

Gravitomagnetisches Feld - experimentell nachgewiesen?

Übersicht zu neuesten Forschungsergebnissen

Zusammenfassung einer Arbeit von F. Scholkmann und T. Ganka durch Adolf Schneider

Österreichische Forscher um den Physiker Dr. Martin Tajmar berichteten im letzten Jahr, dass sie mit großer Wahrscheinlichkeit erstmals im Laborexperiment mit einem rotierenden Supraleiter die von der Allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagte gravitomagnetische Kraft nachweisen konnten. Überraschenderweise stellte sich heraus, dass die gemessene Kraft wesentlich größer als erwartet war. Die beiden Physikstudenten Felix Scholkmann und Thomas Ganka gingen der Frage nach, was unter einer gravitomagnetischen Kraft zu verstehen ist und welche Bedeutung gravitomagnetische Kräfte für die moderne Physik und Technik haben könnten. An dieser Stelle bringen wir für die Leser des NET-Journals eine zusammenfassende Übersicht. Wer die ausführliche wissenschaftliche Darstellung mit detaillierten Quellenangaben studieren will, findet den entsprechenden Beitrag auf der Borderlands-Webseite¹.

Gravitoelektromagnetismus und Gravitomagnetismus

Die Begriffe „Gravitoelektromagnetismus“ bzw. „Gravitomagnetismus“ sind selbst unter Physikern immer noch recht unbekannt. Dies ist vor allem dadurch begründet, dass die klassische Mechanik zwar das Gravitationsfeld einer ruhenden Masse definiert, jedoch keine Aussagen über Gravitationseffekte einer sich bewegenden Masse macht.

Einige Physiker wie Maxwell, Holzmüller, Tisserand und Heaviside vermuteten bereits im vorletzten Jahrhundert die Existenz einer zusätzlichen Komponente der Gravitation. Auch Einstein spekulierte 1913 in diese Richtung, und De Sitter schloss sich 1916 den Vermutungen von Holzmüller und Tisserand an, dass

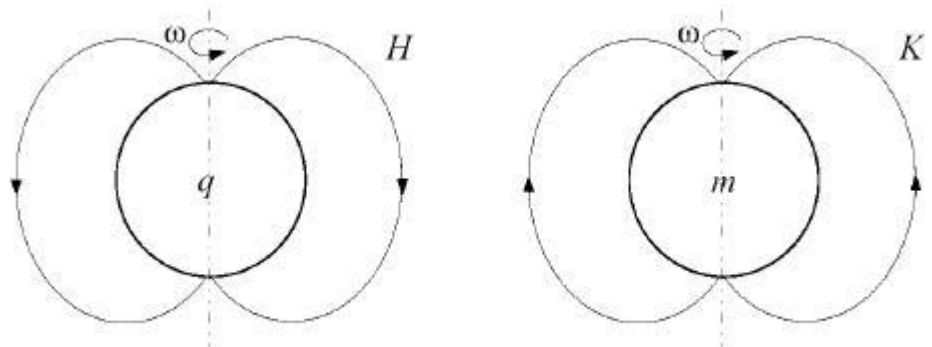
das durch die Sonne verursachte „gravitomagnetische“ Feld Auswirkungen auf die Planetenbahnen hat.

1918 konnten dann die österreichischen Physiker Thirring und Lense aufzeigen, dass nach der 1915 von Einstein fertiggestellten Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) eine bewegte Masse tatsächlich eine neue Art von Feld erzeugen müsse. Würde die Masse rotieren, so hätte dies eine Präzession der Orbits der die Masse umkreisenden Objekte zur Folge (Thirring-Lense-Effekt).

1963 vervollständigte der Physiker Forward diesen Ansatz, indem er darlegte, wie die Einsteinsche Feldgleichung durch Linearisierung in Gleichungen überführt werden kann, die eine analoge Struktur zu den Maxwell-Gleichungen haben. Aus

Aber nicht nur die Allgemeine Relativitätstheorie fordert, dass die Gravitation aus diesen beiden Komponenten besteht. 1992 wies der russische Forscher O. D. Jefimenko darauf hin, dass es einen „magnetischen“ Aspekt der Gravitation geben muss, damit Impuls- und Energieerhaltung bei allen mechanischen Vorgängen uneingeschränkt gewährleistet sind. Sogar aus der klassischen Newtonschen Mechanik kann die Existenz eines gravitomagnetischen Feldes abgeleitet werden, wie dies 2006 Behera gezeigt hat.

