

9. Gravitation

9.1 Die Keplerschen Gesetze

9.2 Das Newtonsche Gravitationsgesetz

9.3 Messung der Gravitationskonstanten

9.4 Potentielle Energie, gebundene Bahnen, Fluchtgeschwindigkeit

9.5 Gravitationsfeld einer Kugelschale und einer Vollkugel

9.5 Gezeitenkräfte

ratione salua manere! nemo em̄ cōsentiret̄ allegabit
 q̄ ut magnitudinis orbium multatudo ipis motatur; ordo sphae-
 rarum sequitur in hunc modū: a fimo capientes minimum
 prima et



Suprema omnium est Stellarum
 fixarum sphaera immobilis
 et omnia continent
 Tetrag immobilis
 vacante mi-
 nori hanc
 ad quē
 mot
 us
 et
 7
 0

aliqui:
 in delutionis molus terrestris assignabimus rursū. Sequit̄
 errantium primus Saturnus: qui xxx anno suū complet̄ circuitū
 itū post hunc Jupiter duodecim̄ annis revolvitur mobilis. Tertius
 Mars velle qui biennio circuit. Quartū in ordine āstra revolu-
 tio hanc optinet: in quo terra cum orbe lunari tamq̄ cyclo
 contineri dixerunt. Quinto loco Venus nono mense revolvitur

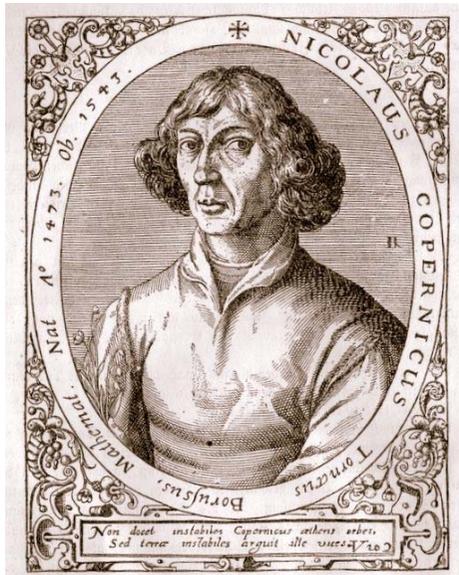
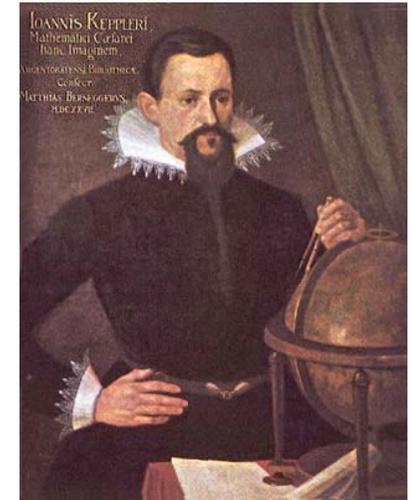


Figure 2.5 THE COPERNICAN THEORY
 This drawing from Copernicus' original manuscript placed the sun
 at the center of the universe.

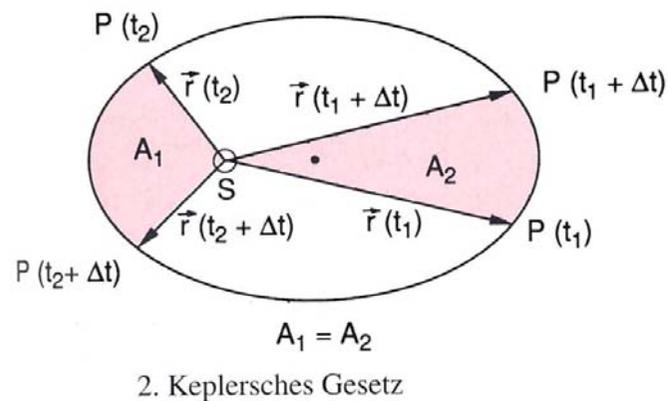
Table 2.2 PIONEERS OF MODERN COSMOLOGY

<i>Name</i>	<i>Dates</i>	<i>Contribution</i>
Nicolaus Copernicus	1473–1543	Heliocentric cosmology
Tycho Brahe	1546–1601	Accurate astronomical observations
Johannes Kepler	1571–1630	Laws of planetary motion
Galileo Galilei	1564–1642	Discovery of satellites of Jupiter, sunspots, phases of Venus
Isaac Newton	1643–1726	Universal law of gravitation
William Herschel	1738–1822	Observation of nebulae, discovery of Uranus

9.1 Die Keplerschen Gesetze

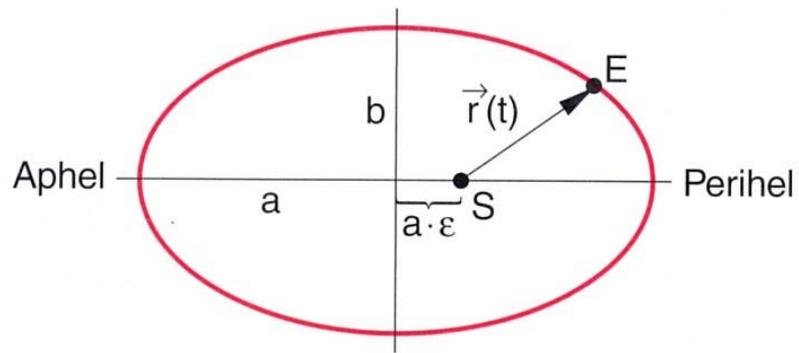


1. Die Planeten bewegen sich auf Ellipsen um die Sonne, die in einem ihrer Brennpunkte steht.
2. Der Radiusvektor (Fahrstrahl) von der Sonne zum Planeten überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen

