SUB | NIEDERSÄCHSISCHE STAATS- UND UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK GÖTTINGEN

Werk

Jahr: 1929
Kollektion: fid.geo
Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:5
Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Werk Id: PPN101433392X_0005
PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0005

LOG Id: LOG_0080
LOG Titel: Über das Vorhandensein einer magnetischen Wirkung durch rotierende Massen und die Ursache des Erd- und Sonnenmagnetismus
LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X
PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X
OPAC: http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.
Each copy of any part of this document must contain there Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.
Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Über das Vorhandensein einer magnetischen Wirkung durch rotierende Massen und die Ursache des Erd- und Sonnenmagnetismus.

Von **H. Haalck.** — (Mit einer Abbildung.)

Rotiert eine Masse um sich selbst, so werden dadurch sowohl die positiven Ladungen der Atomkerne als auch die negativen Ladungen der Elektronen transportiert. Die durch diese Bewegung der positiven und der negativen Elektrizitätsmengen hervorgerufenen Magnetfelder heben sich gegenseitig nicht vollständig auf, sondern es muß infolge der Bewegung der Elektronen um die Atomkerne die durch die Rotation des Körpers verursachte magnetische Wirkung der negativen Ladungen etwas überwiegen. Nach den bisherigen experimentellen Untersuchungen liegt die sich daraus ergebende magnetische Wirkung rotierender Massen unter der Empfindlichkeit der heutigen Meßinstrumente. Es besteht jedoch die Möglichkeit, daß unter den im Erdinnern herrschenden Temperaturen und Drucken der atomistische Aufbau der Materie ein solcher ist, daß das Vorhandensein des Erdmagnetismus durch diesen rotationsmagnetischen Effekt verursacht wird.

Von den verschiedenen Erklärungsmöglichkeiten für das Vorhandensein des Erdmagnetismus ist bis jetzt nur eine, nämlich die Erklärung durch die magneto-mechanische Wirkung der Rotation der Elektronen, physikalisch begründet. Ein Atom stellt einerseits — infolge der Rotation der elektrischen Ladung der Elektronen — einen Elementarmagneten, andererseits — infolge der Rotation der Elektronenmassen — einen mechanischen Kreisel dar. Rotiert nun die Masse, in welcher sich das Atom befindet, so entsteht, wie aus der Kreiseltheorie bekannt ist, ein Drehmoment, welches die Achse des Atoms parallel zur Drehachse des Körpers zu stellen strebt. Dadurch wird der Körper magnetisiert. Die Versuche von Einstein und de Haas*) einerseits, welche einen Stab aus weichem Eisen durch rasches Ummagnetisieren in Drehung versetzten, und von Barnett**) andererseits, dem es gelang, Eisenstäbe durch schnelle Rotation zu magnetisieren, haben diese theoretisch vorausgesetzte Wirkung auch experimentell nachgewiesen. Die Anwendung der Beziehung auf Erde und Sonne läßt aber erkennen, daß der Erd- und Sonnenmagnetismus nicht auf gyrostatische Wirkungen dieser Art zurückgeführt werden kann. Zwar entspricht die sich theoretisch ergebende Magnetisierungsrichtung derjenigen des Sonnen- bzw. des Erdfeldes, aber man erhält eine Magnetisierung der Volumeinheit, welche mehr als 10^{10} mal kleiner ist als die beobachtete der Erde, und das Verhältnis der spezifischen Magnetisierung der Sonne zu derjenigen der Erde ergibt sich als etwa 2800 mal so klein als der beobachtete Wert. Die Ursache muß also in einer anderen Wirkung gesucht werden.

*) Einstein und de Haas: Experimenteller Nachweis der Ampèreschen Molekularströme. Ber. d. Deutschen Physik. Ges. **17** (1915).

**) S. J. Barnett: Magnetisation by Rotation. Phys. Rev., Vol. VI, Nr. 4, 1915 und 1917. Yearbook Carnegie Institution Washington for 1922, S. 284.