Wie oben bereits erwähnt, entspricht das gravitoelektrische Feld dem „normalen“ (Newtonschen) Gravitationsfeld, während das gravitomagnetische Feld - auch als gravitomagnetisches Feld bezeichnet - als



Das gravitomagnetische Feld einer rotierenden Masse (rechts) hat eine ähnliche Form wie das magnetische Feld einer rotierenden Ladung (links).

den Gleichungen folgt, dass die Gravitation aus zwei Komponenten besteht, die je nach Bewegungsart der Masse induziert werden:

- Eine ruhende Masse erzeugt ein gravitoelektrisches Feld (g-Feld).
- Eine bewegte Masse erzeugt ein gravitomagnetisches Feld (K-Feld). Dieser Ansatz, der die Gravitation als Summe zweier Komponenten (der gravitoelektrischen und der gravitomagnetischen) ansieht, wird als Gravitoelektromagnetismus (GEM) bezeichnet.

Nicht-Newtonsches Gravitationsfeld anzusehen ist. Die gravitoelektrische Kraft entspricht hierbei der „normalen“ Newtonschen Gravitationskraft, während die gravitomagnetische Kraft eine dynamische Komponente der Gravitation bezeichnet.

Wichtig ist es, zu verstehen, dass die gravitomagnetische Kraft bzw. das gravitomagnetische Feld dabei nichts mit Magnetismus zu tun hat! Der Begriff „magnetisch“ soll in der Terminologie des GEM-Modells in diesem Zusammenhang nur auf die



Der Nachweis eines gravitomagnetischen Feldes konnte mit finanzieller Unterstützung der ESA und der US Air Force Forschungslaboratorien der Seibersdorf research GmbH in Seibersdorf, Österreich, realisiert werden.

Analogie zwischen der Natur des Magnetismus und der Natur des Gravitomagnetismus hindeuten – beide Komponenten entstehen erst im dynamischen Fall (das heisst, wenn die Ladung bzw. die Masse bewegt wird). "Gravitodynamisch" wäre daher nach Ansicht von Scholkman/Ganka die bessere Bezeichnung gewesen.

Gravitomagnetische Effekte bei Satelliten

Seit einigen Jahren versuchte man, anhand von Bahnabweichungen von Satelliten den Effekt einer gravitomagnetischen Kraft nachzuweisen, wie sie gemäss dem Postulat von H. Thirring und J. Lense von 1920er zu erwarten ist. Danach liegt

das gravitomagnetische Feld der Erde liegt in der Größenordnung von 10^{-14} rad/s². Nach vierjähriger Experimentdauer mit dem Satelliten LAGEOS liess sich 1998 ein Effekt nachweisen, der $110\% \pm 20\%$ so groß war, wie die Theorie vorhersagte. Nach wesentlicher Verbesserung der Experimente gelang es 2004, die Signale so genau zu bestimmen, dass die Werte zu $99\% \pm 5\%$ dem erwarteten Wert entsprachen.

Noch aktuellere Messungen sollen im Frühjahr 2007 veröffentlicht werden, die mit der Gravity Probe B durchgeführt wurden. Es handelt sich um die Auswertung der Präzession von vier Gyroskopen, die in dem im Frühjahr 2004 hochgeschossenen Satelliten LAGEOS II installiert sind. Durch das gravitomagnetische Feld der Erde sollte sich eine Winkeländerung in der Größe von 40,9 Millibogensekunden/Jahr ergeben.

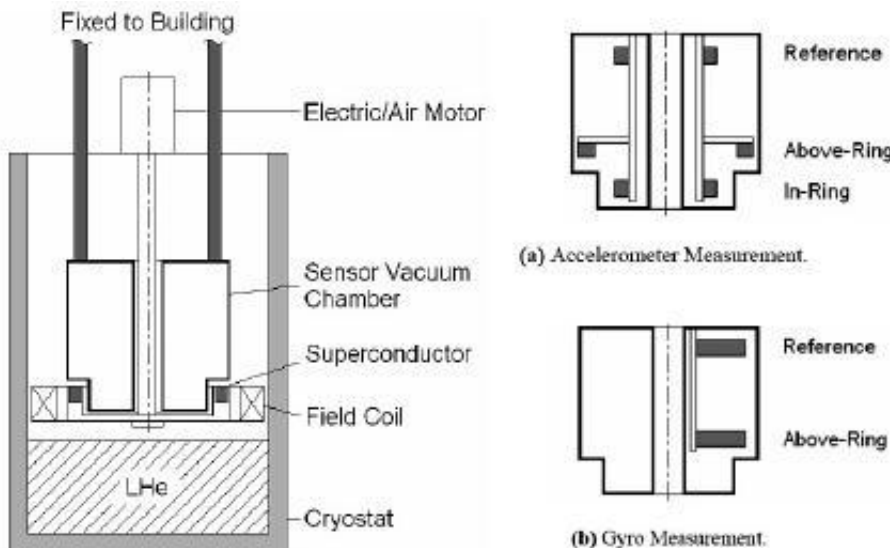
Gravitomagnetische Effekte im Labor

Bisher erschien es aussichtslos, die geringen Effekte im Labor nachweisen zu können.

