

Berechnungen zur Pioneer-Anomalie

aufgestellt am 30. April 2011 von Bernd Jaguste

Wohnort: Elsenstraße 19 in D-12621 Berlin / Homepage: <http://universum-jaguste.piranho.de/>

Eingabewerte:

Abbremsung in 20 AE von Erde	$(8,74 \pm 1,33) \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$	1980 in 20AE Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Pioneer-Anomalie Stand: 30. April 2011
Entfernung Sonde zur Erde am Feb. 2003		81 AE (Astronomische Einheit)
c = Lichtgeschwindigkeit in Erdnähe		299.792.458 m/s
AE = Astronomische Einheit = Abstand Erde vom Sonnenmittelpunkt		149.597.870.691 m
G = Newtonsche Gravitationskonstante		$0,000000000667429 \text{ m}^3/(\text{kg s}^2)$
Masse Sonne	$1.989.000.000.000.000.000.000.000.000.000,0 \text{ kg}$	
Masse Erde	$5.974.000.000.000.000.000.000.000.000,0 \text{ kg}$	
Radius Erde	$6.365.000,0 \text{ m}$	
Geschwindigkeit der Sonde	12.220 m/s	

r = Entfernung Sonde zum Sonnenmittelpunkt	19 AE	1AE sind	499 Ls	
Δr_1 = Abstand zwischen den 2 Messpunkten in Lichtsekunden	3493 Ls	=	1.047.175.055.794,0 m	entspricht insgesamt 26 AE zum Sonnenzentrum
1 Ls (Lichtsekunde) ist die Zeit, die das Licht im Vakuum in einer Sekunde zurück legt.				
r_1 Abstand Pioneer 10 – Gravitationszentrum (Sonnenmittelpunkt)	2.842.359.543.129 m	entspricht	18 AE	zur Erde
r_2 Abstand Pioneer 10 – Gravitationszentrum + Δr_1	3.889.534.598.923			

Berechnungen:

Berechnung der Abbremsung auf Grund der Sonnengravitation:

Berechnung nach Hans-Jürgen Wünsche
Vorlesungsskript zur Theoretischen Physik I – Seite 138 und folgende
Quelle: <http://photonik.physik.hu-berlin.de/ede/skripten/04mechall.pdf>

$$r_g = 2 \frac{\gamma M}{c^2} \quad \left\{ \begin{array}{l} \gamma \approx 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}; \text{ Gravitationskonstante} \\ M: \text{ Masse des Sterns} \end{array} \right.$$

$$\Delta t = \frac{\Delta r}{c} + \frac{r_g}{c} \ln \left(1 + \frac{\Delta r}{r - r_g} \right)$$

wobei auf den ersten Term verzichtet wird, da anschließend die Differenzen zwischen dem 1. und 2. Messpunkt berechnet werden

r_g Sonne =	2.954,12066831325000000000
Zeitdifferenz zwischen Erde und 1. Messpunkt	0,00002951960413045940
Zeitdifferenz zwischen Erde und 2. Messpunkt	0,00003247677604728290
Zeitdifferenz in Sekunden je Sekunde bzw. Umrechnungsfaktor = gemessene Abbremsung = $(8,74 \pm 1,33) \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$	$-8,46599460871341000000 \cdot 10^{-10} \text{ s/s}$

Umrechnung des Faktors auf m/s²

f = Umrechnungsfaktor vom Bezugssystem Erde auf Bezugssystem Sonde (mit Strich gekennzeichnet)
t = Zeit, v = Geschwindigkeit, l = Strecke und c = Vakuumlichtgeschwindigkeit

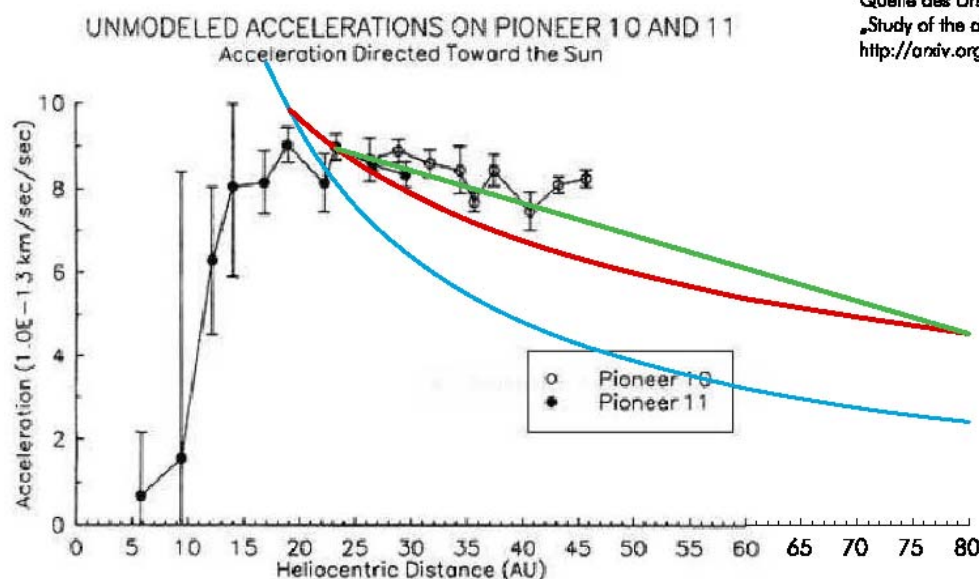
$$\begin{aligned} t' &= t \cdot f \\ l'/t' &= l/t = c = \text{konstant} \\ l'/t \cdot f &= l/t = \text{konstant} \\ l' &= t \cdot f \cdot l/t \\ l' &= f \cdot l \end{aligned}$$

