Probeklausur in Experimentalphysik 1

Prof. Dr. C. Pfleiderer
Wintersemester 2014/15
25. November 2014

Zugelassene Hilfsmittel:

- 1 Einseitig handbeschriebenes DIN A4 Blatt
- 1 nichtprogrammierbarer Taschenrechner

Bearbeitungszeit 90 Minuten. Es müssen nicht alle Aufgaben vollständig gelöst sein, um die Note 1,0 zu erhalten.

Aufgabe 1 (9 Punkte)

Eine kleine Kugel wird zum Zeitpunkt $t = 0\text{s}$ mit der Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 30\text{m/s}^{-1}$ unter dem Winkel $\beta = 60°$ gegen die Horizontale abgeschossen. Rechnen Sie für die Zahlenrechnungen vereinfachend mit $g = 10\text{ms}^{-2}$.

(a) Ermitteln Sie die Gleichung $x(t)$ und $y(t)$ und bestimmen Sie $y(x)$ der Wurfparabel.

(b) Berechnen Sie den Vektor $\vec{v}_1$ der Geschwindigkeit zum Zeitpunkt $t_1 = 2\text{s}$. Geben Sie Betrag und Winkel zur x-Achse an.

(c) Bestimmen Sie Normal- und Tangentialbeschleunigung zum Zeitpunkt $t_1 = 2\text{s}$.

(d) Zu welchem Zeitpunkt t_S erreicht die Kugel den Scheitelpunkt der Wurfparabel?

(e) Welche Ortskoordinaten $\vec{r}_\text{S}$ hat der Scheitelpunkt?

(f) Welchen Krümmungsradius R_S hat die Wurfparabel im Scheitelpunkt?

Lösung

(a) Die Komponenten der Ortsvektors sind

$$x(t) = (v_0 \cos\beta)t \qquad\qquad y(t) = (v_0 \sin\beta)t - \frac{1}{2}gt^2.$$

[1]

Die Kombination der beiden Gleichungen unter Elimination der Zeit t liefert die Gleichung $y(x)$ der Wurfbewegung. Setzen wir $t = \frac{x}{v_0 \cos\beta}$ in die Gleichung für die y-Komponente ein, so erhalten wir

$$
\begin{aligned}
y(x) &= (v_0 \sin\beta)\frac{x}{v_0\cos\beta} - \frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v_0\cos\beta}\right)^2 \\
&= x\tan\beta - \frac{g}{2v_0^2\cos^2\beta}x^2 \\
&= \sqrt{3}x - \frac{10\mathrm{m/s}^2}{2\cdot(30\mathrm{m/s})^2\cdot\left(\frac{1}{2}\right)^2}x^2 \\
&= \sqrt{3}x - \frac{1}{45}\mathrm{m}^{-1}x^2
\end{aligned}
$$

[**1,5**]

(b) Die Geschwindigkeit ergibt sich zu

$$
\vec{v}(2\mathrm{s}) = \begin{pmatrix} (15\mathrm{m/s}^{-1}) \\ (15\sqrt{3}\mathrm{ms}^{-1}) - (10\mathrm{m/s}^2)(2\mathrm{s}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15\mathrm{m/s} \\ 6\mathrm{m/s} \end{pmatrix}
$$

Der Betrag des Geschwindigkeitsvektors ergibt sich zu

$$
|\vec{v}(2\mathrm{s})| = \sqrt{(15\mathrm{m/s})^2 + (6\mathrm{m/s})^2} = 16,1\mathrm{m/s}
$$

[**1**]

Die Richtung des Geschwindigkeitsvektors gegen die x-Achse ergibt sich aus den Komponenten zu

$$
\tan\varphi = \frac{v_y}{v_x} = \frac{6\mathrm{m/s}}{15\mathrm{m/s}} = 0,4
$$

was $\varphi = 21,8°$ gibt.