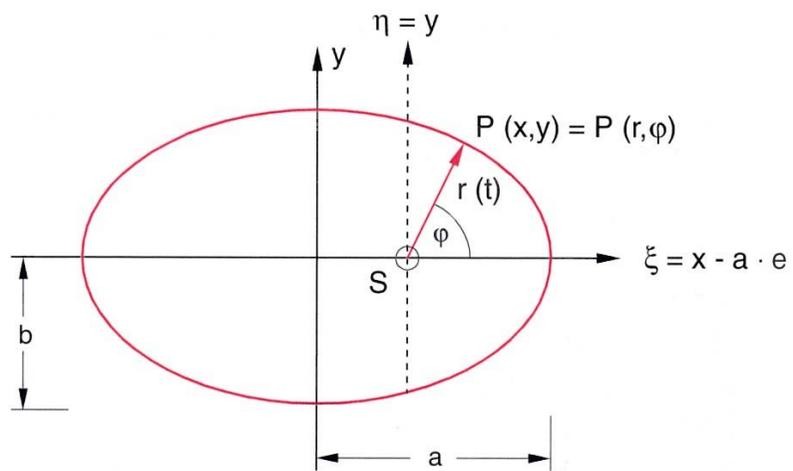


3. Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen ihrer großen Halbachsen

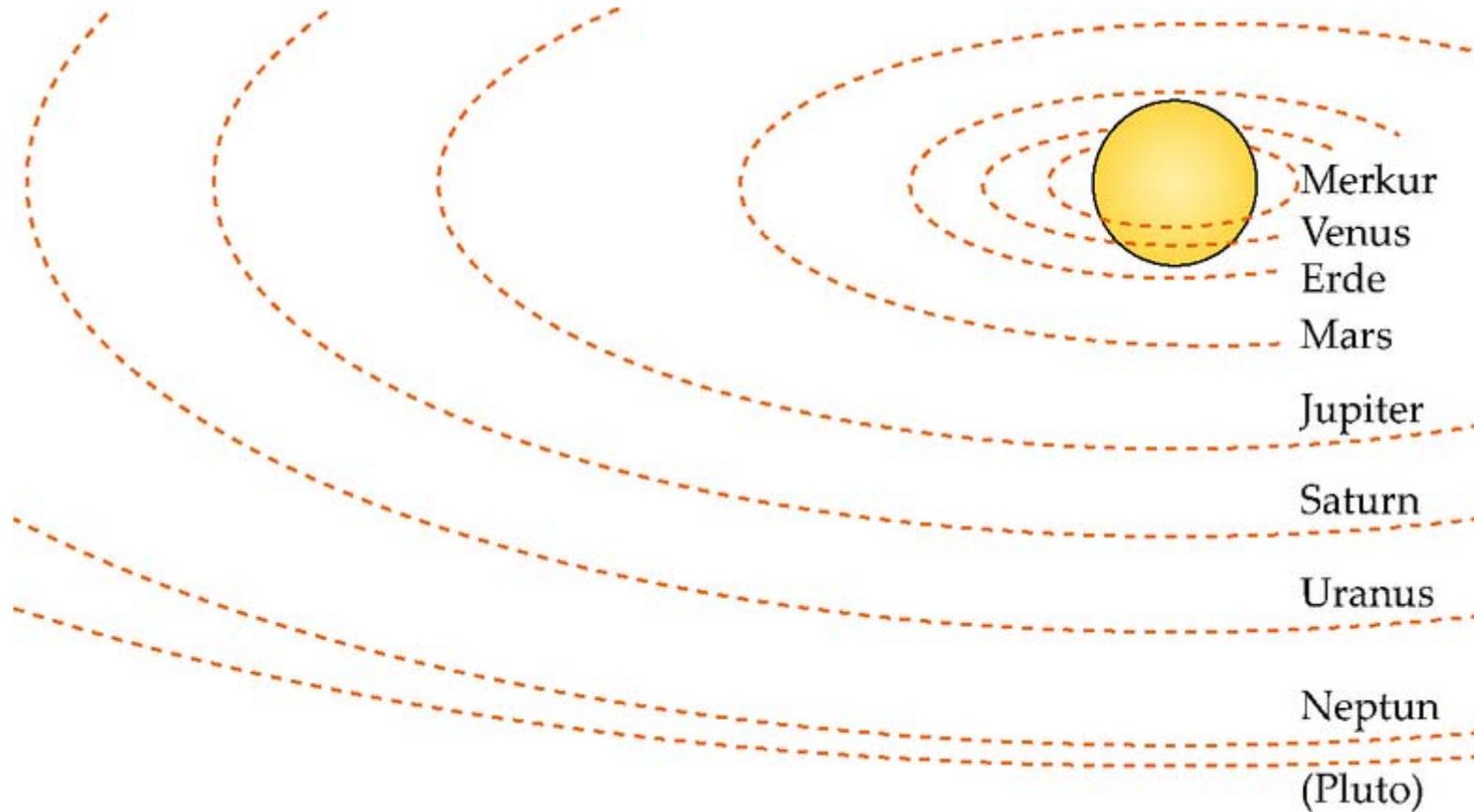
$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \text{const} \quad \text{oder} \quad \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3$$