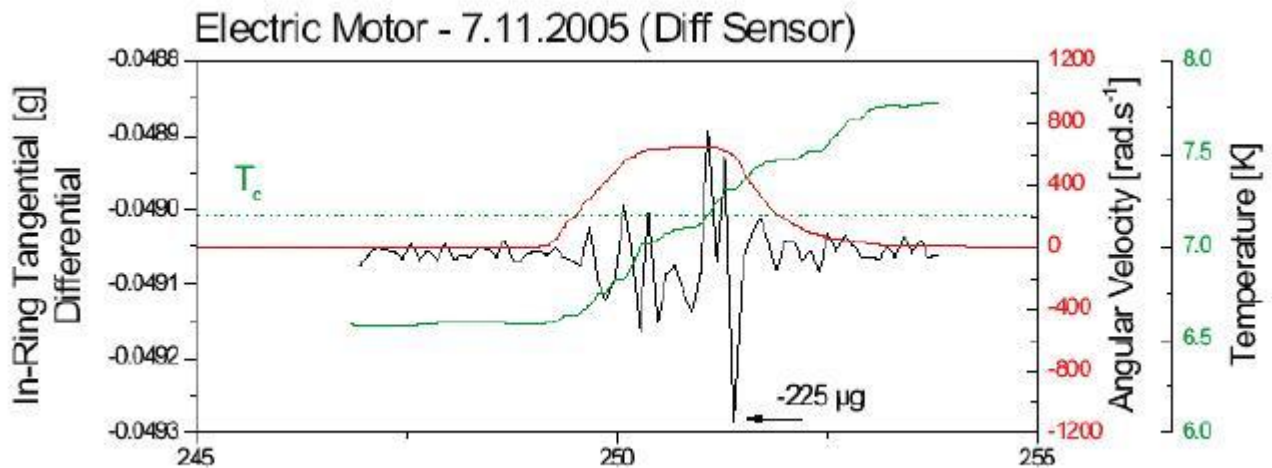
Daher hat die Meldung über die Detektion eines gravitomagnetischen Feldes in einem österreichischen Labor einiges Aufsehen erregt. Ausserdem ergaben die Messungen, dass die Feldstärke 100 Millionen Billionen Mal größer war, als aufgrund der Einsteinschen Allgemeinen Relativitätstheorie erwartet worden war.

Seit den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts erschienen immer wieder Veröffentlichungen, z.B. von Tate et al., die von abnormalen Verhalten von Supraleitern berichteten.

2002 veröffentlichten die Physiker M. Tajmar und C. J. de Matos eine Arbeit, in der sie aufzeigten, dass die unerklärten Messergebnisse von Tate et al. gedeutet werden könnten, wenn man die Existenz eines starken gravitomagnetischen Feldes annimmt, das durch den Supraleiter erzeugt würde. Nach ihrer Theorie ist bei Verwendung von kohärenter Materie - wie sie ein Supraleiter darstellt - ein wesentlich größeres gravitomagnetisches Feld zu erwarten als bei der Verwendung nichtkohärenter Materie.



Messkammer mit dem darin sich befindenden Supraleiter. Um störende Vibrationen zu vermeiden wurde sie mittels Stahlträgern an der Decke fixiert und zusätzlich noch mit Sandsäcken (mit einem Gesamtgewicht von 1,5 t) beschwert.



In der Grafik ist gut zu erkennen, dass a) sobald der Supraleiter die kritische Temperatur passiert und b) der Supraleiter mit einer nichtkonstanten Geschwindigkeit rotiert (in diesem Fall eine Abbremsung) ein Messsignalpeak der Beschleunigungssensoren zu verzeichnen ist.