[**1**]

(c) Die Richtung des Geschwindigkeitsvektors gibt die Tangente an die Bahnkurve des materiellen Teilchens an. Die Erdbeschleunigung ist ein Komponentenzerlegung auf die Richtungen des Geschwindigkeitsvektors zu zerlegen. Die Tangentialbeschleunigung ist

$$
a_{\mathrm{tan}} = g\sin\varphi = -3,7\mathrm{m/s}^2
$$

Die Normalbeschleunigung ist

$$
a_{\mathrm{norm}} = g\cos\varphi = -9,3\mathrm{m/s}^2
$$

[**1**]

(d) Der Scheitelpunkt der Bahnbewegung ist erreicht, wenn die y-Komponente der Geschwindigkeit null wird, also, wenn

$$
v_0\sin\beta - gt_S = 0
$$

Dies liefert für die Flugzeit bis zum Scheitelpunkt

$$
t_{\mathrm{S}} = \frac{v_0\sin\beta}{g} = \frac{30\mathrm{m/s}\cdot\frac{1}{2}\cdot\sqrt{3}}{10\mathrm{m/s}^2} = 2,6\mathrm{s}
$$

[**1**]

(e) Den Radiusvektor des Scheitelpunkts findet man durch Einsetzen der Flugzeit als

$$\vec{r}(t_\mathrm{S} = \begin{pmatrix} (15\mathrm{m/s})t_\mathrm{S} \\ (15\sqrt{3}\mathrm{m/s})t_\mathrm{S} - (5\mathrm{m/s}^2)t_\mathrm{S}^2 \end{pmatrix}$$
$$= \begin{pmatrix} 39,0\mathrm{m} \\ 33,7\mathrm{m} \end{pmatrix}$$

[0,5]

(f) Nach Teilaufgabe (d) ist im Scheitelpunkt die y-Komponente des Geschwindigkeitsvektors null. Die x-Komponente ist die zeitlich konstante x-Komponente der Anfangsgeschwindigkeit, also

$$\vec{v}_\mathrm{S}(t_\mathrm{S}) = \begin{pmatrix} v_0 \cos\beta \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Der Betrag ist

$$|\vec{v}_\mathrm{S}(t_\mathrm{S})| = v_\mathrm{S} = v_0 \cos\beta = 30\mathrm{m/s} \cdot \frac{1}{2}\sqrt{3} = 15\mathrm{m/s}$$

Die Komponentenzerlegung der Fallbeschleunigung im Scheitelpunkt vereinfacht sich zu

$$a_\mathrm{tan} = 0 \qquad\qquad a_\mathrm{norm} = -g$$

Im Scheitelpunkt ist die Zentripetalbeschleunigung gegeben durch

$$a_\mathrm{Z,\ s} = \frac{v_\mathrm{S}^2}{R_\mathrm{S}}$$

Diese Zentripetalbeschleunigung wird durch die Fallbeschleunigung im Scheitelpunkt aufgebracht, also

$$a_\mathrm{Z,\ s} = g = \frac{v_\mathrm{S}^2}{R_\mathrm{S}},$$

was

$$R_\mathrm{S} = \frac{v_\mathrm{S}^2}{g} = \frac{v_0^2 \cos^2\beta}{g} = 22,5\mathrm{m}$$

liefert.

[2]

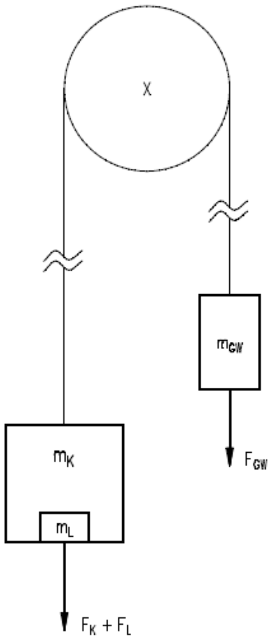
Aufgabe 2 (4 Punkte)

Der Förderkorb eines Lastenaufzugs ist mit einer Kiste beladen, die eine Masse von $m_L = 300\mathrm{kg}$ habt. Der Aufzug besteht aus dem beschriebenen Förderkorb mit einer Masse von $m_\mathrm{K} = 1500\mathrm{kg}$ und einem Gegengewicht mit der Masse von $m_\mathrm{GW} = 1200\mathrm{kg}$ (siehe Skizze). Stellen Sie die Kräfte auf:

(a) Welche Kraft übt die Kiste auf den Boden des Förderkorbs aus, wenn der Förderkorb mit einer Beschleunigung von $a = 3\mathrm{m/s}^2$ nach oben beschleunigt wird?

