

Pluto – vom kleinsten (Planeten) zum fast größten (Zwergplaneten)

In Bezug auf den Beitrag „New Horizons beobachtet zwei Kleinmonde von Pluto“ in der Zeitschrift »Sterne und Weltraum« 4/2015, Rubrik: Brennpunkt, S. 15; WIS-ID: 1285838

Olaf Kretzer, Schul- und Volkssternwarte Suhl, Hoheloh 1, 98527 Suhl

Mit dem Vorbeiflug der Raumsonde „New Horizons“ am 14. 07. 2015 bekommt nun auch der letzte und der ehemaligen 9 Planeten des Sonnensystems Besuch und die Wissenschaftler neue, bessere Informationen vom äußeren Sonnensystem.

In diesem Beitrag soll ein kurzer Überblick gegeben werden über die Entdeckung von Pluto auf Grund wissenschaftlicher Vorhersagen und die Geschichte seiner anschließenden Erforschung. Es werden die Wechselwirkungen zwischen sich stetig weiter entwickelnder Beobachtungstechnik und dem sich dadurch ergebenden wissenschaftlichen Fortschritt aufgezeigt. Dabei werden auch die Probleme bei der Eingruppierung kosmischer Körper in Kategorien aufgezeigt und ein Stand der aktuellen Einordnung der Körper des Sonnensystems gegeben. Einfache Aufgaben am Ende des Beitrags ergänzen den WIS-Beitrag.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Planeten, Kleinkörper Raumfahrt	Planeten/Zwergplaneten/Kleinkörper, Aufbau des Sonnensystems, Entwicklung der Beobachtungstechnik
Physik	Gravitation	Gravitationswirkungen, Swing-by
Fächer- verknüpfung	Astronomie - Geschichte Astronomie - Philosophie	Mythologie, Technikentwicklung, Größe und Erkennbarkeit der Welt, Weltbilder
Lehre allgemein	Kompetenzen, Unterrichtsmittel und Kategorien didaktischen Materials, Lehr- und Sozialformen, Lernpsychologie	Fach- und Sachkompetenz beim Kategorisieren und Einteilen von Objekten, Kriterienauswahl, Beispiel der Beobachtungstechnik und deren Entwicklung



Abbildung 1: Momentan besitzen neben Pluto noch 3 weitere Objekte des Kuipergürtels (ein Kleinkörpergürtel im Sonnensystem jenseits des Neptun) den Zwergplanetenstatus: Haumea, Makemake und Eris. Bild: (ursprünglich) NASA.

Pluto – vom kleinsten (Planeten) zum fast größten (Zwergplaneten)

Seit Jahrtausenden beobachten Menschen den Himmel und die dortige Vielfalt von Himmelskörpern. Besonders auffällig waren dabei selbstverständlich Sonne und Mond – schon auf Grund Ihrer Größe und Nähe. Spätestens aber beim Versuch der Einteilung des Sternhimmels in Sternbilder zu Zwecken der Orientierung und Kalenderrechnung (oder der Astrologie) bemerkten genaue Beobachter bereits vor mehr als 5000 Jahren, dass es einige Objekte gab, welche sich relativ zu den Sternen (Fixsternen) bewegen: die Planeten. Diese Bezeichnung stammt ursprünglich aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie: „umherirren, umherschweifen“. Über Jahrhunderte, ja Jahrtausende hinweg wurde auf Basis genauer Beobachtungen die Bewegung dieser Himmelskörper niedergeschrieben, analysiert und verwendet, um u.a. die Bewegungen dieser Körper vorher zu sagen.