1. Keplersches Gesetz



Keplerbahnen in Parameterdarstellung

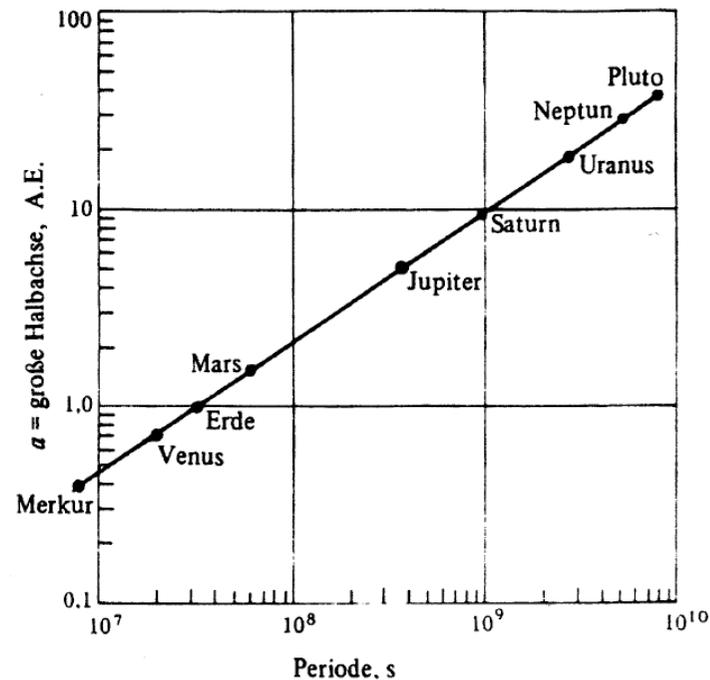
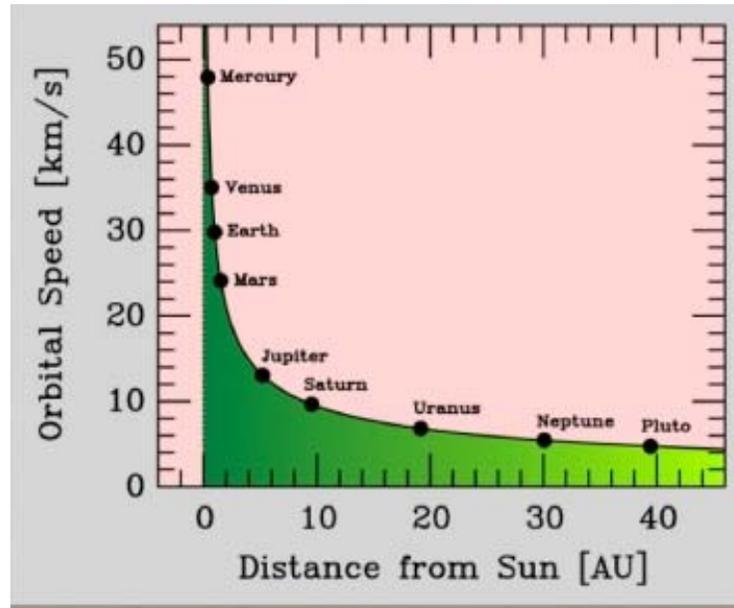


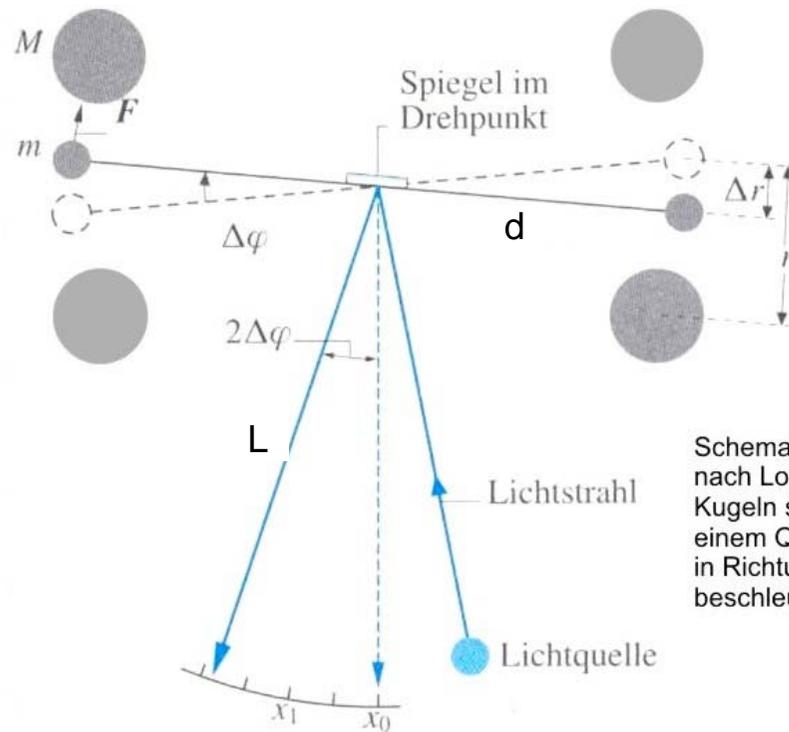
Aus: Tipler/Mosca: *Physik*, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Die Umlaufbahnen der Planeten um die Sonne (nicht maßstäblich). Im August 2006 beschloss die Internationale Astronomische Union (IAU) eine neue Definition für Planeten; nach dieser Definition ist Pluto kein Planet mehr, sondern fällt in die neue Kategorie der „Zwergplaneten“.