(b) Nach einiger Zeit der Beschleunigung hat der Lastenaufzug seine Endgeschwindigkeit v_0 erreicht, mit der er dann konstant weiterfährt. Welche Kraft übt die Kiste in dieser Phase auf den Boden aus?

(c) Berechnen Sie die Beschleunigung a, mit der der Förderkorb zu Boden fällt, wenn die Bremsen versagen!



Lösung

Gegeben sind

$$m_{\mathrm{L}} = 300\mathrm{kg} \qquad m_{\mathrm{K}} = 1500\mathrm{kg}$$
$$m_{\mathrm{GW}} = 1200\mathrm{kg} \qquad g = 9,81\mathrm{m/s}^2,$$

wobei m_{L} die Masse des Lastenaufzugs ist.

(a) Gegeben ist hier $a = 3\mathrm{m/s}^2$. Bezeichnen wir mit F_1 die gesuchte Kraft, so gilt

$$F_1 = m_{\mathrm{L}}g + m_{\mathrm{L}}a = m_{\mathrm{L}}(g+a) = 300\mathrm{kg}\left(9,81\mathrm{m/s}^2 + 3\mathrm{m/s}^2\right) = 3843\mathrm{N}$$

[**1**]

(b) Nun ist $a = 0\mathrm{m/s}$. Bezeichnen wir die gesuchte Kraft mit F_2, so gilt

$$F_2 = m_{\mathrm{L}}g = 300\mathrm{kg} \cdot 9,81\mathrm{m/s}^2 = 2943\mathrm{N}$$

[**1**]

(c) Für die Kraft F_3, die der Förderkorb ausübt, gilt

$$\begin{aligned} F_3 &= m_{\mathrm{K}}g + m_{\mathrm{L}}g - m_{\mathrm{GW}}g \\ &= g(m_{\mathrm{K}} + m_{\mathrm{L}} - m_{\mathrm{GW}}) \\ &= 9,81\mathrm{m/s}^2(1500\mathrm{kg} + 300\mathrm{kg} - 1200\mathrm{kg}) \\ &= 9,81\mathrm{m/s}^2 \cdot 600\mathrm{kg} \\ &= 5886\mathrm{N} \end{aligned}$$

Damit folgt für a die gesuchte Beschleunigung

$$a = \frac{F_3}{m_\mathrm{K} + m_\mathrm{L} + m_\mathrm{GW}} = \frac{5886\mathrm{kgm/s}^2}{1500\mathrm{kg} + 300\mathrm{kg} + 1200\mathrm{kg}} = 1,962\mathrm{m/s}^2$$

[**2**]

Aufgabe 3 (5 Punkte)

Ein Experimentator befindet sich in

(a) einem Zug, der auf horizontaler Bahn mit der konstanten Geschwindigkeit $v_\mathrm{Z} = 54\mathrm{kmh}^{-1}$ nach rechts fährt

(b) einem Schrägaufzug, der sich mit der konstanten Geschwindigkeit $v_\mathrm{S} = 4\mathrm{ms}^{-1}$ auf einer schiefen Ebene mit dem Neigungswinkel $\varphi = 30°$ nach rechts oben bewegt.

Der Experimentator lässt in jeder der beiden Situationen zum Zeitpunkt $t = 0\mathrm{s}$ einen Körper fallen. Beschreiben Sie die Bewegung des fallenden Körpers ($r(t)$) vom Standpunkt eines

- mitbewegten Beobachters,
- ruhenden Beobachters aus.
- Geben Sie den Geschwindigkeitsvektor $\vec{v}(0)$ für die Zeit $t = 0\mathrm{s}$ an.

