seite der Kugel in Meridianen von oben nach unten fließen, während ihre Strömungsrichtung auf der abgewendeten Seite der Kugel selbstverständlich eine entgegengesetzte ist. Die Intensität der elektrischen Ströme wird auf der zugekehrten Seite im mittleren Meridian am grössten sein und nach beiden Seiten nach dem Sinusgesetz abnehmen, wie dies in Fig. 3 a angedeutet ist. Aus der Wechselwirkung zwischen diesen inducirten Strömen und dem Nordpol resultirt, wie leicht einzusehen ist, nach der Ampère's-



schen Regel eine Kraft, welche zu der durch den Magnetpol und den Mittelpunkt der Kugel gelegten Verticalebene transversal

Fig. 3.



wirkt und zusammen mit der Schwerkraft eine kreisförmige Bewegung der Kugel um den Nordpol (von oben gesehen) im Sinne des Uhrzeigers, also im selben Sinne erzeugt, in welchem die Axendrehung der Kugel erfolgt.

Nach dem Lenz'schen Gesetze suchen die inducirten Ströme gleichzeitig die Axendrehung der Kugel aufzuheben und die um den Pol kreisende Kugel muss um ihre Axe nach und nach langsamer rotiren. Nach dem Gesagten wird es nicht schwer fallen, sich die Inductionsströme und ihre Wirkungsweise in einer vollen Kugelschale vorzustellen.



Es wurde bisher vorausgesetzt, dass der rotirende Ring, also auch die Kugel seitwärts von dem Pol des Elektromagnets steht. Liegt die Rotationsaxe der Kugel genau in der Verlängerung der magnetischen Axe des Elektromagnets, so wird die Kugel von den Kraftlinien symmetrisch und so geschnitten, dass nach der Kraftlinientheorie in Folge der Axendrehung der Kugel in derselben keine Ströme entstehen können; es genügt aber schon eine kleine Verschiebung der Kugel aus dieser Symmetrielage, um die beschriebenen Inductionswirkungen herbeizuführen.

Rotirt die Kugel bei der angenommenen Axendrehung nicht über dem Nord-, sondern über dem Südpol des Elektromagnets, so entstehen auf derselben Meridianströme von entgegengesetzter Richtung und nach dem Ampère'schen Gesetze muss die Kugel, wie aus der Fig. 3 b zu ersehen ist, wieder im Sinne des Uhrzeigers um den Südpol kreisen, also in demselben Sinne, in welchem die Axendrehung erfolgt. Die kreisende Bewegung der Kugel um den Pol des Elektromagnets ist somit von der Polarität des letzteren, daher auch von der Richtung des magnetisirenden Stromes unabhängig.

Es ist nicht schwer nachzuweisen, dass bei einer Axendrehung der Kugel, welche dem Sinne des Uhrzeigers entgegen erfolgt, die Richtung der Meridianströme jedesmal eine solche ist, dass die rotirende Kugel sowohl um den Nord- als Südpol eine Kreisbewegung entgegen dem Sinne des Uhrzeigers vollführen muss, was die Versuche bestätigt haben.

Dieselben Inductionerscheinungen wurden auch an einer massiven Kugel beobachtet und es ist sehr wahrscheinlich, dass die inducirten Ströme nicht bloß an der Oberfläche, sondern auch im Inneren der Kugel concentrisch zu den Meridianen der Kugelschale verlaufen.

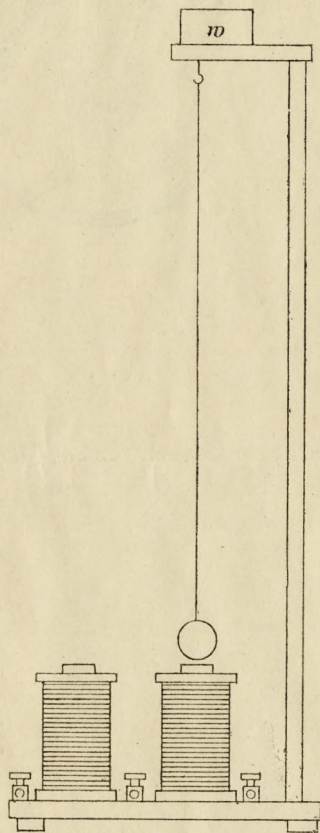
Um sicherzustellen, dass die elektrischen Ströme in der Richtung der Meridiane inducirt werden, wurde eine massive kupferne Kugel senkrecht zu ihrer Rotationsaxe also auch senkrecht zu den Meridianebenen in dünne Scheiben getheilt, diese von einander durch dünnes Papier isolirt und durch eine ebenfalls isolirte Schraube zusammengeschraubt.