In der Atomtheorie ist bekannt, daß zwischen neutralen Atomen eine Abstoßungskraft besteht, welche darauf zurückzuführen ist, daß die Wirkung der negativen Elektronenladungen infolge ihrer Rotation um den Atomkern diejenige der gleich großen positiven Kernladung etwas übertrifft. Diese Kraft ist aber äußerst klein und nimmt etwa mit der siebenten oder höheren Potenz des Abstandes ab*), so daß sie nur bei sehr kleinen Entfernungen der Atome wirksam wird, dann aber mit der Verringerung des gegenseitigen Abstandes sehr schnell auf große Beträge ansteigt. Es liegt nun der Gedanke nahe, daß bei der Rotation eines Körpers die Wirkung der negativen Elektronenladungen ebenfalls diejenige der positiven Kernladungen übertrifft, so daß also ein magnetischer Effekt des rotierenden Körpers entstehen würde, der aber nicht zu verwechseln ist mit der gyroskopischen Wirkung der Elektronen. Tatsächlich läßt sich, wie im folgenden gezeigt werden soll, aus dem atomistischen Aufbau der Materie ein solcher Effekt ableiten, auf den möglicherweise die Ursache des Erd- und Sonnenmagnetismus zurückgeführt werden kann.

Um die Vorgänge, die bei der Rotation eines Körpers in den einzelnen Atomen entstehen, von allen Nebenerscheinungen möglichst zu abstrahieren, werde zunächst angenommen, daß die Masse den einfachsten atomistischen Aufbau besitze, d. h. um einen positiv geladenen Atomkern von der Ladung $+ z \cdot e$, wo z also die Kernladungszahl bedeutet, rotieren z negativ geladene Elektronen von der Ladung e in Kreisbahnen mit den Radien a_1, $a_2 \ldots a_n$, und zwar werde die Zahl der in den Abständen a_1, $a_2 \ldots a_n$ rotierenden Elektronen entsprechend bezeichnet mit c_1, $c_2 \ldots c_n$. Es ist also

$$z = c_1 + c_2 \ldots c_n.$$

Die Masse werde als absolut starr vorausgesetzt, d. h. die Lage der einzelnen Atome, oder genauer ausgedrückt, die Lage ihrer Schwerpunkte sei relativ zueinander konstant. Da die Masse eines Protons das 1846 fache derjenigen eines Elektrons beträgt, so ist für jede Substanz die Bahn des Atomkerns um den Atomschwerpunkt im Vergleich zu derjenigen des Elektrons so klein, daß für die folgenden Betrachtungen Atomkern und Atomschwerpunkt als zusammenfallend angesehen werden können. Ferner werde angenommen, daß, wie es bei unmagnetisierten Massen der Fall ist, keine Orientierung der Elektronenbahnen vorherrschend ist, so daß also in jedem Zeitmoment, wenn man die Gesamtheit aller Atome betrachtet, alle möglichen Lagen der Elektronen relativ zu den Atomkernen gleich häufig vorkommen, d. h. alle Punkte auf den Elektronenschalen — das sind die Kugeln mit den Radien $a_1 \ldots a_n$ um die Atomkerne — werden in jedem Zeitmoment gleich häufig von den Elektronen eingenommen. Für das einzelne Atom trifft diese Annahme nicht zu; betrachten wir aber die Gesamtheit der Atome, so wird sie — wenn die Masse nicht magnetisiert ist — sehr genau erfüllt.

*) Vgl. z. B. P. Debye: Phys. Zeitschr. **22**, 302 (1921).

Zwischen der Entfernung ϱ' eines einzelnen Elektrons E und der Entfernung ϱ des zugehörigen Atomkerns P von der Umdrehungsachse A des Körpers besteht nach Fig. 1 für jeden Zeitmoment die Beziehung:

$$\varrho' = \sqrt{(\varrho + a_\nu \cos\varphi \cos\psi)^2 + a_\nu^2 \cos^2\varphi \sin^2\psi}.$$

In eine Reihe nach $\frac{a_\nu}{\varrho}$ entwickelt

$$\varrho' = \varrho \left\{1 + \frac{a_\nu}{\varrho} \cos\varphi \cos\psi + \frac{1}{2} \frac{a_\nu^2}{\varrho^2} \cos^2\varphi \sin^2\psi \ldots\right\},$$

$$\varrho'^2 = \varrho^2 \left\{1 + 2\frac{a_\nu}{\varrho} \cos\varphi \cos\psi + \frac{a_\nu^2}{\varrho^2} \cos^2\varphi \cdots\right\}.$$