Lösung

Für Bezugssysteme, die sich mit konstanter Geschwindigkeit $\vec{v}_\mathrm{rel}$ gegeneinander bewegen, gilt die Galilei-Transformation

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_\mathrm{rel} + \vec{v}'(t)$$

wobei $\vec{v}$ die Geschwindigkeit im ruhenden System S, $\vec{v}'$ die Geschwindigkeit im bewegten System S' und $\vec{v}_\mathrm{real}$ die Geschwindigkeit des bewegten Systems S' gegen das ruhende System S ist.

In einem gleichförmig bewegten System S' gilt für einen frei fallenden Körper

$$\vec{v}'(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ -gt \end{pmatrix}$$

Die zurückgelegten Wege erhält man durch Integration der Geschwindigkeitskomponenten, es gilt also (in Vektorschreibweise)

$$\vec{r}(t) = \int \vec{v}(t)\,\mathrm{d}t$$

(a) Der Zug bewegt sich mit der Geschwindigkeit v_Z nach „rechts“/in positive x-Koordinatenrichtung. Die Relativgeschwindigkeit ist daher $\vec{v}_\mathrm{real} = (v_\mathrm{Z}, 0)$. Für die Geschwindigkeiten gilt damit die Beziehung

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_\mathrm{rel} + \vec{v}'(t) = \begin{pmatrix} v_\mathrm{Z} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -gt \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_\mathrm{Z} \\ -gt \end{pmatrix}$$

Eine Integration der Vektorkomponenten liefert für den zurückgelegten Weg

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} v_\mathrm{Z} t \\ -\frac{1}{2}gt^2 \end{pmatrix}$$

Der mitbewegte Beobachter sieht einen freien Fall. Der Beobachter im ruhenden System S beschreibt den Vorgang als einen waagerechten Wurf. Die Anfangsgeschwindigkeit ergibt sich zu

$$\vec{v}(0) = \begin{pmatrix} v_Z \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_Z \\ 0 \end{pmatrix}$$

[2,5]

(b) Die Bewegung des Schrägaufzugs erfolge mit dem Geschwindigkeitsbetrag v_S unter einem Winkel φ schräg nach rechts oben. Eine Komponentenverlegung liefert für die Relativgeschwindigkeit

$$\vec{v}_{\mathrm{rel}} = \begin{pmatrix} v_S \cos\varphi \\ v_S \sin\varphi \end{pmatrix}.$$

Damit gilt für die Geschwindigkeiten

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_{\mathrm{rel}} + \vec{v}'(t) = \begin{pmatrix} v_S \cos\varphi \\ v_S \sin\varphi \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -gt \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_S \cos\varphi \\ -v_S \sin\varphi - gt \end{pmatrix}$$

Integration der Vektorkomponenten ergibt für den zurückgelegten Weg

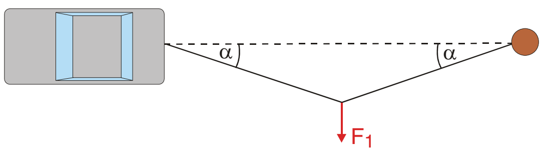
$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} (v_S \cos\varphi)t \\ (v_S \sin\varphi)t - \frac{1}{2}gt^2 \end{pmatrix}$$

Der mitbewegte Beobachter sieht einen freien Fall. Der Beobachter im ruhenden System S beschreibt den Vorgang als einen schiefen Wurf nach oben. Die Anfangsgeschwindigkeit ergibt sich zu

$$\vec{v}(0) = \vec{v}_{\mathrm{rel}} + \vec{v}'(0) = \begin{pmatrix} v_S \cos\varphi \\ v_S \sin\varphi \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_S \cos\varphi \\ v_S \sin\varphi \end{pmatrix}$$

[2,5]

Aufgabe 4 (3 Punkte)



Ihr Auto steckt in einem Schlammloch fest. Sie sind allein, haben aber ein langes starkes Seil bei sich. Da Sie die Physikvorlesung aufmerksam verfolgt haben, befestigen Sie ein Ende des Seils am Auto und das andere Ende an einem Baum. Nun ziehen Sie seitlich mit der Kraft F_1 an der Mitte des Seils, wie in der Abbildung dargestellt.

