

Klassische Physik 1

Johannes Blümer

WS 2014/15

V16 11.12.14

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



Zusammenfassung von v15

Präzession, Corioliskraft

Kräfte in rotierenden Bezugssystemen;

$$a_c = 2v\omega$$

Gravitationsgesetz

Jeder Körper übt eine anziehende Kraft auf jeden anderen Körper aus

$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

Messung der Gravitationskonstante:

schwierig, z.B. Torsionswaage; nur auf 4 Stellen bekannt; $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

Äquivalenzprinzip!

Kepler's Gesetze:

Ellipsen Flächensatz $T^2 \propto r^3$
"K1" "K2" "K3"

Focault - Pendel

20 Schwingungen 2 Teilstriche à 8 cm

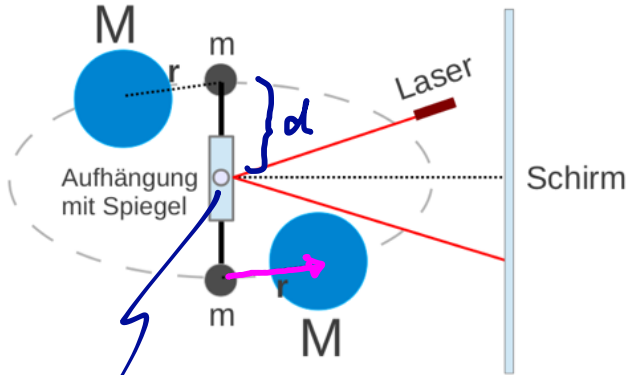
$T_{22} \approx 1^m 45^s$ Abbildungsfaktor 62.5

$A = 50 \text{ cm}$

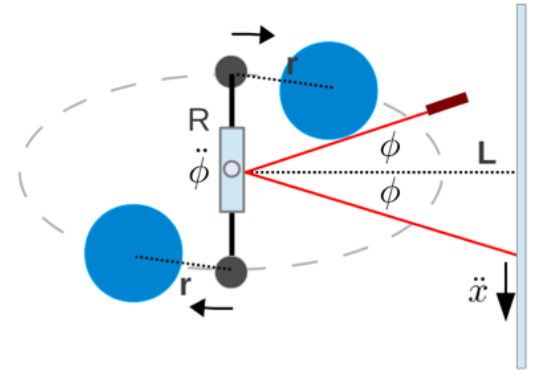
Karlsruhe $\approx 49,1^\circ \text{ N}$

Drehwaage

Stellung A



Stellung B



Drehachse

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

$$M_1 = 2Fd, \text{ Lage } \alpha_1$$

symmetrische Umkehrung
des Drehmoments, Lage α_2

$$D(\alpha_1 - \alpha_2) = M_1 - M_2 = 2M_1$$

$$L \text{ aus } D = \frac{4\pi^2}{T^2}$$

$$LJ = 2md^2$$

Leybold Drehwaage

▪ Torsionssystem:

- D** Winkelrichtgröße: ca. $8,5 \cdot 10^{-9}$ Nm/rad
- m** Masse der kleinen Bleikugeln: je 20 g
- d** Schwerpunktentfernung von der Drehachse: 50 mm
- T** Schwingungsdauer: ca. 10 min
 - Große Bleikugeln:
Durchmesser: je 64 mm
- M** Masse: je 1,5 kg
 - Gehäusedurchmesser: 148 mm
 - Gehäusetiefe: 30 mm
 - Gesamthöhe: 500 mm
 - Klebeskalen-Länge: je 1 m
 - Klebeskalen-Teilung: dm, cm und mm

$L = 12$ Spiegel-Skala
Vollausschlag "B"

33 Skt.

10 Skt = 20 cm

$r \rightarrow '47 \text{ mm}'$

systematische Fehler ???

T

Skala

Auswertung
folgt...