Mit finanzieller Unterstützung der ESA und der US Air Force konnte dann in den Forschungslaboratorien der Seibersdorf research GmbH in Seibersdorf, Österreich, ein entscheidendes Experiment realisiert werden. Man verwendete ringförmige Supraleiter verschiedener Materialien (Niobium, Blei, BSCCO, YBCO) und liess diese bei entsprechenden Temperaturen rotieren. Die innerhalb, außerhalb und oberhalb des Supraleiters platzierten Beschleunigungssensoren waren in der Lage, indirekt ein gravitomagnetisches Feld zu detektieren. Zusätzlich wurden zwei Gyroskope in verschiedenem Abstand über dem Supraleiter platziert.

Aufgrund theoretischer Berechnungen war vorauszusehen, dass bei Verwendung von Blei und Niobium als Supraleiter - im Unterschied zur Verwendung von BSCCO und YBCO - ausreichend starke gravitomagnetische Felder zu erwarten sein, die durch den Versuchsaufbau zu registrieren sein müssten.

Nach über 250 Versuchsdurchläufen innerhalb eines Zeitraums von drei Jahren und nach einer achtmonatigen Diskussion der Experimentalergebnisse veröffentlichten Tajmar et al. ihre Versuchsergebnisse erstmals am 21. März 2006 bei einer Konferenz in den Niederlanden. Es zeigte sich, dass Niobium nach Erreichen der kritischen Temperatur ($T_K = 9,5$ K) bei einer Winkelbeschleunigung des rotierenden Supraleiters von 1500 rad/s^2 eine Kraft von $100 \mu\text{g}$ auf die Sensoren ausübte. Mit Blei regi-

strierten die Sensoren eine Kraft, die 84 % des Effekts ausmacht, der beim Versuch mit Niobium auftritt.

Ausblick

Wie Experimente von verschiedenen anderen Physikern schon zeigten, ist die Erforschung des Zusammenhangs zwischen Supraleitern und gravitativen Effekten ein sehr spannendes Forschungsgebiet der Physik. So sorgten die Publikation von E. Podkletnov für Aufsehen, in denen davon berichtet wird, dass eine über einem YBCO-Supraleiter sich befindende Masse $0,05 - 2,1$ % leichter wird². Leider konnten bisher keine erfolgreichen Replikationen des Experiments von Seiten anderer Forscher erzielt werden.

Die Versuchsergebnisse des Experiments aus Seibersdorf sind vielversprechend. Zum ersten Mal konnte tatsächlich in einem Labor ein gravitomagnetisches Feld nachgewiesen werden. Die relativ hohe Feldstärke ergab sich aus der Verwendung von supraleitenden Festkörpern, die durch ihren kohärenten Quantenzustand gekennzeichnet sind, sobald sie die jeweilige kritische Temperatur unterschreiten.

Die Entdeckung, dass der kohärente Zustand der Materie für die Verstärkung des gravitomagnetischen Feldes ausschlaggebend ist, lässt hoffen, weitere Mechanismen zu entdecken, durch die eine noch grössere Verstärkung erzielt werden kann. So wäre vorstellbar, dass gravito-

magnetische Felder für neuartige Antriebstechnologien eingesetzt werden könnten. Obwohl dadurch zwar keine „Revolution“ in diesem Technologiebereich zu erwarten wäre, wie in ersten Analysen festgestellt wurde, so wäre es dennoch ein weiterer Schritt in der Entwicklung zukünftiger Antriebstechnologien.

Auch die theoretische Physik profitiert durch das Experiment von M. Tajmar et al. Um die Experimentalergebnisse zu erklären, sind neue Konzepte in der Gravitations- und Festkörperphysik gefragt. Nach Meinung von Scholkmann/Ganka scheinen besonders die Konzeptionen interessant zu sein, die die Gravitation auf Grundlage klassischer feldtheoretischer und fluidmechanischer Prinzipien erklären. In diesem Zusammenhang könnte auch eine erneute Analyse der Arbeiten A. Einsteins zu einer einheitlichen Theorie der Elektrizität und Gravitation sinnvoll sein.

Das Thema „Gravitoelektromagnetismus“ birgt noch ein großes Potenzial. Man darf gespannt sein auf die für das Frühjahr dieses Jahres angekündigten Ergebnisse. Spätestens dann dürfte der Begriff „gravitomagnetisch“ an Bekanntheitsgrad gewinnen. Das Experiment des Forscherteams um M. Tajmar hat dafür gute Vorarbeit geliefert.

Literatur:

- [1] http://www.borderlands.de/net_pdf/NET0107GM.pdf
- [2] <http://www.borderlands.de/gravity.finland.php3>