(a) Welche Kraft übt das Seil auf das Auto aus, wenn der Winkel $\alpha = 3°$ beträgt und Sie mit einer Kraft $F_1 = 400\mathrm{N}$ am Seil ziehen, ohne, dass sich das Auto bewegt?

(b) Bis zu welchem Winkel α ist die auf das Auto wirkende Kraft größer als die von Ihnen ausgeübte Kraft F_1?

Lösung

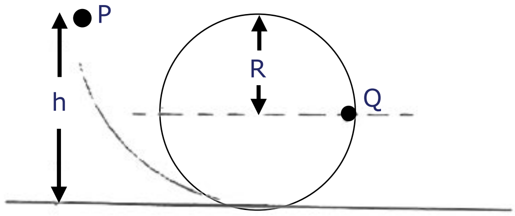
(a) Aus Symmetriegründen wirkt im Seil auf jeder Seite die gleiche Zugkraft F_2, womit keine resultierende Kraftkomponente existiert. Es ergibt sich also $F_2 = \frac{F_1}{2\sin\alpha} = 3821\text{N}$, was einer Kraftverstärkung um den Faktor $9,5$ entspricht.

[**2**]

(b) Gegeben die Glaubwürdige Annahme $F_1 \neq 0$ gilt $F_2 > F_1 \Leftrightarrow 2\sin\alpha < 1 \Leftrightarrow \sin\alpha < 0,5 \Leftrightarrow \alpha < 30°$.

[**1**]

Aufgabe 5 (6 Punkte)



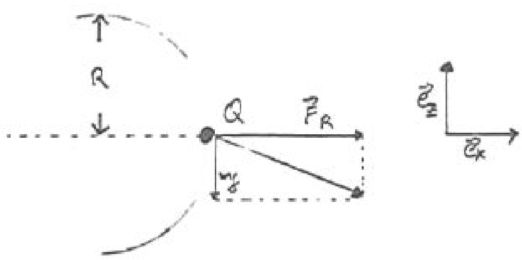
Eine kleine Masse m rutscht reibungslos eine Bahn herunter. Danach durchfährt die Masse den „Todeskreis“ („Looping“). Der Todeskreis habe den Radius R. Die Masse wird immer so geführt, dass sie nicht seitlich aus der Bahn fallen kann.

(a) Wenn die Masse von der Höhe $5R$ im Punkt P auf der Bahn losgelassen wird, wie groß ist dann der Betrag der der **resultierenden Kraft** auf die Masse im Punkt Q? Geben Sie diese Kraft in Einheiten der Gravitationskraft an und zeichnen Sie die Kräfte in eine **Skizze** ein.

(b) Wie groß ist die Kreisfrequenz ω der Masse m im Punkt Q.

(c) Bei welcher Höhe sollte die Masse losgelassen werden, damit sie am höchsten Punkt des Loopings gerade nicht herunterfällt?

Lösung



(a) [**1**]

Die Geschwindigkeit kann mithilfe des Energiesatz bestimmt werden.

$$mgh = \frac{m}{2}v^2 + mgR$$

Für $h = 5R$ ergibt sich

$$mg4R = \frac{m}{2}v^2 \Rightarrow v = \sqrt{8gR}$$

Die Fliehkraft $\vec{F}_\mathrm{R}$ entspricht $m\frac{v^2}{R}\vec{e}_x = m8g\vec{e}_x$, die Schwerkraft $\vec{F}_\mathrm{G} = -mg\vec{e}_z$. Damit gilt

$$F_\mathrm{ges}^2 = F_\mathrm{R}^2 + F_\mathrm{G}^2 = m^2g^2(8^2+1) = 65m^2g^2 \Rightarrow F_\mathrm{ges} = \sqrt{65}mg$$

[**2**]

(b) Es ergibt sich $\omega = \frac{v}{R} = \frac{\sqrt{8gR}}{R} = \sqrt{\frac{8g}{R}}$.