Vor der Durchsetzung des heliozentrischen Weltbildes wurden oft auch Mond und Sonne als Planeten bezeichnet. Nach dessen allgemeiner Anerkennung umkreisten die Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn die Sonne. Planeten waren Objekte, die die Sonne umkreisen und von ihr angestrahlt werden. 1781 entdeckte William Herschel den 8. Planeten: Uranus. Er wurde als erster der Planeten mit Hilfe eines Teleskops entdeckt. Später stellte man fest, dass dieser Planet bereits vorher mehrmals beobachtet, aber stets als Stern „interpretiert“ wurde – so von Flamsteed 1690 und Mayer 1756. Er ist unter günstigsten Umständen in seiner Oppositionsphase auch mit bloßem Auge zu sehen, da er dann eine Magnitude von $< 6^m$ erreicht. Nach einigen Jahren der Diskussion setzte sich als Name „Uranus“ durch – ein römischer Göttername. Damit wurde die bisherige Namensgebung der Planeten beibehalten. Als dann ab 1801 neue Himmelskörper entdeckt wurden (Ceres (1801), Pallas (1802), Juno (1804), Vesta (1807) und Astraea (1845)) stieg die Planetenzahl auf 12 an. Das führte dazu, dass der 1846 entdeckte Planet Neptun ursprünglich nur der 13. Planet des Sonnensystems war. Der Ausgangspunkt der Entdeckung Neptuns war dieses Mal allerdings eine gezielte Suche. Bei der genauen Untersuchung der Bahn des Uranus fielen Anfang/Mitte des 19. Jahrhunderts Bahnstörungen auf, die damit erklärt werden konnten, dass ein weiter außen befindlicher, unbekannter Körper diese durch seine gravitativen Wirkungen verursacht. Die auf Basis der genauen Analyse der Uranusbewegung vorhergesagte Position des neuen Planeten führte dazu, dass Neptun sehr schnell entdeckt wurde – ein weiterer Triumph für die Gravitationstheorie von Newton! Mit der Entdeckung von Neptun verdoppelte sich die Größe des bekannten Sonnensystems.

Da in den folgenden Jahren immer neue Objekte im Bereich Mars-Jupiter entdeckt wurden, deren Größe aber anscheinend deutlich kleiner waren als die der klassischen Planeten, bezeichnete man nun nur noch die seit der Antike bekannten Planeten plus Uranus und Neptun als Planeten. Damit trat erstmalig ein Problem auf, welches 150 Jahre später erneut für Diskussionen sorgen sollte: **Was ist eigentlich ein Planet?**

Die Entwicklung der Beobachtungstechnik führte zu vielen weiteren Entdeckungen – von Kleinkörpern. Stets wurde aber auch nach einem weiteren Planeten, den 9. gesucht. 25 Jahre verlief diese Suche erfolglos. Am 18. 02. 1930 war es dann aber soweit: Clyde W. Tombaugh (1906 - 1997) entdeckte am Lowell Observatorium in Flagstaff (Arizona, USA) einen neuen Himmelskörper – den Planeten Pluto. Bei der Namensgebung blieb man bei den für die Planeten verwendeten römischen Götternamen. Einer der berühmtesten Filmhunde – Micky Maus' Hund Pluto - wurde übrigens kurze Zeit später nach dem neu entdeckten Planeten benannt. Schnell zeigten sich allerdings einige Eigenheiten des neuen Planeten und seiner Bewegung, die sehr untypisch waren.

Parameter	Pluto	Erde
Große Bahnhalbachse	39,482 AE	1 AE
Perihel – Aphel	(29,658-49,305) AE	(0,983-1,017) AE
Neigung Bahnebene zur Ekliptik	17°16'	0°
Siderische Umlaufzeit	247,68 a	365,256 d
Mittlere Orbitalgeschwindigkeit	4,72 km/s	29,78 km/s
Erdabstand	(28,702-50,357) AE	-

Tabelle 1: Vergleich physikalischer Parameter von Erde und Pluto (NASA: Fact sheet of the planets).
AE: Astronomische Einheit = Abstand Erde-Sonne: 149,6 Millionen km.

