

radioastronomisch zu bestimmen. Auf der Seite der optischen Astronomen war es der andere Autor dieses Artikels (Ulrich Bastian), der im Jahr 1995 den Effekt unabhängig entdeckte und ihn als eine mögliche Anwendung für Messungen mit Gaia vorschlug.

### Ein lächerlich kleiner Effekt

Wie groß ist die Schwerebeschleunigung des Sonnensystems in unserer Galaxis, und welche Aberration folgt daraus? Grundsätzlich ist das nicht schwierig auszurechnen und erfordert nur den Radius der Sonnenbahn um das galaktische Zentrum und die dafür benötigte Umlaufzeit (siehe »Zum Nachdenken«).

In der Physik bezeichnet eine Beschleunigung die Änderung einer Geschwindigkeit pro Zeiteinheit. So beträgt die Schwerebeschleunigung, welche die Masse der Erde hervorruft, an ihrer Oberfläche knapp zehn Meter pro Sekunde zum Quadrat ( $10 \text{ m/s}^2$ ). Die Geschwindigkeit eines Erdsatelliten in einer niedrigen Umlaufbahn ändert sich in einer Sekunde demnach um  $10 \text{ m/s}$ , wobei der Betrag der Geschwindigkeit gleich bleibt und sich nur ihre Richtung permanent ändert. Die Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne ändert sich pro Sekunde um sechs Millimeter pro Sekunde; die Beschleunigung beträgt also  $6 \text{ mm/s}^2$ . Und die Schwerebeschleunigung der Sonne und ihrer Planeten durch die Anziehung des Milchstraßensystems berechnet sich in gleicher Weise zu etwas über  $0,2 \text{ Nano-}$ meter pro Sekunde zum Quadrat, also zu  $2 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$ .

In anderen Worten, die Abweichung der Sonnenbahn von einer Geraden soll gemäß der aus der Schulphysik bekannten Formel  $s = \frac{1}{2} a t^2$  (mit Weg  $s$ , Beschleunigung  $a$  und Zeit  $t$ ) pro Sekunde etwas über  $0,1 \text{ Nanometer}$  betragen. Das ist in etwa der Durchmesser eines Atoms des Edelgases Neon!

Wir wollen nun ein paar nette Zahlen-spiele mit der absurd kleinen Beschleunigung treiben: Wegen der quadratischen Abhängigkeit der Fallhöhe von der Zeit wächst sie von einem Atomdurchmesser pro Sekunde bereits an einem Tag zu einem knappen Meter, in einem Jahr zu  $115 \text{ Kilometern}$  und in einer Million Jahren zu  $3,7 \text{ Parsec}$  oder  $12 \text{ Lichtjahren}$  an. Die Beschleunigung von  $0,2 \text{ nm/s}^2$  entspricht in einer Million Jahren einer Geschwindigkeitsänderung von  $7 \text{ km/s}$ . In dieser

## ZUM NACHDENKEN

# Gaia – Beschleunigung des Sonnensystems



Die Messung von Himmelspositionen hat heutzutage eine Präzision im Millibogensekundenbereich erreicht, von der Astronomen vor wenigen Jahrzehnten nur träumen konnten: Radioastronomen verbanden ihre über Kontinente hinweg verteilten Teleskope interferometrisch und ihre bei optischen Wellenlängen arbeitenden Kollegen entwarfen die Astrometriesatelliten Hipparcos und Gaia. Mit EDR3, dem neuen dritten Gaia-Katalog, verfügen Astronomen nun eine riesige Schatzkiste voller extrem genauer astronomischer Orte und weiterer Daten.

**Aufgabe 1:** Die Aberration des Sternlichts durch die Geschwindigkeit  $v_E = 29,8 \text{ km/s}$  der Erde auf ihrem Weg um die Sonne und die Lichtgeschwindigkeit  $c = 299\,792 \text{ km/s}$  führen dazu, dass Sterne und andere Objekte scheinbar kleine Ellipsen am Himmel mit dem maximalen Winkelradius  $\alpha = 20,5''$  beschreiben. Man zeige, dass dieser Wert stimmt. **Hilfe:** Es gilt die Beziehung  $\tan \alpha = v_E/c$ .

**Aufgabe 2:** Aus der Distanz  $R_0 = 8,178 \text{ kpc}$  zum galaktischen Zentrum,

dem Radius der Sonnenbahn, und der Umlaufzeit  $P = 213 \cdot 10^6 \text{ a}$  des Sonnensystems um das galaktische Zentrum ermittle man die Beschleunigung  $a = F_b/m$ , welche die Galaxis auf das Sonnensystem mit der Masse  $m$  ausübt. Das Ergebnis wird in den Einheiten  $\text{m/s}^2$  und  $\text{nm/s}^2$  erwartet. **Hilfe:** Die Zentripetalkraft  $F_Z = m \omega^2 R_0$  ist gleich der beschleunigenden Kraft  $F_b$ , und die Rotationsfrequenz ist  $\omega = 2\pi/P$ .

**Aufgabe 3:** Man bestimme die als Punktmasse gedachte, innerhalb der Bahn des Sonnensystems um das galaktische Zentrum liegende Masse des Milchstraßensystems aus **a)** Geschwindigkeit  $v = 248 \text{ km/s}$  des Sonnensystems um das galaktische Zentrum und Umlaufzeit, **b)** Umlaufzeit und Radius sowie **c)** Radius und Beschleunigung  $a = 2,32 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$  der Sonnenbahn. **Hilfe:** Für die beschleunigende Kraft  $F_b$ , die Zentripetalkraft  $F_Z$  und die Gravitation  $F_G = G M m/R_0^2$  gilt beim Sonnenumlauf um das galaktische Zentrum:  $F_b = F_Z = F_G$ . Durch geeignetes Kombinieren finden sich Gleichungen, in denen nur die in a), b) und c) genannten Größen vorkommen. Die Ergebnisse werden in Vielfachen der Sonnenmasse  $M_\odot = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$  erwartet. Die Gravitationskonstante ist  $G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ .

**Aufgabe 4:** Die Masse der Großen Magellanschen Wolke liegt im Bereich  $M_{\text{GMW}} = (1 \dots 2,5) \cdot 10^{11} M_\odot$  und ihr Abstand ist  $d_{\text{GMW}} = 49,5 \text{ kpc}$ . Wie groß ist die auf das Sonnensystem ausgeübte Beschleunigung  $a_{\text{GMW}}$ ? AXEL M. QUETZ

Ihre Lösungen senden Sie bitte an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. E-Mail: [zum-nachdenken@sterne-und-weltraum.de](mailto:zum-nachdenken@sterne-und-weltraum.de). Ein-sendeschluss ist der 5. Februar 2021. Alle Leser, die bis einschließlich des Maihefts 2021 mindestens neun richtige Lösungen senden, werden bei der jährlichen Verlosung berücksichtigt. Bitte beachten Sie unsere Teilnahmebedingungen auf Seite 14! Sie können Ihre Datenschutzrechte nach Art. 15 ff. DSGVO ausüben, indem Sie uns unter [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de) kontaktieren.

## ZUM NACHDENKEN: Unser Sonnensystem



368 Seiten. Preis: 25 €. Bestell-Link: <https://amzn.to/2sIYh6L>