

Einsteins Theorie im Test

Stimmt die Allgemeine Relativitätstheorie von 1916?

STANFORD – 21.4.2004 (khD/nasa). Nach langer Suche formulierte 1916 Albert Einstein (1879–1955) die Allgemeine Relativitätstheorie (ART), in der die Struktur der Raumzeit bei Vorhandensein von Schwerkraft (Gravitation) mathematisch beschrieben wird. Die Allgemeine Relativitätstheorie ist eine Verallgemeinerung seiner Speziellen Relativitätstheorie (SRT) von 1905.

Die ART nutzt das geometrische Konzept der Riemannschen Metrik (Abstand zweier Ereignisse in der Raumzeit) zur Beschreibung der realen physikalischen Welt. Hier gilt nicht mehr die Geradlinigkeit – die Raumzeit ist wg. der Gravitation „gekrümmt“.

Durch einige Beobachtungen der Natur wie die Sternlicht-Ablenkung im Gravitationsfeld der Sonne (ART sagte 1,5" voraus, was 1919 bestätigt wurde) und die Perihel-Drehung der Merkur-Umlaufbahn wurden zwar einige Fakten des mathematischen ART-Modells bestätigt. Aber die von Einstein mit dem Modell postulierte Krümmung der Raumzeit konnte bisher durch direkte Experimente noch nicht bewiesen werden. Das soll sich nun ändern. Gestern ist nach mehrfacher Ver-

schiebung um 16.57 Uhr GMT vom US-Luftwaffenstützpunkt Vandenberg der Forschungssatellit „Gravity Probe B“ mit einer

Trägerrakete Delta-II gestartet worden. Der von der NASA finanzierte Satellit umkreist die Erde auf einer fast perfekten kreisförmigen Polumlaufbahn in einer Höhe von rund 640 km mit einer Umlaufzeit von 97,5 Minuten. Die Mission wird 18 Monate dauern. Erst

danach werden erste Ergebnisse erwartet.

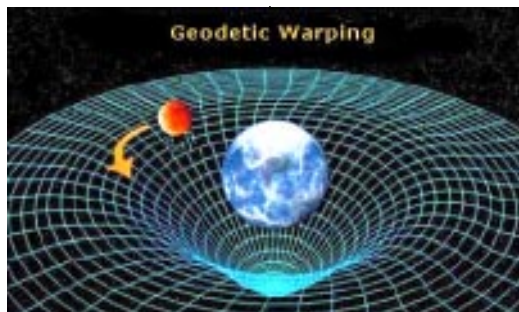
An Bord des Satelliten befindet sich eine an der Universität Stanford entwickelte sehr anspruchsvolle Versuchsanordnung mit 4 Präzisions-Kreiseln, deren Rotationsachsen mit Hilfe eines Teleskops exakt auf den 300

Lichtjahre entfernten Referenzstern „HR 8703“ im Sternbild Pegasus ausgerichtet werden. Die Kreisel befinden sich in einem auf –271,4 Grad abgekühlten Vakuumkammer. Sie sind extrem rund, sich mit bis zu

10.000 Umdrehungen pro Minute drehende Quarzkugeln von der Größe von Tischtennisbällen, die mit einer 1,3 µm dünnen Schicht des supraleitenden Metalls Niobium versehen sind. Beim Rotieren entsteht dadurch ein kleines Magnetfeld, dessen Orientierung sich messen läßt (London

Warum ist das Universum so, wie es ist?

Dieser und anderen Fragen der Kosmologie geht der Physiker Stephen Hawking in seinem lesenswerten Buch „Die illustrierte kurze Geschichte der Zeit“ nach. [x]



moment). Damit lassen sich Änderungen der Ausrichtung der Rotationsachsen in der Raumzeit mit hoher Genauigkeit ermitteln. Gelagert sind die Kreisel in Quarzgehäusen mit elektrischen Feldern. Erst in der Umlaufbahn werden sie mit einem Heliumstrahl auf Touren gebracht. Danach wird die Kammer leer gepumpt.

Aus Einsteins Theorie (ART) folgt, daß sich die vierdimensionale Raumzeit in Anwesenheit von Massen verändert, ähnlich wie eine schwere Kugel auf einer weichen Unterlage eine Delle hinterläßt. Nach den klassischen Gesetzen der Mechanik bleibt die Ausrichtung der Rotationsachse eines Kreisels stabil, solange keine Kräfte von außen auf ihn wirken. Eine Raumzeit-Krümmung durch die Gravitation der Erde müßte eine Auswirkung auf die Kreiselbewegung haben (geodetic warping). Sie müßte zu einem geringen Torkeln der Rotationsachse führen. Erwartet wird ein Abweichung von 6,6 Bogensekunden (1/3600 eines Winkelgrads) pro Jahr. Die Meßgenauigkeit beträgt 0,01 %.