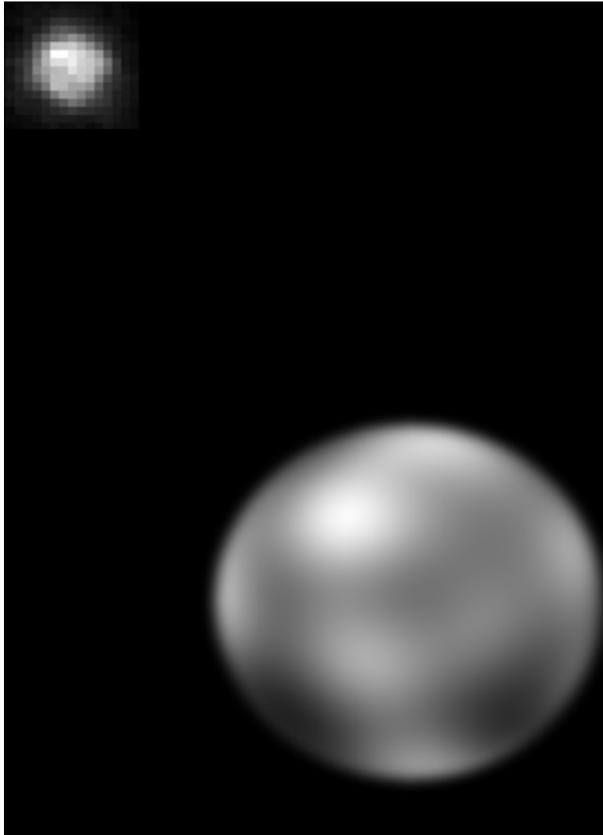


Abbildung 2: Pluto und sein Mond Charon in einer Aufnahme des Hubble-Teleskops (HST).

Plutos Bahn ist hoch elliptisch und von 1979-1999 befand er sich sogar innerhalb der Neptunbahn! Darüber hinaus beträgt die Neigung seiner Bahnebene zur Erdbahnebene ca. 17° - die größte Neigung aller Planetenbahnen! Diese und einige weitere Eigenschaften ließen Zweifel aufkommen, ob Pluto ein „echter“ Planet ist. Mit Beginn der Beobachtungen einer neuen Generation von Teleskopen auf der Erde (z.B.: 10-m-Keck-Teleskop auf Hawaii) und im All (z.B.: 2,4-m-Hubble-Teleskop) wurde es möglich, die Größen auch kleinerer Objekt im Sonnensystem fest zu stellen. So wurde der Durchmesser des Pluto neu bestimmt.

Dabei wurde u.a. deutlich, dass Pluto sogar kleiner als der Mond ($d = 3476$ km) ist! Nachdem in den folgenden Jahren etliche Himmelskörper jenseits der Neptunbahn gefunden wurden, ergab sich eine ähnliche Situation wie Mitte des 19. Jahrhunderts: **Was ist ein Planet?**

Gleichzeitig fiel auf, dass Plutos Mond Charon sehr groß im Verhältnis zu seinem „Mutterplaneten“ sein musste. Später zeigte sich, dass die beiden Körper dadurch eine gebundene Rotation zeigen. Auch der Erdmond zeigt dieses Verhalten (die Erde aber noch nicht): Dadurch sehen wir immer nur eine Seite des Mondes. In ca. 4 Mrd. Jahren zeigt dann auch die Erde dem Mond stets nur eine Seite!