Gravitationsgesetz schließt "K3" ein

Spezialfall Kreisbahn mit Radius r

m_p Planetenmasse, $M_\odot$ Sonnenmasse

Zentripetalbeschleunigung $a_z = v^2/r$

$$\rightarrow \underbrace{F = m_p \cdot a_z = m_p v^2 / r}_{\text{Newton II}} = \underbrace{G \frac{M_\odot m_p}{r^2}}_{\text{grav. Gesetz}} \Rightarrow v^2 = \frac{G M_\odot}{r}$$

hängt nur von Zentralmasse ab

Umlaufzeit $T \Rightarrow v = \frac{2\pi r}{T}$

$$\rightarrow v^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2}$$

$$\frac{G M_\odot}{r} = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2} \Rightarrow T^2 = \underbrace{\frac{4\pi^2}{G M_\odot}}_{\text{konst.}} r^3 = \text{Aussage von K3}$$

Gravitation: $\frac{1}{r^2}$ -Zentralkraft

vgl. el. stat. Kraft

Test im Erde-Mond-System:

Erde, Mond $\rightarrow$ „Punktteilchen“

Bahnradius des Mondes $\approx r_E \times 60 = r \rightarrow 384\,000 \text{ km}$

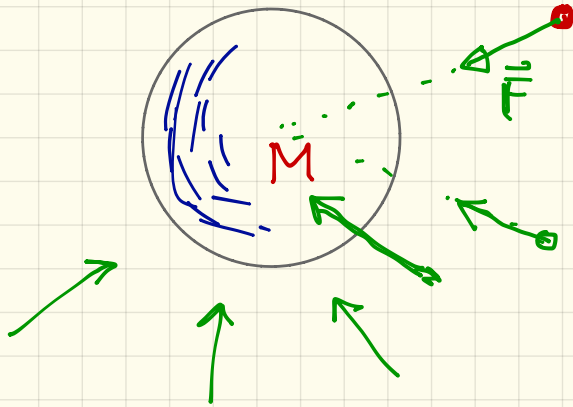
Bahnbeschleunigung $a_m = v^2/r = (2\pi r)^2/T^2$ $\underbrace{\hspace{10em}}_{27.3 \text{ Tage}}$

$$a_m = 2.72 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

$$g_E = 9.81 \text{ m/s}^2 = G \frac{M_E}{r_E^2} \Rightarrow \frac{g_E}{a_m} = \frac{r_m^2}{r_E^2}$$

$$\hookrightarrow \frac{g_E}{a_m} = 3607 \approx 60^2$$

gravitationsfeld



Probemasse m

grav. feld wird durch
seine kraftwirkung
an jedem ort definiert

Probemasse: $F = G m M / r^2$

→ Stärke des gravitationsfeldes : $g(r) = \frac{F}{m}$
 $= \text{grav. Potential der Masse } M$
 $= \frac{GM}{r^2}$

von einer Punktmasse zu Massenverteilungen

betr. Kugel $\leftarrow \Sigma$ dünne Kugelschalen

$\nwarrow \Sigma$ "dünne Ringe"

$$g_R = -\frac{GM}{r^2}$$

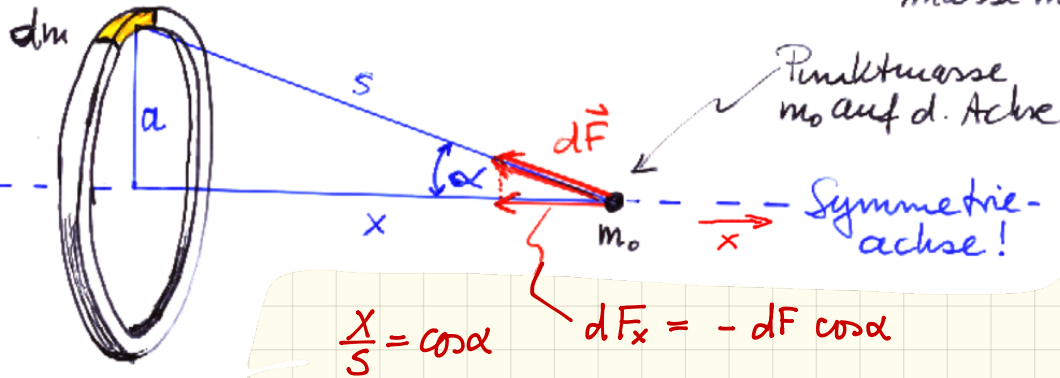


wie Punktmasse
im Abstand r

$\swarrow$ Massen-
elemente "dm"
auf einem
Kreis

g_x $\odot$

Ring mit homogener Massenbelegung, Gesamtmasse m



$$\frac{x}{s} = \cos \alpha$$

$$dF_x = -dF \cos \alpha$$

Beitrag von " dm " zur Kraft auf die Probemasse m_0 : $dF = -\frac{G dm m_0}{s^2}$