Dies bedeutet, dass sich die Strecke um den gleichen Faktor verändert, wie sich auch die Zeit verändert. Setzt man hingegen die Zeit als konstante Größe an, so ändert sich die Gleichung $f \cdot l / (f \cdot t) = c$ in $f \cdot l / t = f \cdot c$. Daraus folgt, dass sich die Geschwindigkeit ändert, mit der die Radarstrahlen zur Entfernungsbestimmung unterwegs sind. Berücksichtigt man die Zeitveränderung auf der Messstrecke nicht, so setzt man automatisch die Zeit als konstante Größe an. Daraus ändert sich die Laufzeit des Lichtes bzw. der Radarstrahlen. Bei einer auf eine Lichtsekunde normierten Messstrecke (ist einfacher zu händeln) legt das Licht je Sekunde den oben berechneten Differenzbetrag in Metern mehr zurück. Setzt man die Zeit als konstant an, so ändert sich also die Lichtgeschwindigkeit und damit die Laufzeit der Radarstrahlen zur Entfernungsbestimmung.

Der berechnete Faktor entspricht der scheinbaren Abbremsung der Satelliten. Wobei es nur eine scheinbare Abbremsung ist. Die Strecke zu den Raumsonden verkürzt sich um den Faktor. Dadurch kommen ihre Signale bei uns schneller an und es scheint so, als hätten die Satelliten weniger Weg zurückgelegt, als sie es ohne diese Verkürzung der Streckenlänge hätten machen sollen. Von daher spielen die Satelliten bei diesen Berechnungen auch keine Rolle. Es ist lediglich ein relativistischer Effekt, der mit steigender Entfernung zur Sonne durch die Abnahme der Raumdehnung (Krümmung der Raumzeit) hervorgerufen wird.

Es ist übrigens egal, ob man sagt, die Streckenlänge und die Zeit ist variabel und die Lichtgeschwindigkeit ist konstant oder man sagt, die Lichtgeschwindigkeit und die Zeit ist variabel und die Streckenlänge ist konstant. Man kann auch alles variabel gestalten. Es liegt ganz im Auge des Betrachters, was ihm gerade lieber ist. Die Abbremsung der Sonden und auch die Relativitätstheorie ist trotzdem die Gleiche. Es ist einzig eine Frage der Definition.

grafische Darstellung der hier aufgestellten Berechnungen im Vergleich zu den gemessenen Werten:



neue Flugdaten gemäß Artikel <http://arxiv.org/abs/1107.2886> vom 14. Juli 2011
Berechnungen nach Jaguste:
— Abbremsung mit $\Delta r = \text{variabel}$ und bezogen auf $r = 19 \text{ AE} = \text{konstant}$
— Abbremsung mit $\Delta r = 1 \text{ LS} = \text{konstant}$ und $r = \text{variabel}$

FIG. 7: An ODP plot of the early unmodeled accelerations of Pioneer 10 and Pioneer 11, from about 1981 to 1989 and 1977 to 1989, respectively [75].

Quelle des Ursprungsdiagramms:

„Study of the anomalous acceleration of Pioneer 10 and 11“
http://arxiv.org/PS_cache/gr-qc/pdf/0104/0104064v5.pdf

Abstand zum Zentrum in AE	Abbremsung, Δr nach Hans-Jürgen Wünsche $\Delta r = 1 \text{ LS}$	Δr bezogen auf 19AE
14	13,16	
17	10,97	
19	9,87	
22	8,58	9,20
23	8,23	9,00
26	7,31	8,47
29	6,58	8,01
31	6,17	7,73
40	4,82	6,75
50	3,87	5,96
60	3,24	5,37
70	2,78	4,91
80	2,44	4,53

Laut Artikel <http://arxiv.org/abs/1107.2886> vom 14. Juli 2011 wurden weitere Bahndaten ausgewertet. Eine Abnahme der Beschleunigung von $0,2 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$ pro Jahr beschreibt demnach die gemessenen Bahndaten der beiden Raumsonden genauer.