Parameter	Pluto	Erde
Äquator - Poldurchmesser	2310 km	(12.756-12.715) km
Masse	$1,25 \times 10^{22}$ kg	$5,97 \times 10^{24}$ kg
Mittlere Dichte	$1,75 \text{ g/cm}^3$	$5,5 \text{ g/cm}^3$
Fallbeschleunigung	$0,58 \text{ m/s}^2$	$9,8066 \text{ m/s}^2$
Fluchtgeschwindigkeit	1,2 km/s	11,2 km/s
Rotationsperiode	6d 9h 17 min 34s	23h 56min 4s
Neigung Rotationsachse	$122,53^\circ$	$23,44^\circ$
Temperatur	ca. -230°C ~ 43 K	15°C ~ 288 K
Monde	5	1

Tabelle 2: Vergleich Physikalischer Parameter Erde – Pluto (Fortsetzung von Tab. 1):

Nach kontroversen Diskussionen wurde nun am 24. 08. 2006 durch die Generalversammlung der IAU eine neue Planetendefinition formuliert (IAU: Internationale Astronomische Union, 1919 gegründete Vereinigung der Astronomen, einzige Organisation die das Recht zur Benennung von Himmelskörpern etc. hat; <http://www.iau.org/>). **Demnach ist ein Planet:**

- ein Himmelskörper, der die Sonne umläuft;
- ein Himmelskörper, der genügend Masse besitzt, dass er sich im hydrostatischen Gleichgewicht befindet und dadurch eine nahezu Kugelform ausgebildet hat;
- ein Himmelskörper, der die direkte Umgebung seiner Umlaufbahn „frei geräumt hat“.



Abbildung 3: Abstimmung der Mitglieder der IAU auf ihrer Generalvollversammlung am 23. 08. 2006 zum Zwergplanetenstatus von Pluto (Academy of Sciences of the Czech Republic).

Das entschieden Neue: Im Bereich seiner Umlaufbahn dürfen sich keine anderen Himmelskörper aufhalten – damit war Pluto aus dem Kreis der Planeten entfernt worden. Er wurde der erste Vertreter einer neuen Klasse von Himmelskörpern, den Zwergplaneten:

- ein Himmelskörper, der die Sonne umläuft;
- ein Himmelskörper, der genügend Masse besitzt, dass er sich im hydrostatischen Gleichgewicht befindet und dadurch eine nahezu Kugelform besitzt;
- ein Himmelskörper, der die direkte Umgebung seiner Umlaufbahn nicht „frei geräumt hat“;
- ein Himmelskörper, der keinen anderen Körper umkreist.



Abbildung 4: Transneptunische Objekte, von denen 4 derzeit als Zwergplaneten gelten: Pluto, Haumea, Makemake und Eris.

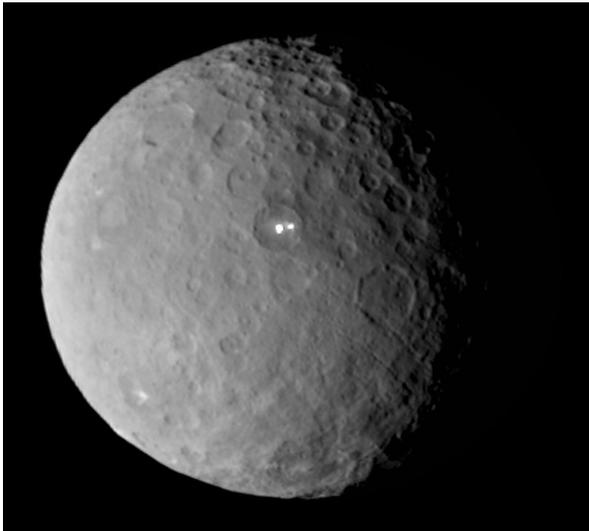


Abbildung 5: Aufnahme des Zwergplaneten Ceres durch die Raumsonde DAWN am 19. 02. 2015 (NASA).