Eine solche Kugel rotirt über dem erregten Elektromagnet bloß um ihre eigene Axe, ohne in die Kreisbewegung um den



Pol zu gerathen, und die Geschwindigkeit der Axendrehung wird selbst durch die Wirkung zweier Magnetpole nicht im mindesten beeinflusst, offenbar weil in der Kugel die elektrischen Ströme in den Meridianrichtungen nicht entstehen können. Werden jedoch die isolirenden Papierscheiben entfernt, so kann sowohl die

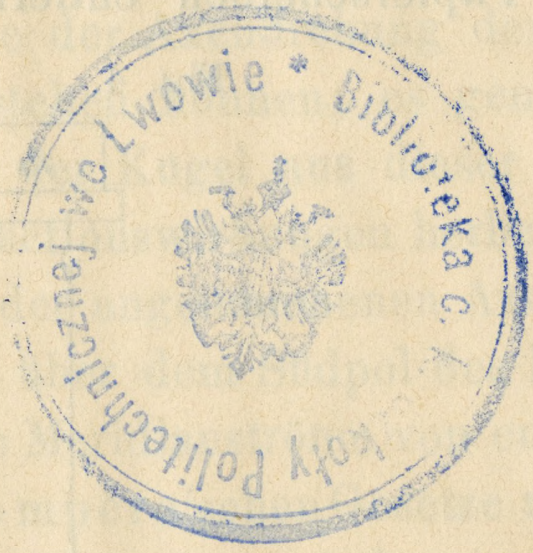
Fig. 4.



beschriebene kreisende Bewegung um den Pol als auch die gleichzeitige Hemmung der Axendrehung beobachtet werden.

In der Fig. 4 ist ein Apparat dargestellt, welcher für die Ausführung der hier beschriebenen Versuche geeignet ist. Die kupferne Kugel hängt auf einer verticalen Axe, welche durch ein Uhrwerk *w* in drehende Bewegung versetzt werden kann.







# Druckschriften

## der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien

(Mathematisch-naturwissenschaftliche Classe).

### Selbständiges Werk.

Die internationale Polarforschung 1882–1883. Die österreichische Polarstation **Jan Mayen**.

Band I enthält den Vorbericht der Expedition, ferner die astronomischen, geographischen, meteorologischen und oceanographischen Resultate der Expedition.

Band II umfasst die Polarlicht- und Spectralbeobachtungen auf Jan Mayen.

Band III Naturhistorischer Theil. 1. Zoologie. 2. Botanik. 3. Mineralogie. Das ganze Werk, drei Quartbände. (Mit 4 Karten, 65 Tafeln und 10 Holzschnitten.) . . . . . 30 fl.

Vorbericht der Expedition. Separatausgabe aus dem I. Bande dieses Werkes. Derselbe bildet den beschreibenden Theil der Expedition. (Mit 1 Karte und 3 Tafeln.) . . . . . 2 fl. 75 kr.

### Periodische Publicationen.

[Physik.]

#### Aus den Denkschriften für 1885.

Unterweger, J., Beiträge zur Erklärung der kosmisch-terrestrischen Erscheinungen. Über das Polarlicht. (Mit 2 Tafeln.) . . . . . 1 fl. 70 kr.

#### Aus den Sitzungsberichten für 1885.

Adler, G., über die Energie magnetisch polarisirter Körper, nebst Anwendung der bezüglichen Formeln insbesondere auf Quincke's Methode zur Bestimmung der Diamagnetisirungszahl. . . . . — fl. 18 kr.