Pioneer 10 entfernt sich ungefähr mit 2,58 AE pro Jahr [Quelle: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/0,1518,437267,00.html>]

Anmerkungen:

Auf der nebenstehenden Grafik wurde die gemessene Abbremsung der beiden Pioneer-Sonden schwarz dargestellt (Quelle siehe Grafik). Weiterhin wurden die oben berechneten Werte (rote und blaue Kurve) eingetragen.

Bei der roten Kurve wurde zur Berechnung die Geschwindigkeitsdifferenz der Sonde zwischen einem Anfangsabstand von 19 Astronomischen Einheiten und den eingetragenen Abstandsdaten berechnet. Durchschnittlich wurden die Sonden also beispielsweise im Abstand von 19-26 AE mit $8,47 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$ abgebremsst. Damit liegt die berechnete Abbremsung genau in dem oben angegebenen Wertebereich von $(8,74 \pm 1,33) \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$

Oftmals wird behauptet, dass die Anomalie konstant ist. Bei Wikipedia findet man hingegen diese Aussage: „Die Anomalie scheint relativ konstant zu sein, jedoch ist eine langsame zeitliche Abnahme nicht auszuschließen, da bisher zu wenige Daten analysiert wurden.“ Weiter heißt es: „Die bisherigen Analysen betrachteten nur Daten aus etwa 11,5 Jahren von Pioneer 10 und 3,5 Jahren von Pioneer 11.“ Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Pioneer-Anomalie> Stand: 30. April 2011

Bei den hier vorgestellten Berechnungen, wurde eventuelle Effekte aus dem Lense-Thirring-Effekt nicht berücksichtigt. Es ist durchaus möglich, dass durch die Rotation des Sonnensystems sich der umgebende Raum stärker dehnt (sprich stärkere Krümmung der Raumzeit) und dadurch die berechnete Kurve der Geschwindigkeitsabweichung mehr abgeflacht wird, also konstanter wird. Auf Grund des Unterschiedes zwischen der hier berechneten und der gemessenen Abbremsung der Raumsonden, könnte man auf die Stärke des Lense-Thirring-Effekt in unserem Sonnensystem schließen.

Die Abbremsung der Sonden wurde erst bei einer Entfernung von ca. 20AE bemerkt, da ab dann die Einflüsse vom Sonnenwind und Teilchendichte die Geschwindigkeit der Satelliten nicht mehr so stark beeinflussen.

Berechnung der Abbremsung auf Grund der Erdgravitation:		Formel analog zur Sonnengravitation nach Hans-Jürgen Wünsche
r_g Erde =		0,00887275860859896000
		0,00000000008714460822
		0,00000000009642764664
Zeitdifferenz in Sekunden je Sekunde bzw. Umrechnungsfaktor =		-0,00002657611914238060 · 10⁻¹⁰ s/s
		trägt nicht wesentlich zur scheinbaren Abbremsung bei

Berechnung der Abbremsung auf Grund der Geschwindigkeitsdifferenz Erde zu Sonde:		Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Zeitdilatation#Bei_konstanter_Geschwindigkeit Stand: 30. April 2011
Faktor aus Geschwindigkeitsdifferenz (Spezielle Relativitätstheorie)	gamma (SRT) = 1 – Wurzel (1 - v ² / c ²)	
	8,30751245572969000000 · 10⁻¹⁰	Interessant ist, dass dieser relativ konstante Werte fast genau der gemessenen Abbremsung von (8,74 ±1,33) · 10⁻¹⁰ m/s² entspricht. Laut Wikipedia wurde dies jedoch bei der Berechnung berücksichtigt.
		Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Pioneer-Anomalie Stand: 30. April 2011

Berechnung der Abbremsung auf Grund der Sonnengravitation, jedoch unter Berücksichtigung der oben berechneten Veränderung der Lichtgeschwindigkeit		
Δr_2 = Abstand zwischen den 2 Messpunkten in Lichtsekunden	3493 Ls	= 1.047.175.055.794,0 m entspricht insgesamt 26 AE zum Sonnenzentrum
r_3 = Abstand Pioneer 10 – Gravitationszentrum + Δr_2	3.889.534.598.923	
neue Lichtgeschwindigkeit	299.792.457.9999970000000000	
r_{g2} Sonne =	2.954.1206683133100000	
	0,00002951960413046020	
	0,00003247677604728390	
Zeitdifferenz in Sekunden je Ls =	-8,46599460871367000000 · 10⁻¹⁰ s/s	Ist fast identisch mit dem Wert aus den obigen Berechnungen mit einer konstanten Lichtgeschwindigkeit und trägt nicht wesentlich zur scheinbaren Abbremsung bei.