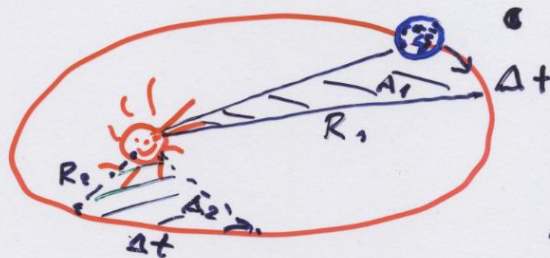


1571 - 1630 Kepler

1. Gesetz des Orbits

Alle Planeten bewegen sich auf Ellipsen
Sonne in einem Fokus



$$A_2 = A_1$$

2. Flächengesetz

Leitstrahl Planet - Sonne überstreicht
in Δt gleiche Flächen.

$$\frac{dA}{dt} = \text{const.}$$

3. Periodengesetz

Quadrat der Periode T eines Planeten
ist prop. zum Kubus des mittl. Abstands

$$T^2 \sim \langle R \rangle^3$$

Gravitationsgesetz von Newton

$$\vec{F}_{21} = - G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{e}_{21}$$

Diskussion

warum nicht $F = -G(t) \frac{m_1 + m_2}{r^4}$?

a) Beobachtung, daß $G = \text{const}$
 $\frac{dG}{dt} = 0$

b) $F \sim m_1 \cdot m_2$

Annahme Massenelement Δm :

$$m_1 = N_1 \Delta m$$

$$m_2 = N_2 \Delta m$$

$$F_{\Delta m \Delta m} = \Delta F$$

$$F_{N_1 \Delta m, \Delta m} = N_1 \cdot \Delta F$$

$$F_{\Delta m N_2 \Delta m} = N_2 \cdot \Delta F$$

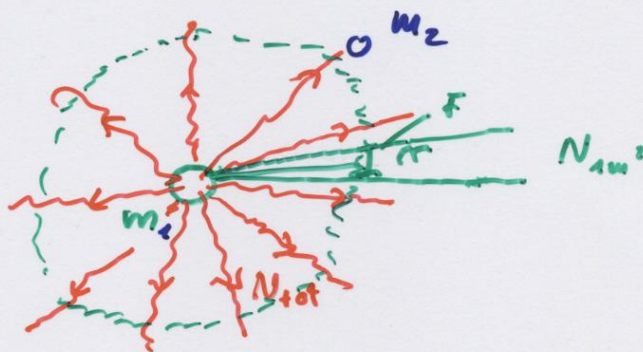
$$F_{N_1 \Delta m N_2 \Delta m} = N_1 \cdot N_2 \cdot \Delta F$$

$$F_{m_1 m_2} = N_1 \cdot N_2 \cdot \Delta F$$

$$\sim m_1 \cdot m_2$$

$$c) \quad F \sim \frac{1}{r^2}$$

Kraft durch Austausch von
Bosonen (Kraftteilchen)



Im 1s werden N Gravitionen
abgestrahlt.

$$\text{Rate: } \dot{N}_{\text{tot}} = \frac{N}{s}$$

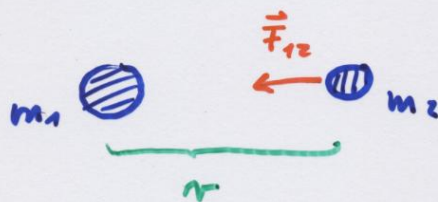
Im Abstand r : Rate durch 1m^2
Fläche

$$\dot{N}_{1\text{m}^2} = \frac{\dot{N}_{\text{tot}} \cdot 1\text{m}^2}{4\pi r^2}$$

$$\text{Kraft } F \sim \dot{N}_{1\text{m}^2} \sim \frac{1}{r^2}$$

Geht von, wenn Reichweite von F ∞ ist!

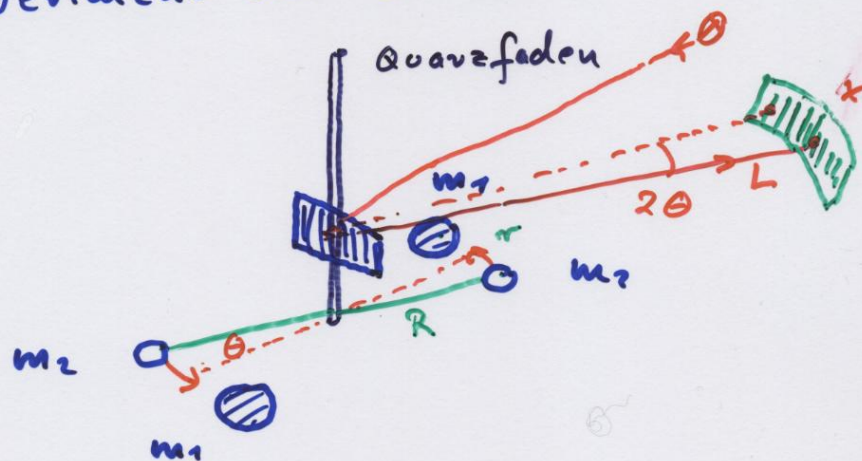
3.2 Bestimmung der Gravitationskonstante G



$$|\vec{F}| = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$$

Experiment von Cavendish (1798)