Aulinger, E., über das Verhältniss der Weber'schen Theorie der Elektrodynamik zu dem von Hertz aufgestellten Princip der Einheit der elektrischen Kräfte. (Mit 2 Holzschnitten.) . . . . . — fl. 15 kr.

Boltzmann, L., über einige Fälle, wo die lebendige Kraft nicht integrierender Nenner des Differentials der zugeführten Energie ist. . . . . — fl. 22 kr.

Czermak, P. und Hiecke, R., Pendelversuche. (Mit 6 Tafeln.) . . . . . 1 fl. 20 kr.

Ebner, V. v., die Lösungsflächen des Kalkspathes und des Aragonites. II. Die Ätzfiguren des Kalkspathes. III. Die Lösungsflächen des Aragonites. (Fortsetzung und Schluss.) (Mit 6 Tafeln.) . . . . . 2 fl. — kr.

Exner, K., Bemerkung über die Lichtgeschwindigkeit im Quarze. . . . . — fl. 10 kr.

Glan, P., ein Grundgesetz der Complementärfarben. . . . . — fl. 10 kr.

Gross, Th., über eine neue Entstehungsweise galvanischer Ströme durch Magnetismus. — fl. 20 kr.

Handl, A., über ein neues Hydromensimeter. (Mit 1 Holzschnitt.) . . . . . — fl. 5 kr.

Hann, J., die Temperaturverhältnisse der österreichischen Alpenländer. II. Theil. Die Temperaturverhältnisse von Wien und Umgebung, nebst einer Studie über den Nachweis von Localeinflüssen auf die Temperaturmittel. . . . . — fl. 40 kr.  
— die Temperaturverhältnisse der österreichischen Alpenländer. III. Theil. (Schluss.) 1 fl. 30 kr.

Hepperger, J. v., über die Verschiebung des Vereinigungspunktes der Strahlen beim Durchgange eines Strahlenbüschels monochromatischen Lichtes durch ein Prisma mit gerader Durchsicht. (Mit 2 Holzschnitten.) . . . . . — fl. 25 kr.  
— über Krümmungsvermögen und Dispersion von Prismen. (Mit 8 Holzschnitten.) — fl. 40 kr.

Klemenčič, J., Experimentaluntersuchung über die Dielektricitätsconstante einiger Gase und Dämpfe. (Mit 1 Tafel.) . . . . . — fl. 60 kr.

Lang, V. v., Messung der elektromotorischen Kraft des elektrischen Lichtbogens. (Mit 2 Holzschnitten.) . . . . . — fl. 10 kr.

Lippich, F., über polaristrobometrische Methoden, insbesondere über Halbschattenapparate. (Mit 1 Tafel.) . . . . . — fl. 40 kr.

Liznar, J., über den täglichen und jährlichen Gang, sowie über die Störungsperioden der magnetischen Declination zu Wien. (Mit 3 Tafeln.) . . . . . — fl. 40 kr.

Mach, E., zur Analyse der Tonempfindungen. . . . . — fl. 10 kr.

— und Arbes, J., einige Versuche über totale Reflexion und anormale Dispersion. (Mit 17 Holzschnitten.) . . . . . — fl. 15 kr.

— und Wentzel, J., ein Beitrag zur Mechanik der Explosionen. (Mit 11 Holzschnitten.) — fl. 20 kr.

Moser, J., elektrische und thermische Eigenschaften von Salzlösungen. . . . . — fl. 8 kr.

Oppenheim, S., über die Rotation und Präcession eines flüssigen Sphäroids. . . . . — fl. 40 kr.

Pitsch, H., über die Isogyrenfläche der doppeltbrechenden Krystalle. (Mit 1 Tafel.) — fl. 45 kr.

Schilling, G. A., über die Herstellung eines homogenen magnetischen Feldes an der Tangentenboussole zur Messung intensiver Ströme. (Mit 5 Holzschnitten.) . . . . . — fl. 22 kr.