Wir betrachten jetzt die Gesamtheit aller Atome, deren Kerne die Entfernung ϱ von der Umdrehungsachse A besitzen und fragen: Wie groß ist der

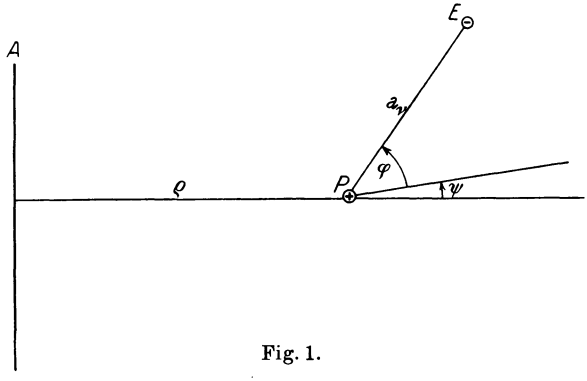

Fig. 1.

Mittelwert für das Quadrat der Entfernung ϱ' der Elektronen, deren Abstand von dem Atomkern gleich a_ν ist?

Da alle möglichen Lagen der Elektronen relativ zum Atomkern in jedem Zeitmoment gleich häufig vorkommen sollen, so kommt jeder Wert von ψ gleich häufig vor; die Häufigkeit, mit welcher ein Wert von φ vorkommt, ist dagegen proportional $\cos\varphi$. Die Mittelbildung ergibt dann:

$$\varrho_\nu'^2 = \varrho^2 \frac{2\int_0^{\pi/2}\int_0^{2\pi} \left\{1 + 2\frac{a_\nu}{\varrho} \cos\varphi \cos\psi + \frac{a_\nu^2}{\varrho^2} \cos^2\varphi \cdots\right\} p \cdot \cos\varphi \, d\varphi \, d\psi}{2\int_0^{\pi/2}\int_0^{2\pi} p \cdot \cos\varphi \, d\varphi \, d\psi},$$

wo p einen Proportionalitätsfaktor bedeutet.

Daraus ergibt sich:

$$\varrho_\nu'^2 = \varrho^2 \left(1 + \frac{2}{3} \frac{a_\nu^2}{\varrho^2} \cdots\right),$$

d. h. das Quadrat des Abstandes eines Elektrons von der Umdrehungsachse des Körpers ist im Mittel über die Gesamtheit aller Elektronen für jeden Zeitmoment um den Betrag $\frac{2}{3} a_\nu^2$ größer als dasjenige des zugehörigen Atomkerns*).

Das magnetische Moment M eines Stromkreises vom Radius r, der Stromstärke i ist:

$$M = i r^2 \pi,$$

und zwar befindet sich der positive magnetische Pol, wenn der Strom im Uhrzeigersinne fließt, unten. Rotiert jetzt die Masse mit der Winkelgeschwindigkeit w um die Achse A, so wird also durch die Bewegung jedes einzelnen Atoms einmal eine positive Elektrizitätsmenge $+ z.e$ im Abstande ϱ von der Umdrehungsachse A transportiert, welches einer Stromstärke $i = \frac{z.e.w}{2\pi}$ in Richtung der Rotation entspricht, zweitens z negative Elektrizitätsmengen $-e$ in den Abständen $\varrho_1' \ldots \varrho_n'$, welches einer gleichen Stromstärke aber in entgegengesetzter Richtung entspricht. Jedes Atom würde also bei der Rotation der Masse ein magnetisches Moment von der Größe

$$M = \frac{ew}{2\pi} \pi \left\{ z \cdot \varrho^2 - \sum_{\nu=1}^{\nu=n} c_\nu \varrho_\nu'^2 \right\}$$

erzeugen.