Geprüft werden soll außerdem, ob der 1918 vorhergesagte Lense-Thirring-Effekt (frame-dragging effect) existiert. Das rotierende irdische Schwerefeld müßte die Raumzeit mitzerren. Daraus müßte eine Abweichung der Kreiselachsen von nur 0,041 Bogensekunden pro Jahr resultieren [Ed: unklar ist, wie sie die Effekte unterscheiden]. Das seit über 40 Jahren geplante ART-Experiment hat eine große Bedeutung. Denn jede Abweichung von den Vorhersagen der Relativitätstheorie wäre eine Sensation. Und vielleicht ein Schritt in Richtung auf die lange gesuchte „Theory of Everything“, unter deren Dach sich Relativitätstheorie und Quantenphysik vereinigen könnten. [News]

EINSTEINS FELDGLEICHUNGEN

Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie (ART) ist ein mathematisches Modell zur Beschreibung der Natur im kosmischen Maßstab. Und dazu gehören (reichlich) Formeln. Um einen Eindruck davon zu geben, sind im folgenden zwei aus der ART folgende Formen der Feldgleichungen angegeben. Eine umfangreiche mathematische Darstellung findet man im Internet u. a. bei Ewald (Graz) oder Dunsby (Kapstadt). Unter Berücksichtigung elektromagnetischer Felder (Maxwell) lautet die **Allgemeine Feldgleichung**:

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R + \Lambda g_{ik} = 8\pi \cdot \frac{G}{c^4} (T_{ik} + E_{ik})$$

Darin ist R_{ik} der Ricci-Krümmungs-Tensor (der verjüngte Riemann-Tensor), g_{ik} der metrische Tensor, R das Ricci-Krümmungs-Skalar, Λ die berühmte kosmologische Konstante, π die Kreiszahl, G die Gravitations-Konstante (Newton), c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, T_{ik} der Energie-Impuls-Tensor zur Beschreibung der Masseverteilung und E_{ik} der Energie-Impuls-Tensor der elektromagnetischen Felder. Auf der rechten Seite der Gleichung stehen die Ursachen der Raumzeit-Krümmung (Quellen), während auf der linken Seite die metrischen Koeffizienten als Beschreibende der Krümmung stehen.

Einstein hat später den Kosmologie-Term wieder verworfen, da das Universum nicht als statisch und homogen angesehen werden kann. Bei der Untersuchung von Phänomen in unserem Sonnensystem wird immer $\Lambda = 0$ gesetzt. Damit und ohne Maxwell ergibt sich als **Feldgleichung im Vakuum**:

$$G_{ik} = R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = 0$$

G_{ik} ist der Einstein-Tensor. Beide Formen der Feldgleichungen stellen jeweils ein System von nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen in der Form der Notation mit Tensoren dar. Tensoren sind quasi Vektoren höherer Ordnung.

[Ewald: Die Mathematik zur Allgemeinen Relativitätstheorie]

Mit der „Gravity Probe A“ wurde bereits 1976 auf einem kurzen elliptischen Flug von 115 Minuten Dauer das Äquivalenz- Prinzip (Unterscheidung von träger und schwerer Masse ist nicht möglich) getestet sowie ein Zeitvergleich mit MASER-Uhren vorgenommen, die dafür speziell entwickelt worden waren. Das Experiment bestätigte das Äquivalenz- Prinzip und damit ein Grundprinzip der ART. Es zeigte außerdem, daß die Zeit tatsächlich durch die Gravitation beeinflußt wird.

[Gravity Probe B]

[Mission Press Release]

[Gravity Probe B – Komplette Beschreibung]

Laser-Messung bestätigt Einsteins Theorie

BERLIN – 21.10.2004 (khd). Möglicherweise haben jetzt ein italienischer und ein griechischer Wissenschaftler den ehrgeizigen Mitarbeitern am Projekt „Gravity Probe B“ die Show gestohlen. Mit vergleichsweise primitiven Mitteln, nämlich einem Laserabstandsmesser, sei der Beweis der Raumzeit-Verwirbelung gelungen, schreiben Ignazio Ciufolini von der Universität Lecce und sein Kollege Erricos Pavlis von der University of Maryland in Baltimore County im Magazin „Nature“ (Band 431, Seite 958-960). [mehr]

Mehr zu diesem Thema:

[Geplantes LATOR-Experiment mit Sonne, Satelliten und ISS]

[Links zu Einsteins Relativitätstheorie]

Das Hauptportal des „khd-research.net“ ist im Internet erreichbar unter der Adresse: <http://www.khd-research.net/>.

Erscheinungsorte sind San José (USA) oder Toronto (Canada). Herausgeber der Publikationen ist: Universitätsrat a. D. K.-H. Dittberner, Berlin. Es gilt der Disclaimer.

Der hier im PDF-Format präsentierte Haupt-Artikel wurde erstmals in der Nr. 307 der Ausgabe der »khd-Page« vom 25. April 2004 veröffentlicht. Alle im Text unterstrichenen Begriffe sind im Original (im Internet) mit Links (Verweisen) versehen, die zu weiterführenden Informationen im Weltwissensnetz führen.

Die Artikel-Archivierung ist unter folgendem Pfad (URL) erfolgt: <http://www.khd-research.net/Welcome/News08.html#14>.