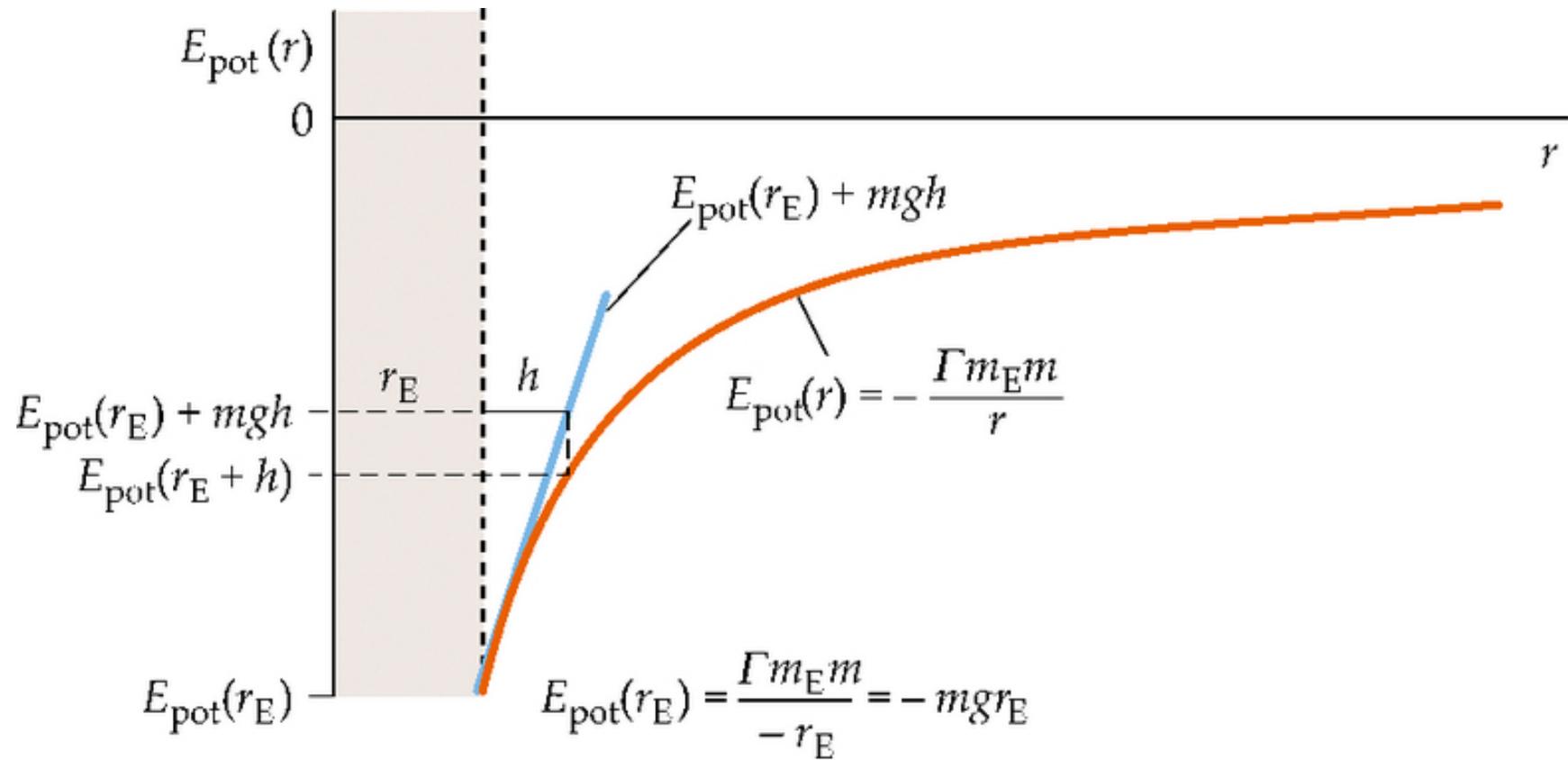
Bahndaten der neun großen Planeten (mit dem Erdmond zum Vergleich)