Nun führt aber jedes Elektron noch eine zweite Bewegung aus, nämlich die schnelle Rotation um den Atomkern. Der Abstand ϱ' ändert sich infolgedessen mit φ und ψ in sehr schneller Periode, und zwar ist diese Änderung für jedes Elektron verschieden, je nachdem, wie die betreffende Elektronenbahn zur Umdrehungsachse A der Masse orientiert ist. Im Mittel über die Gesamtheit aller Elektronen gilt aber für die Entfernung ϱ' der oben abgeleitete Satz. Betrachten wir die Kollektivwirkung sämtlicher Atome, so wird also im Mittel aus allen Atomen das magnetische Moment eines einzelnen Atoms

$$M = -ew \frac{1}{3} \sum_{\nu=1}^{\nu=n} c_\nu a_\nu^2.$$

---

*) In folgenden extremen Fällen würde sein: a) Alle Elektronenbahnen um die Atomkerne seien parallel der Rotationsebene des Körpers, d. i. $\varphi = 0$ (d. h. die Masse ist in Richtung der Umdrehungsachse magnetisiert):

$$\varrho_\nu'^2 = \varrho^2 \left(1 + \frac{a_\nu^2}{\varrho^2} \cdots\right);$$

b) Die Achsen der Elektronenbahnen sind senkrecht zur Umdrehungsachse gerichtet (d. h. jeder Wert von φ kommt gleich häufig vor): 1. $\psi = 90^0$ (d. h. die Masse ist radial magnetisiert):

$$\varrho_\nu'^2 = \varrho^2 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{a_\nu^2}{\varrho^2} \cdots\right);$$

2. $\psi = 0^0$ (d. h. die Magnetisierungsrichtung des Körpers ist kreisförmig um die Umdrehungsachse des Körpers):

$$\varrho_\nu'^2 = \varrho^2 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{a_\nu^2}{\varrho^2} \cdots\right).$$

Die Unterschiede sind also auch in den extremen Fällen nur unerheblich.

Bedeutet $f = \frac{\mathfrak{L}\sigma}{A}$ die Zahl der Atome in der Volumeinheit der betreffenden Masse, wo $\mathfrak{L}$ die Loschmidtsche Zahl, σ das spezifische Gewicht, A das Atomgewicht bedeuten, so folgt für das magnetische Moment μ der Volumeinheit, die als „scheinbare" spezifische Magnetisierung bezeichnet werde:

$$\mu = -\frac{1}{3}\frac{e.w.\mathfrak{L}\sigma}{A}\sum_{\nu=1}^{\nu=n} c_\nu a_\nu^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Die Voraussetzung der absoluten Starrheit der Masse ist praktisch unwesentlich, da die Verschiebungen der Atomschwerpunkte überhaupt keinen Einfluß auf den behandelnden Effekt haben. Die Berücksichtigung der exakteren elektronen-theoretischen Sätze, wie z. B. die Exentrizität der Elektronenbahnen, der Mitbewegung der Atomkerne, die relativistische Abhängigkeit der Elektronenmasse von ihrer Geschwindigkeit oder dgl., können ebenfalls das Resultat, wie es in Formel (1) dargestellt ist, nicht merklich ändern. Der physikalische Zustand der Masse beeinflußt den Wert von μ offenbar nur wenig; ausschlaggebend ist außer der Winkelgeschwindigkeit die Art und der Aggregatzustand der Materie. Bei der Bezeichnung der Größe μ als „scheinbare" Magnetisierung der Volumeinheit muß darauf hingewiesen werden, daß es sich bei diesem rotationsmagnetischen Effekt nicht um eine Magnetisierung in gewöhnlichem Sinne handelt: Unter Magnetisierung einer Masse versteht man stets eine mehr oder weniger gleichmäßige Orientierung der Molekularmagnete, sei sie durch ein äußeres Magnetfeld oder durch die magneto-mechanische Wirkung der Rotation der Elektronen verursacht. Der beschriebene rotationsmagnetische Effekt hat aber mit einer Orientierung der Elementarmagnete nichts zu tun, sondern ist eine direkte magnetische Wirkung der Rotation einer Masse.