Momentan besitzen 5 Objekte den Zwergplanetenstatus: Pluto, Ceres, Haumea, Makemake und Eris. Ceres (siehe Abb. 5) ist das größte Objekt des Asteroidengürtels und wurde als erster Zwergplanet überhaupt am 06. 03. 2015 durch eine Raumsonde besucht. DAWN (Morgenröte) schwenkte an diesem Tag in eine Umlaufbahn ein. Die anderen Zwergplaneten gehören als Transneptunobjekte zu einer neuen Klasse von Himmelskörpern: den Plutoiden. Damit bezeichnet man Zwergplaneten, deren große Bahnhalbachse größer als die von Neptun ist. Plutoiden bilden somit eine Untergruppe der Zwergplaneten. Auf Grund der sich schnell entwickelnden Beobachtungstechnik und der damit verbundenen Suchprogramme ist mit einer schnellen Zunahme der Anzahl solcher Himmelskörper zu rechnen. Den neuen Beobachtungsmöglichkeiten ist es auch zu verdanken, dass wir bisher bereits 5 Monde von Pluto kennen (siehe Tab. 3 und Abb. 6). **(Doch was ist eigentlich ein Mond?)**

Name	Entdeckung	Größe	Entdeckung
Charon	1978	1210 km	United States Naval Obs.
Styx	2012	25 km	Hubble Teleskop
Nix	2005	(46-140) km	Hubble Teleskop
Kerberos	2011	ca. 30 km	Hubble Teleskop
Hydra	2005	(59-172) km	Hubble Teleskop

Tabelle 3: Die Monde des Pluto

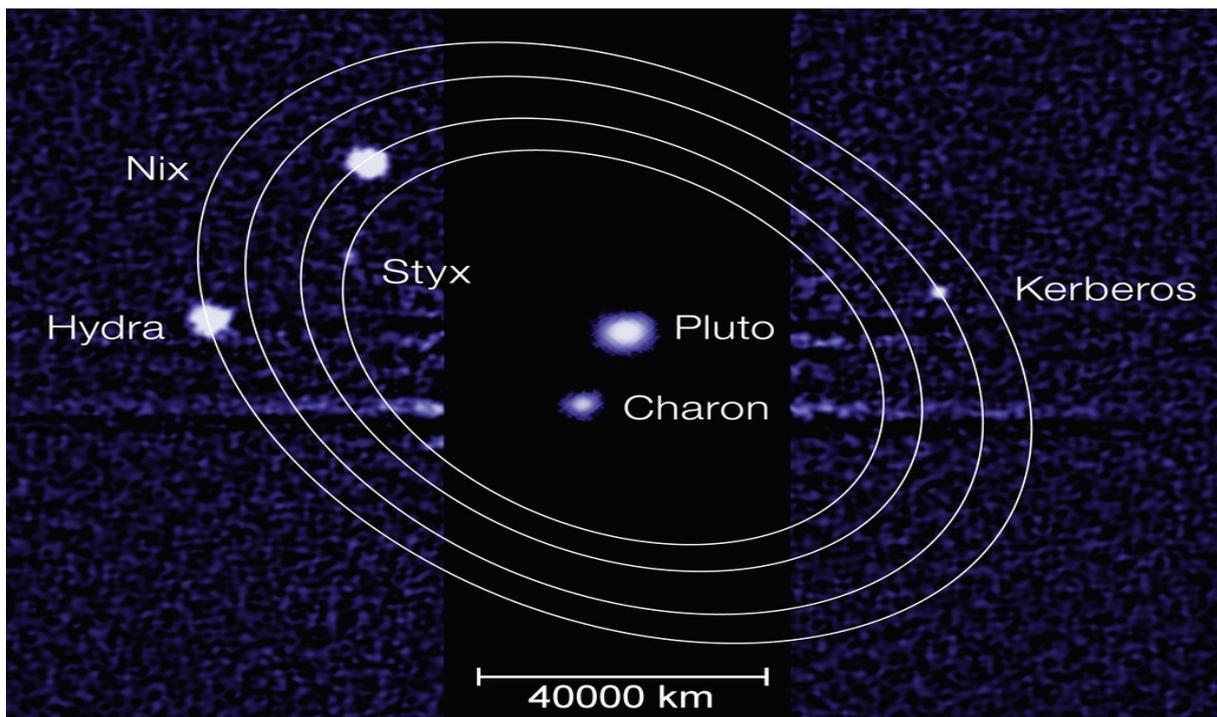


Abbildung 6: Pluto und seine Monde in einer Aufnahme des Weltraumteleskops Hubble (HST).