Name	Symbol	Große Halbachse der Bahn a			Umlaufdauer T	mittlere Umlaufgeschwindigkeit in kms^{-1}	numerische Exzentrizität e	Bahnneigung i	kleinste / größte Entfernung von der Erde	
		in AE	in 10^6 km	in Lichtlaufzeit t					in AE	in AE
Merkur	☿	0,39	57,9	3,2 min	88 d	47,9	0,206	7,0°	0,53	1,47
Venus	♀	0,72	108,2	6,0 min	225 d	35,0	0,007	3,4°	0,27	1,73
Erde	♁	1,00	149,6	8,3 min	1,00 a	29,8	0,017	–	–	–
Mars	♂	1,52	227,9	12,7 min	1,9 a	24,1	0,093	1,8°	0,38	2,67
Jupiter	♃	5,20	778,3	43,2 min	11,9 a	13,1	0,048	1,3°	3,95	6,45
Saturn	♄	9,54	1427	1,3 h	29,46 a	9,6	0,056	2,5°	8,01	11,07
Uranus	♅	19,18	2870	2,7 h	84 a	6,8	0,047	0,8°	17,29	21,07
Neptun	♆	30,06	4496	4,2 h	165 a	5,4	0,009	1,8°	28,80	31,33
Pluto	♇	39,46	5900	5,5 h	248 a	4,7	0,25	17,1°	28,7	50,3
Erdmond	☾	0,00257	0,384	1,3 s	27,32 d	1,02	0,055	5,1°	356 410 km	406 740 km



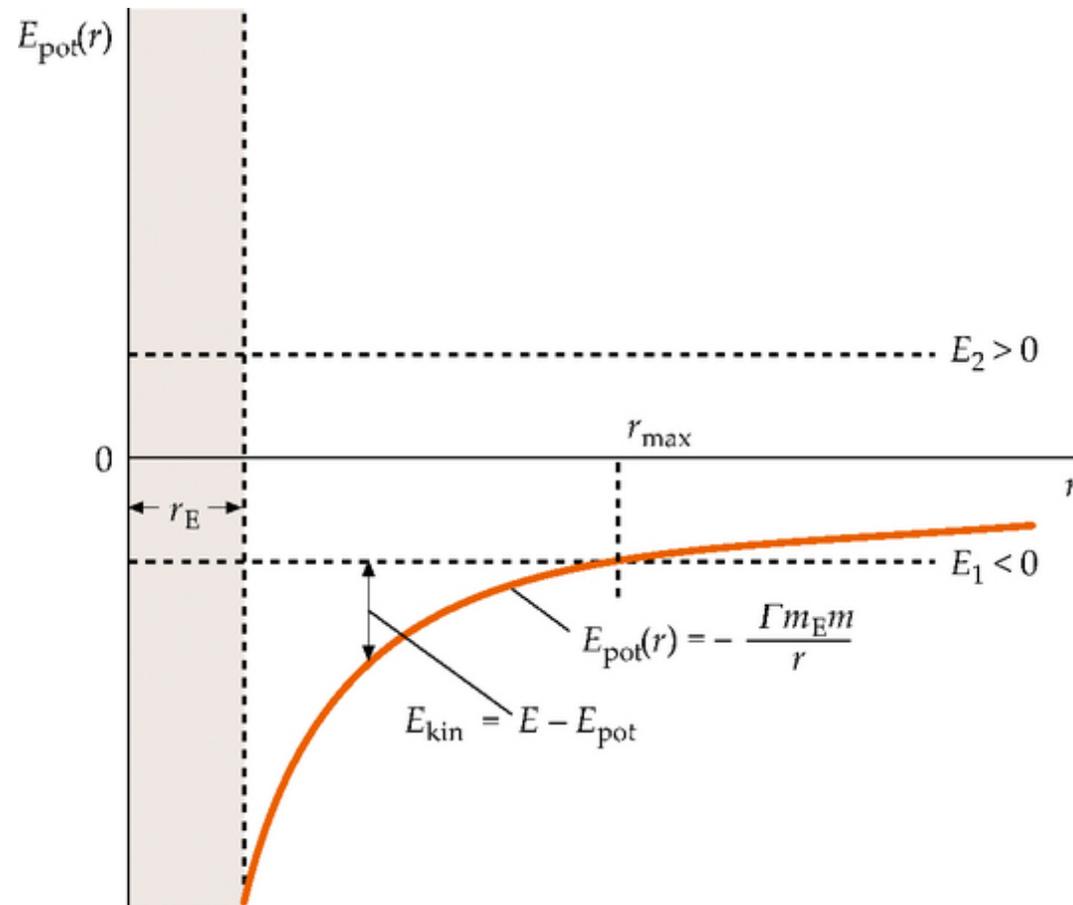


Schematischer Aufbau der Gravitationswaage nach Lord *Cavendish*. Die beiden kleinen Kugeln sind senkrecht zur Papierebene an einem Quarzfaden aufgehängt und werden in Richtung der beiden großen Kugeln beschleunigt.