Die numerischen Werte sind:

$$e = 4.774 \,.\, 10^{-10} \text{ elst. Einh.},$$

$$\mathfrak{L} = 6.06 \,.\, 10^{23}.$$

Numerische Werte für die Größe $\sum_{\nu=1}^{\nu=n} c_\nu a_\nu^2$ wird man für die einzelnen Stoffe nur innerhalb sehr weiter Grenzen angeben können, da die Verteilung der Elektronen auf den einzelnen Elektronenschalen unbekannt ist. Bedeutet a_n den Atomradius, so muß also $\sum_{\nu=1}^{\nu=n} c_\nu a_\nu^2$ stets kleiner sein als $\varepsilon \,.\, a_n^2$; da andererseits der Atomradius für kein Element kleiner sein kann, als etwa 10^{-12} cm, so muß $\sum_{\nu=1}^{\nu=n} c_\nu a_\nu^2$ auf jeden Fall größer sein als $\varepsilon \,.\, 10^{-24}$ cm.

Es werde jetzt geprüft, ob der theoretisch abgeleitete rotationsmagnetische Effekt sich experimentell bei Laboratoriumsversuchen wird beobachten lassen. Für Eisen hat man für den Atomradius a_n nach verschiedenen

Methoden etwa den Wert a_n $1.24 \cdot 10^{-8}$ bis $1.40 \cdot 10^{-8}$ cm gefunden*). Legen wir die Werte

$$\sigma = 7.8, \quad z = 26, \quad A = 55.6, \quad a_n = 1.3 \cdot 10^{-8}, \quad T = 1^s$$

der Rechnung zugrunde, so muß der wirkliche Wert von μ nach Gleichung (1) also zwischen den Grenzen $\mu_1 = 0.37$ und $\mu_2 = 2.2 \cdot 10^{-9}$ liegen.

Experimentell hat Barnett**) bei seinen Versuchen für eine Umdrehung in der Sekunde einen Wert von $\mu = 1.5 \cdot 10^{-6}$ gefunden, der aber auf die magneto-mechanische Wirkung der Elektronen zurückgeführt wird. Daraus, daß sich also experimentell der theoretisch abgeleitete Effekt nicht zeigt, folgt, daß der Ausdruck $\sum_{\nu=1}^{\nu=n} c_\nu a_\nu^2$ für Eisen kleiner als $1.8 \cdot 10^{-20}$ ist, was durchaus innerhalb der gefundenen Grenzen liegt***).

Die Anwendung der theoretischen Ergebnisse auf Erde und Sonne ergibt zunächst, daß die Richtung der beobachteten Magnetisierung in beiden Fällen dem theoretischen Resultat entspricht: Erfolgt die Rotation dem Uhrzeiger entgegengesetzt, so befindet sich der negative Magnetpol oben. Als spezifische Magnetisierung hat der rotationssymmetrische Teil des Erdfeldes einen Wert von $\mu = 0.074$ ergeben, während die Magnetisierung der Volumeinheit der Sonne nach den Beobachtungen des Zeemaneffektes von Hale sich als etwa 80 mal so stark als diejenige der Erde erwiesen hat. Mit diesen Werten für die scheinbare spezifische Magnetisierung würde sich nach der theoretischen Formel (1) für den Ausdruck $\frac{1}{A} \sum_{\nu=1}^{\nu=n} c_\nu a_\nu^2$, welcher in beiden Fällen vollkommen unbekannt ist, ergeben:

a) für die Erde $\quad \frac{1}{A} \sum_{\nu=1}^{\nu=n} c_\nu a_\nu^2 = 1.9 \cdot 10^{-12}$,

b) für die Sonne $\quad \frac{1}{A} \sum_{\nu=1}^{\nu=n} c_\nu a_\nu^2 = 1.8 \cdot 10^{-8}$.

Würden wir diese Werte für den Ausdruck $\frac{1}{A} \sum_{\nu=1}^{\nu=n} c_\nu a_\nu^2$ für die Materie im Innern der Körper einsetzen, so würde damit also das Vorhandensein des Erd- und Sonnenmagnetismus durch den theoretisch abgeleiteten rotationsmagnetischen Effekt vollkommen erklärt werden. Es fragt sich aber: Kann man solche numerischen Werte für diesen Ausdruck einsetzen, wo doch nach den Versuchsergebnissen von Barnett die Größe $\frac{1}{A} \sum_{\nu=1}^{\nu=n} c_\nu a_\nu^2$ für Eisen ganz beträchtlich

*) Vgl. z. B. Handb. d. Physik **22**, 501, Berlin 1926.