Bisher waren die bodengestützten Aufnahmen das Beste, was die Wissenschaftler von Pluto zur Verfügung hatten. Das ändert sich nun aber.

Eines der Hauptziele der seit nun schon seit fast 60 Jahren betriebenen Raumfahrt ist die Untersuchung der Objekte des Sonnensystems aus der Nähe – durch Vorbeiflüge, Orbitmissionen oder sogar Landungen.

Planet	Name der Sonde	Jahr	Bemerkungen
Merkur	Messenger	1975	Orbit (2011)
Venus	Mariner 2	1962	Orbit (1975), Lander (1970)
Erde	Sputnik 1	1957	
Mars	Mariner 4	1965	Orbit (1971), Lander (1976)
Jupiter	Pioneer 10	1973	Orbit (1995), Eintauch. (1995)
Saturn	Pioneer 11	1979	Orbit (2004)
Uranus	Voyager 2	1986	
Neptun	Voyager 2	1989	
Pluto	New Horizons	-2015	

Tabelle 4: Erste erfolgreiche Missionen zu den Planeten.

Am 19. 01. 2006 startete die erste Mission zum damals äußersten Planeten – New Horizons. Wie alle Sonden, deren Ziel das äußere Sonnensystem ist, musste die Himmelsmechanik ausgenutzt werden, um ans Ziel zu gelangen. Da momentan keine Möglichkeit besteht, mit den vorhandenen Triebwerken die erforderlichen Antriebsenergien zu erreichen, nutzt man den so genannten Swing-by-Effekt aus. Durch einen engen Vorbeiflug an einem Impuls gebenden Planeten können die Raumsonden verbunden mit einer Richtungsänderung beschleunigt werden. So wird es ihnen ermöglicht Ziele im äußeren Bereich des Sonnensystems zu erreichen.

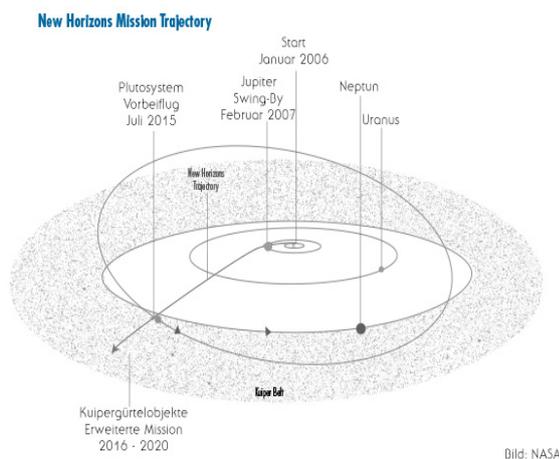


Bild: NASA



Abbildung 7: Links: Swingby Stationen der am 19. 01. 2006 gestarteten Sonde New Horizons. Rechts: New Horizons bei der Abschlusskontrolle (Bilder jeweils NASA)

Die Raumsonde soll am 14. 07. 2015 das Plutosystem erreichen und Pluto in einem Abstand von ca. 9.600 km und Charon in einem Abstand von 27.000 km passieren und dabei Aufnahmen und Messungen durchführen. Zu diesem Zeitpunkt wird Pluto dann 4,772 Mrd. km von der Erde entfernt sein. Nach Passieren des „Doppelplaneten“ sollen in einer Verlängerungsmision ein oder mehrere Körper im Kuiper Gürtel angefliegen werden. Passende Ziele dazu wurden mit Hilfe des Weltraumteleskops Hubble ausgewählt. Diese Verlängerung läuft unter dem Namen Icy Hunters.