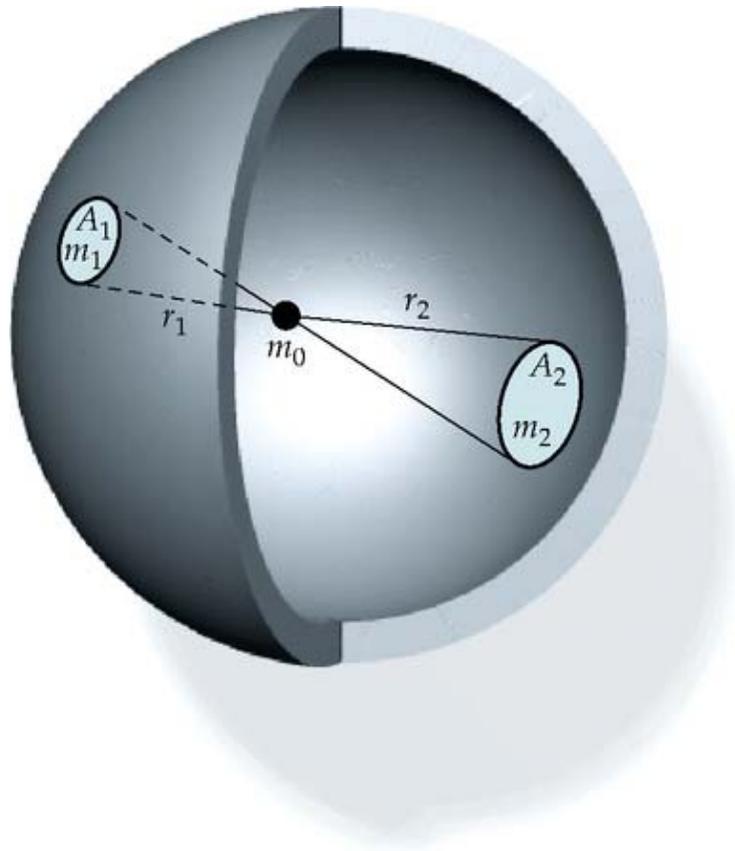
Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Potentielle Energie eines Körpers der Masse m , der der Gravitation durch die Erde unterliegt, als Funktion des Abstands vom Erdmittelpunkt. Der Nullpunkt der potentiellen Energie liegt im Unendlichen.



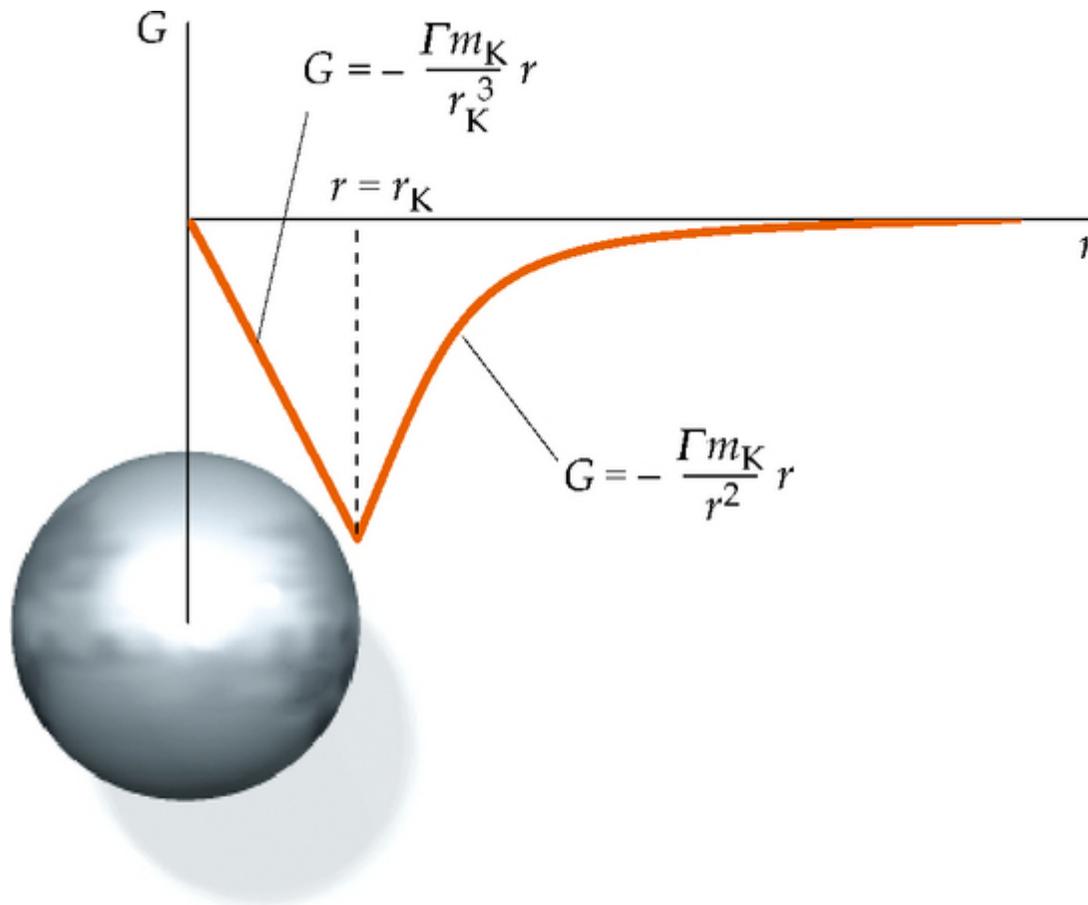
Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Potentielle Energie eines Körpers der Masse m , der der Gravitation durch die Erde unterliegt, als Funktion des Abstands vom Erdmittelpunkt. Der Nullpunkt der potentiellen Energie liegt im Unendlichen.