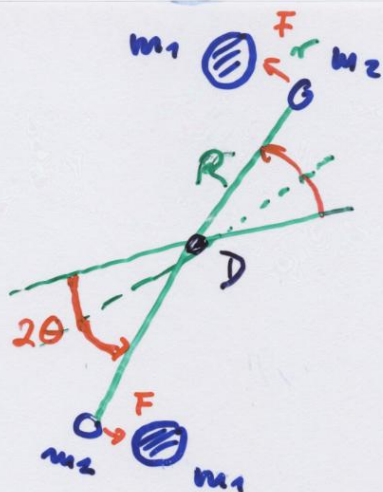


Stabile Ausgangslage

Quarzefaden verdreht,
Drehmomente
heben sich auf:

$$2RF = D\theta_0$$

6)



Massen auf andere
Seite gebracht, m_2
wird zu m_1
beschleunigt.

$$2 R \cdot F + \underset{\substack{\uparrow \\ \text{vergespannt}}}{D \cdot \theta_0} = J \cdot \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

mit $J = 2 R^2 m_1$

$$2 R F + D \cdot \theta_0 = 2 m_1 R^2 \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

$$\Rightarrow 2 \cdot 2 R \frac{m_1 m_2}{r^2} G = 2 m_1 R^2 \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

$$\Rightarrow G = \frac{1}{2} \frac{r^2 R}{m_2} \cdot \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

wir messen $\theta(t) = \frac{x(t)}{L} \propto t^2$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{d^2 \theta}{dt^2} = \frac{x(t)}{L \cdot t^2}$$

$$\Rightarrow G = \frac{1}{2} r^2 R \cdot \frac{1}{m_2} \cdot \frac{x(t)}{L t^2}$$

$$\text{Mit } r = 4 \text{ cm}$$

$$L = 14 \text{ m}$$

$$R = 5 \text{ cm}$$

$$m_2 = 15 \text{ g}$$

$$m_1 = 1,5 \text{ kg}$$

$$t = 180 \text{ s}$$

$$x(180 \text{ s}) = 66 \text{ cm}$$

$$G = \frac{1}{2} \frac{(0,04 \text{ m})^2 \cdot 0,05 \text{ m}}{1,5 \text{ kg}} \cdot \frac{0,66 \text{ m}}{14 \text{ m} (180 \text{ s})^2}$$

$$= 3,9 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}}$$

$$\left[6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}} \right]$$

3.3 . Gravitational potential

$$A = \Delta E_{\text{pot}} = - \int_{R_E}^{R_E + h} \vec{F} d\vec{r}$$

$$= \int_{R_E}^{R_E + h} \frac{G m_E m}{r^2} dr$$

$$= G m_E m \left[\frac{1}{R_E} - \frac{1}{R_E + h} \right]$$

$$= \frac{G m_E m}{R_E} \left[1 - \frac{1}{1 + \frac{h}{R_E}} \right]$$

$$\approx 1 - \frac{h}{R_E}$$

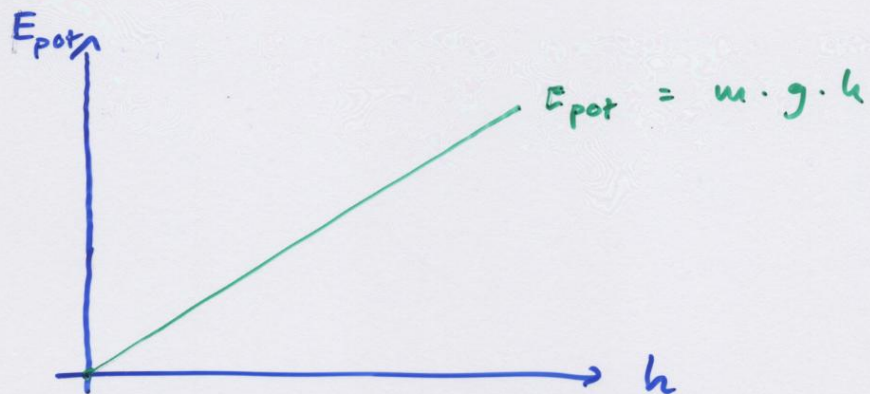
$$\approx \frac{G m_E m}{R_E^2} \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

$$A_{\infty} = - \int_{R_E}^{\infty} \vec{F} d\vec{r} = \frac{G \cdot m_E \cdot m}{R_E}$$

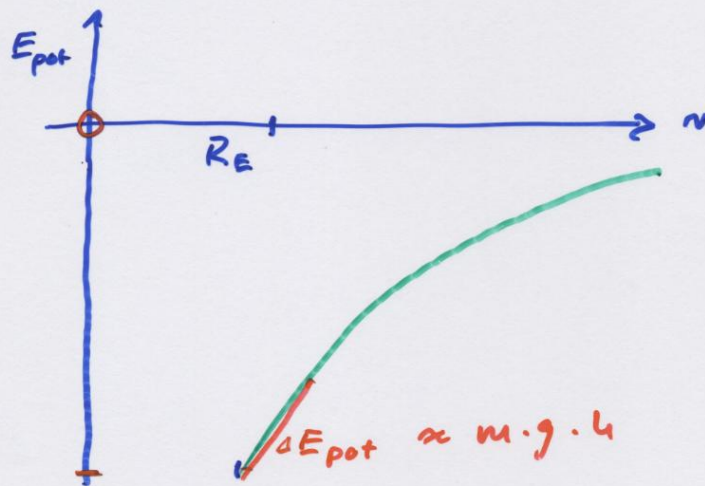
$$= E_{\text{pot}}(\infty) - E_{\text{pot}}(R_E)$$

$$\Rightarrow \boxed{E_{\text{pot}}(r) = - \frac{G m_E \cdot m}{r}} \quad \text{für } r > R_E$$

Bisher:



Mit Newton:



$$E_{\text{pot}}(R_E) = - \frac{G m_E m}{R_E}$$