Kuiper Gürtel: Größte Struktur im inneren Sonnensystem. Ringförmige, flache Ansammlung von ca. 100.000 Objekten im Größenbereich > 100 km sowie weiteren kleineren Objekten, jenseits der Neptunbahn im Bereich (30 - 50) AE Abstand von der Erde.

Aufgaben und Denkanstöße

1. Welche Signallaufzeit haben die Daten, welche am 14. 07. 2015 von der Raumsonde New Horizons vom Pluto Vorbeiflug zu Erde gesendet werden?

Antwort:

Die Signalgeschwindigkeit beträgt rund 300.000 km/s, die Entfernung Pluto-Erde 7,22 Mrd. km. Daraus ergibt sich eine Signallaufzeit von 6,6 h.

2. Welche scheinbare Helligkeit hat die Sonne am 14. 07. 2015 vom Pluto aus gesehen? Mit welchen anderen Objekten am irdischen Himmel kann man ihre Helligkeit vergleichen?

Antwort:

Astronomisches Entfernungsmodul: $m - M = 5 \cdot \lg(r/10 \text{ pc})$

r Entfernung

M .. absolute Helligkeit

m ... scheinbare Helligkeit

$m = M + 5 \cdot \lg(r/10 \text{ pc})$

r (Erde-Pluto) = 7,22 Mrd. km (am 14. 07. 2015)

M (Sonne) = 4,87^m

Daraus ergibt sich eine scheinbare Helligkeit der Sonne vom Pluto aus zu: $m = -18,15^m$

Die Sonne ist vom Pluto betrachtet bei Weitem immer noch das hellste Objekt am Himmel.

Zum Vergleich: Der Mond erreicht bei seiner größten Helligkeit (Vollmond) maximal: $m = -11^m$.

3. Eine andere (physikalischere) Betrachtung der beim Zwergplaneten noch ankommenden Strahlungsmenge betrifft die Solarkonstante für Pluto. Die Solarkonstante für die Erde beträgt S (Erde) = 1367 J / (m²·s), d. h. in einer Sekunde trifft eine Strahlungsenergie von 1367 Joule senkrecht auf eine Fläche von einem Quadratmeter am oberen Atmosphärenrand ein. Bestimme die Solarkonstante für Pluto am 14. 07. 2015 und diskutiere kurz den Begriff der „Konstanten“ für die Erde und für Pluto!

Antwort:

Die Strahlung der Sonne verdünnt sich umgekehrt quadratisch, d. h., sie verteilt sich auf eine jeweilige Kugeloberfläche: $S(\text{Pluto}) / S(\text{Erde}) = r^2(\text{Sonne-Erde}) / r^2(\text{Sonne-Pluto})$

$S(\text{Pluto}) = 1^2 \text{ AE}^2 \cdot 1367 \text{ J} / (\text{m}^2 \cdot \text{s}) / 39,5^2 \text{ AE}^2 \approx 0,9 \text{ J} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$.

4. Bei einem so genannten Swing-by-Manöver wird eine Raumsonde beschleunigt oder abgebremst. Woher kommt im Falle einer Beschleunigung die notwendige Energie?

Antwort:

Bei einem (möglichst) engen Vorbeiflug an einem Planeten werden die Bewegungsrichtung und die Bewegungsgeschwindigkeit einer Raumsonde geändert. Dabei überträgt der Planet einen Teil seiner Bewegungsenergie an die Raumsonde, die dadurch beschleunigt wird. Die dadurch – aus dem Energieerhaltungssatz folgende - Veränderung der Bahn des Planeten kann im Allgemeinen vernachlässigt werden.

Die erste (unfreiwillige) Anwendung dieses Effektes wurde 1970 während der Apollo-13-Mission angewendet. Seitdem wurde und wird der Effekt zur Abbremsung (bei Flügen ins innere Sonnensystem) oder zum Beschleunigen (bei Flügen zu Objekten des äußeren Sonnensystems) vom Raumfahrzeugen verwendet.