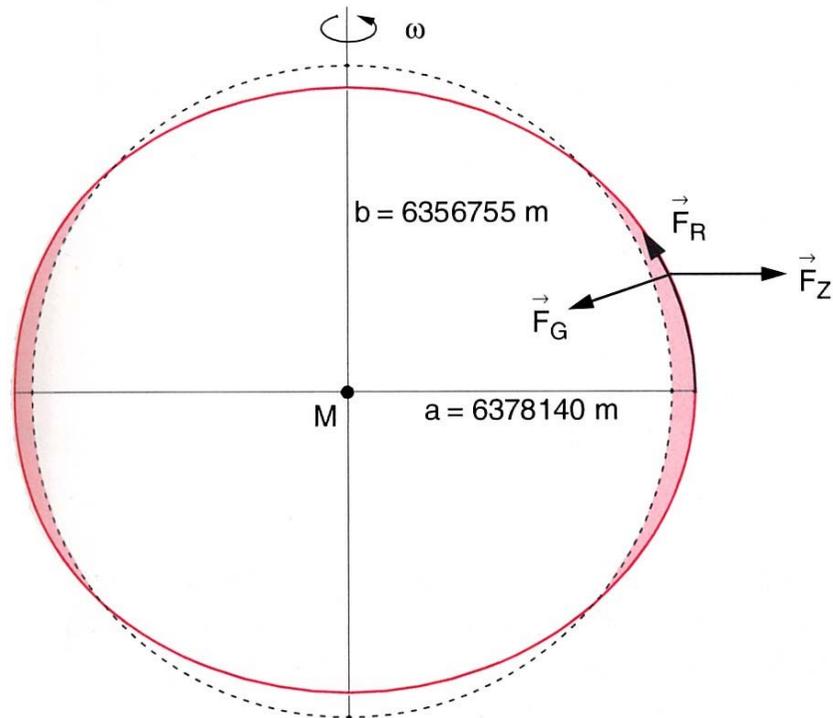
Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Eine Masse m_0 innerhalb einer homogenen Kugelschale erfährt keine resultierende Gravitationskraft. Die Anziehung des Kugelschalensegments mit der Masse m_1 wird durch die Anziehung des Massenelements mit der Masse m_2 ausgeglichen, das zwar größer, aber weiter entfernt ist.

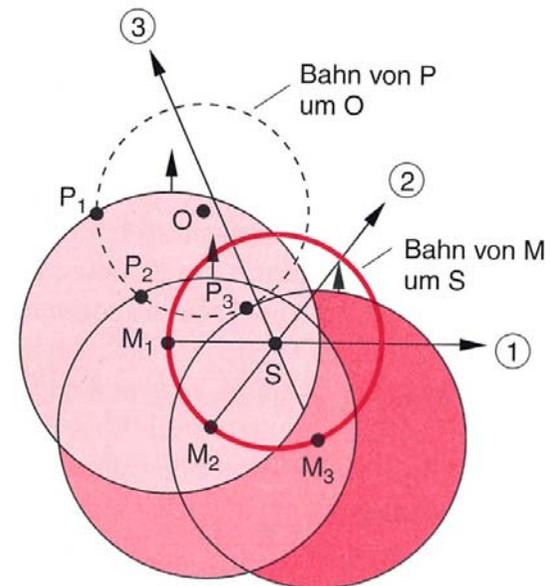


Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

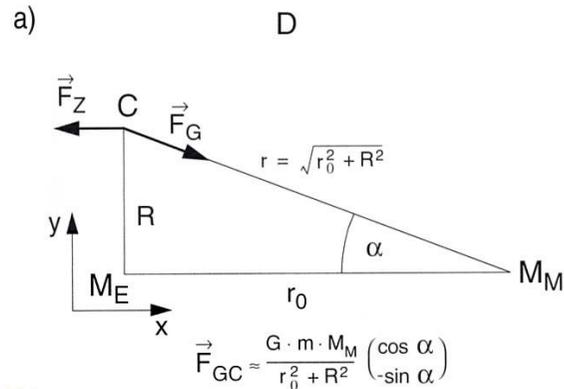
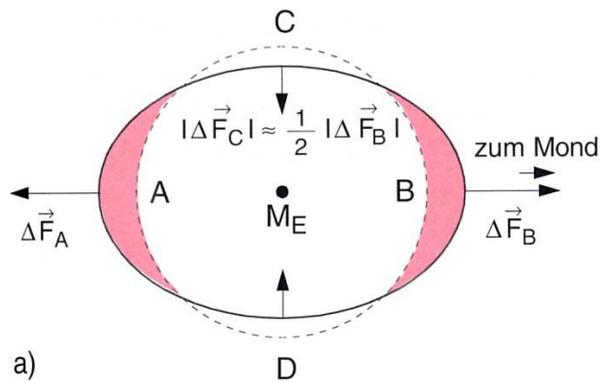
Verlauf der Gravitationsfeldstärke G für eine homogene Vollkugel mit der Masse m_K und dem Radius r_K . Der Betrag des Gravitationsfelds nimmt innerhalb der Kugel linear mit r zu und außerhalb mit $1/r^2$ ab.