**) J. Barnett: a. a. O.

***) Experimentelle Versuche, ob die rotationsmagnetische Wirkung bei anderen Stoffen als Eisen (z. B. Glas, Messing oder dgl.) eine meßbare Größe erreicht, sind meines Erachtens wünschenswert.

kleiner sein muß? Für Eisen, wie es bei Laboratoriumsversuchen zur Verfügung steht, muß man aus diesem Grunde die Frage verneinen. Wie verhält es sich aber bei einer Materie bei so gewaltiger Temperatur und unter so hohem Drucke wie die Massen im Erdinnern? Hier fehlen sichere Anhaltspunkte vollkommen; ein Beweis, daß der Erd- und Sonnenmagnetismus durch die rotationsmagnetische Wirkung hervorgerufen wird, wird daher durch die vorstehenden Ausführungen keineswegs erbracht. Vergleichen wir aber die entwickelte Theorie mit den übrigen zahlreichen Versuchen, die Ursache des Erdmagnetismus zu erklären — sei es durch die magneto-mechanische Wirkung der Rotation der Elektronen, durch die Bewegung einer positiven Raumladung oder einer negativen Oberflächenladung der Erde infolge der Erdrotation, durch elektrische Ströme im Erdinnern, durch Induktion, durch eine Magnetisierung in früheren Entwicklungsperioden, oder sei es durch geringe Abweichungen der wirklichen physikalischen Gesetze von der Form, in welcher man sie anwendet —, so ist zu beachten, daß sie keine bloße Hypothese ist, sondern — ebenso wie der Erklärungsversuch durch die magneto-mechanische Wirkung der Rotation der Elektronen — durchaus eine sichere physikalische Begründung besitzt*). Dadurch, daß sie das Vorhandensein des Erd- und Sonnenmagnetismus in Beziehung bringt zu dem atomistischen Aufbau der Materie bei außerordentlich hohen Temperaturen, enthält sie aber einen unbekannten Faktor, da wir nicht wissen, wie sich die Materie bei so hohen Temperaturen und Drucken verhält. Immerhin darf nicht verkannt werden, daß die Möglichkeit — und sogar eine gewisse Wahrscheinlichkeit — besteht, daß die Ursache des Erd- und Sonnenmagnetismus in dem theoretisch abgeleiteten rotationsmagnetischen Effekt zu suchen ist**).

---

*) Der mathematische Beweis, daß die abgeleitete magnetische Wirkung rotierender Massen tatsächlich vorhanden sein muß, läßt sich auch auf anderem Wege erbringen, z. B. mit Hilfe des Energiesatzes. Noch klarer und einfacher wird die Beweisführung für die auf S. 362, Anm. *) betrachteten Spezialfälle.

**) Die Annahme eines Atomradius von der Größenordnung 10^{-6} cm für die Materie im Erdinnern würde schon genügen, um die Ursache des Erdmagnetismus durch den rotationsmagnetischen Effekt vollkommen zu erklären. Freilich würde, da das spezifische Gewicht der Massen im Erdinnern von der Größenordnung 9 bis 11 ist, das Atomgewicht ganz unvergleichlich viel größer sein müssen als bei den auf der Erdoberfläche bekannten Elementen. — Zu der entschiedenen Ablehnung, welche die auf der Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft in Dresden vorgetragene Theorie seitens der Fachgelehrten erfuhr, möchte ich bemerken, daß ich die vorgebrachten Einwände nicht als stichhaltig ansehen kann. Was zunächst das Vorhandensein des rotationsmagnetischen Effekts an sich anbelangt, so möchte ich auf die mathematische Ableitung hinweisen. Was das entgegengehaltene Versuchsergebnis von Barnett anbetrifft, so ist bereits darauf eingegangen (vgl. S. 364). Ferner darf die Tatsache, daß schon viele Hypothesen über die Ursache des Erdmagnetismus vorhanden sind, die aber alle keine befriedigende Erklärung geben können, nicht hindern, jeder theoretischen Untersuchung, sobald sie physikalisch genügend begründet ist, nachzugehen, um die Ursache des Erdmagnetismus, die als eines der wesentlichsten großen ungelösten Probleme der Geophysik immer wieder zum Nachdenken reizt, aufzufinden.