Symmetrie $\rightarrow$ betr. Projektion von dF auf x -Achse

$$dF_x = dF \cdot \cos \alpha = -G \frac{dm m_0}{s^2} \cos \alpha$$

Feldstärke, die durch dm verursacht wird: $dg_x = \frac{dF_x}{m_0} = -G \frac{dm}{s^2} \cos \alpha$

$$g_x = - \int \frac{G dm}{s^2} \cos \alpha = - \frac{G \cos \alpha}{s^2} \int dm$$

(Ring)

$$= -G \cos \alpha m / s^2$$

$$s^2 = x^2 + a^2, \quad \cos \alpha = x/s$$

$$\int dm = m$$

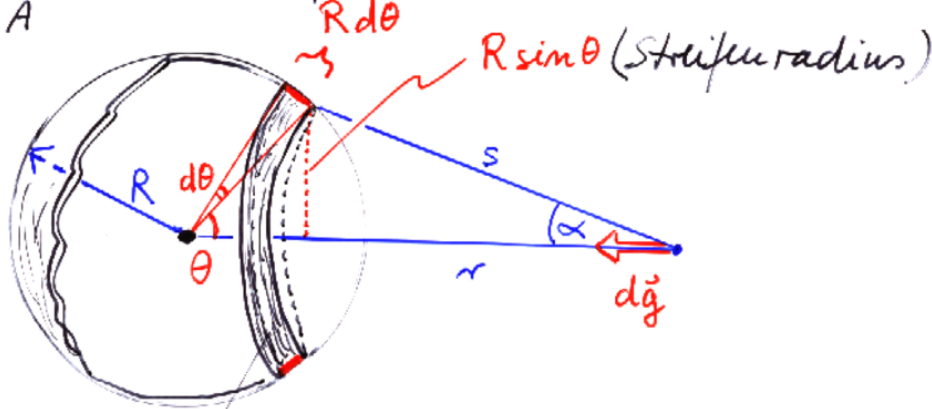
$$\rightarrow g_x = - \frac{G m x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} \quad (*)$$

Kugelschale aus Ringen „aufbauen“:

(Streifenbreite)

Fläche A
 $= 4\pi R^2$,

Massen
 M



dA : Fläche des Streifens

dM Masse des -- // Ringes $dM = M \frac{dA}{A}$

$$dM = M \cdot \frac{2\pi R^2 \sin \theta d\theta}{4\pi R^2} = \frac{1}{2} M \sin \theta d\theta$$

(*) verwenden $\rightarrow dg_R = -G \frac{dM}{s^2} \cos \alpha = - \frac{GM \sin \theta d\theta \cos \alpha}{2 s^2}$

~~(*)~~

Beitrag des Kugelschalenstreifens

Parameter s, α, θ verknüpft $\rightarrow$ alle durch s ausdrücken

' $d\theta$ ' $\rightarrow ds$

kleines Dreieck: $R^2 = x^2 + R^2 \sin^2 \theta$

$$\begin{aligned} \text{großes } \triangle : s^2 &= (r-x)^2 + R^2 \sin^2 \theta \\ &= r^2 + x^2 - 2rx + R^2 \sin^2 \theta \\ &= r^2 + R^2 - 2r \underline{R \cos \theta} \end{aligned}$$

$$\frac{d}{d\theta} \text{ bilden : } \frac{d(s^2)}{d\theta} = \frac{2s ds}{d\theta} = 2rR \sin \theta \quad \rightarrow \quad \sin \theta d\theta = \frac{s ds}{rR}$$

$$\cos \alpha \text{ aus gr. Dreieck} \quad \cos \alpha = \frac{s^2 + r^2 - R^2}{2sr} \quad \text{in } (**)$$