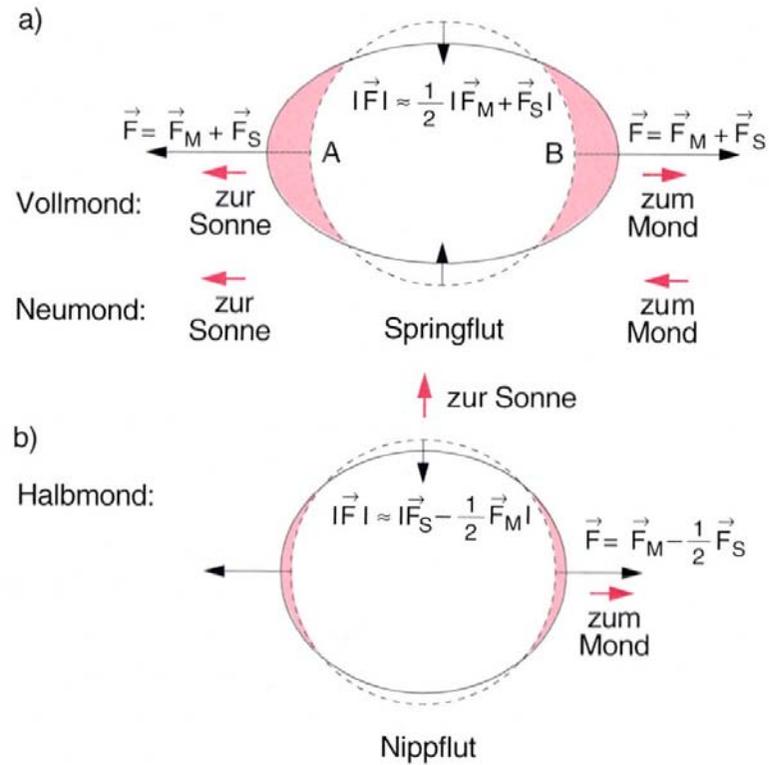
Polabplattung der rotierenden Erde
(stark übertrieben dargestellt)



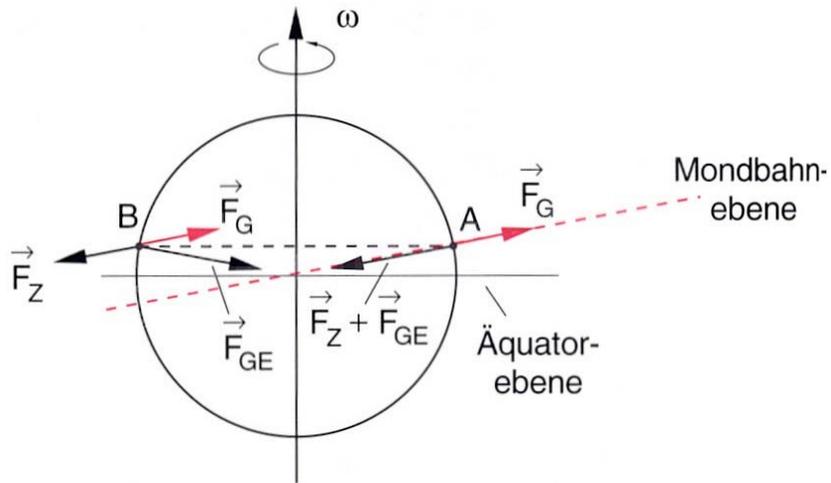
Bei der Rotation von Erde und Mond um den gemeinsamen Schwerpunkt S durchlaufen die verschiedenen Punkte der Erde ohne die Eigenrotation der Erde Kreise mit gleichen Radien, aber verschiedenen Mittelpunkten. Gezeigt sind die Lagen M_i des Erdmittelpunktes für die verschiedenen Stellungen 1), 2) und 3) des Mondes



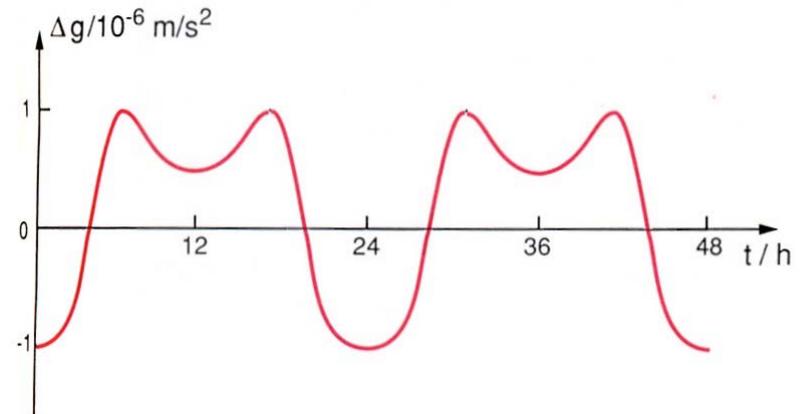
b) Verformung der Erde durch die Gezeiten (stark übertrieben dargestellt). Die Pfeile geben Größe und Richtung der Gezeitenkräfte an



(a) Springflut (Springtide) und Nippflut (Nipptide) als additive bzw. (b) subtraktive (bei Halbmond) Überlagerung von Mond- und Sonnengravitation. Die Verformung ist stark übertrieben gezeichnet



Einfluss der Neigung der Mondbahnebene auf die periodische Schwankung der Gezeitenhöhe



Zeitlicher Verlauf der Gezeitenamplitude an einem festen Ort der Erdoberfläche, gemessen durch die entsprechende Änderung Δg der Erdbeschleunigung g