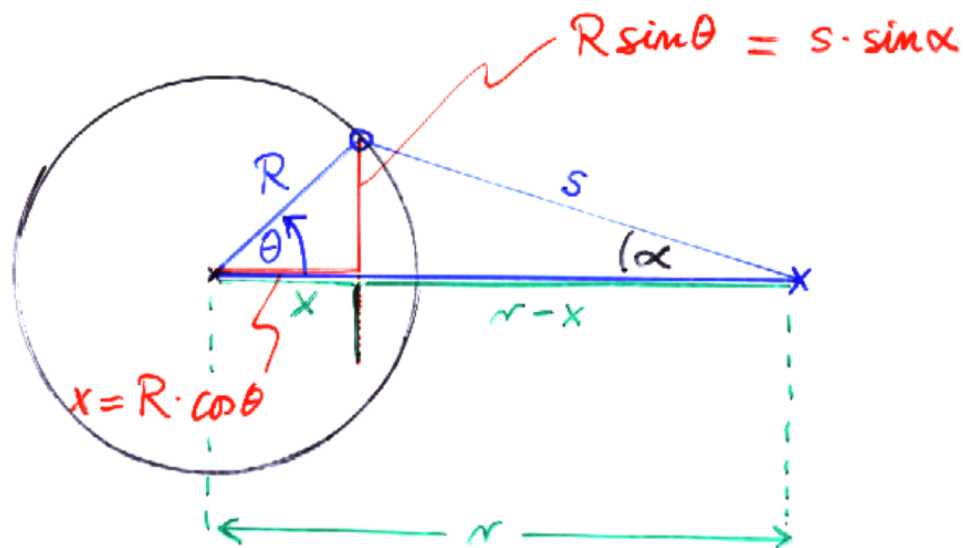
$$dg_r = - \frac{GM}{2s^2} \frac{s ds}{rR} \frac{s^2 + r^2 - R^2}{2sr} = - \frac{GM}{4r^2 R} \left(1 + \frac{r^2 - R^2}{s^2} \right) \cdot ds$$

über s von $r-R$ ($\theta=0$) bis $r+R$ ($\theta=180^\circ$) integrieren!

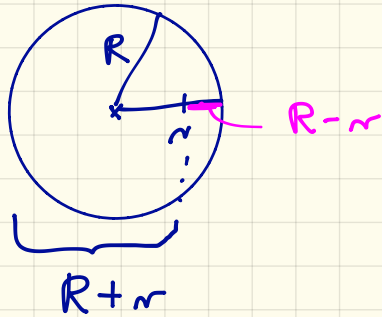
$$g_r = - \frac{GM}{4r^2 R} \int_{r-R}^{r+R} \left(1 + \frac{r^2 - R^2}{s^2} \right) ds = - \frac{GM}{4r^2 R} \left[\underbrace{s - \frac{r^2 - R^2}{s}}_{4R} \right]_{r-R}^{r+R} = - \frac{GM}{r^2}$$



Alles durch s ausdrücken: auch $d\theta \rightarrow ds$



geht Gravitationsfeld innerhalb der Kugelschale



analoge Argumentation wie
vorhin

Integration von $R-r$ bis $R+r$

$$g_{\text{innen}} = - \frac{GM}{4r^2R} \left[s - \frac{r^2 - R^2}{s} \right]_{R-r}^{R+r}$$

$$= 0$$

Das Gravitationsfeld in einer Kugelschale verschwindet
// Hohlkugel

1. Einführung

- 1.1. Was ist Physik?
- 1.2. Physikalische Größen und Einheiten
- 1.3. Messungen, Datenauswertung, Fehler

2. Klassische Mechanik

- 2.1. Kinematik der Massenpunkte
- 2.2. Dynamik der Massenpunkte
- 2.3. Systeme von Massenpunkten
- 2.4. Rotation

3. Gravitation

- 3.1. Gravitationsgesetz
- 3.2. Feld und Potential

3.3. Planetenbahnen: Kepler

3.4. Massenverteilungen

3.5. Dunkle Materie

4. Relativistische Mechanik

4.1. Bezugssysteme und Transformationen

4.2. Spezielle Relativitätstheorie

4.3. Relativistische Kinematik

5. Feste Körper und Flüssigkeiten

5.1. Feste Körper

5.2. Hydrostatik und Hydrodynamik

6. Schwingungen und Wellen

6.1. Schwingungen

6.2. Wellen