[**1**]

(c) Der Energiesatz am höchsten Punkt liefert

$$mgh = \frac{m}{2}v^2 + mg2R$$

Nun, $F_\mathrm{G} = F_\mathrm{R} \Leftrightarrow mg = m\frac{v^2}{R} \Leftrightarrow v^2 = gR$ benutzend

$$= \frac{m}{2}gR + mg2R,$$

was

$$h = \frac{5}{2}R$$

liefert.

[**2**]

Aufgabe 6 (5 Punkte)

Ein als masselos anzunehmendes Gummiseil, das in entspanntem Zustand die Länge $l_0 = 40$m hat, ist am Geländer einer Brücke der Höhe $h_0 = 100$m befestigt. Am anderen Ende des Seils ist ein Mensch mit der Masse $m = 70$kg befestigt. Nehmen Sie an, dass sich das Gummiseil bei Dehnung gemäß dem Hookeschen Gesetz mit einer Federkonstante von $k = 40$N/m verhält. Nun springt der Mensch zur Zeit $t_0 = 0$ von der Brücke.

a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit v_1 zu dem Zeitpunkt t_1, zu dem das Seil erstmals gestreckt ist und dessen Dehnung beginnt. Wie groß ist t_1?

Lösung:

Das Seil ist erstmals gestreckt, wenn die Fallstrecke x des freien Falls der Länge l_0 des entspannten Seils entspricht:

$$x = \frac{1}{2}gt_1^2 \tag{1}$$

Setzt man $l_0 = 40\text{m}$ für x ein und löst nach t_1 auf, so erhält man

$$t_1 = \sqrt{\frac{2l_0}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 40\text{m}}{9.81\text{m/s}^2}} = 2.86\text{s} \tag{2}$$

[1]

Für den freien Fall lässt sich die Geschwindigkeit v_1 einfach berechnen:

$$v_1 = v(t_1) = gt_1 = \sqrt{2l_0 g} = \sqrt{2 \times 40\text{m} \times 9.81\text{m/s}^2} = 28\text{m/s} \tag{3}$$

[1]

b) Nach welcher Fallstrecke x_2 kompensieren sich gerade die Schwerkraft auf den Menschen und die elastische Kraft des Seils?

Lösung:

Die elastische Kraft wird durch das Hookesche Gesetz beschrieben. Dann gilt

$$mg = (x_2 - l_0)k \tag{4}$$

wobei $(x_2 - l_0)$ natürlich die Dehnung des Seils darstellt. Nach x_2 aufgelöst ergibt sich

$$x_2 = \frac{mg}{k} + l_0 = \frac{70\text{kg} \times 9.81\text{m/s}^2}{40\text{N/m}} + 40\text{m} = 57.2\text{m} \tag{5}$$

[1,5]

c) Wie groß ist die maximale Geschwindigkeit v_{max}, die der Springer erreicht?

Lösung:

Die maximale Geschwindigkeit wird an dem Ort erreicht, an dem die Schwerkraft gleich der elastischen Kraft des Seils ist. Dann ergibt sich durch die Energieerhaltung, dass die frei gewordene potentielle Energie gleich der Summe der kinetischen Energie und der Energie, die in der Dehnung steckt, ist:

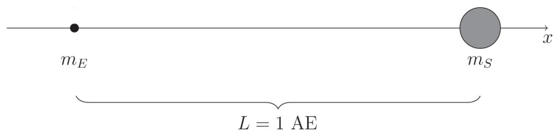
$$\begin{aligned} mgx_2 &= \frac{1}{2}mv_{max}^2 + \left(\int_{l_0}^{x_0} (x_2 - l_0)k dx\right) && (6) \\ &= \frac{1}{2}mv_{max}^2 + \frac{1}{2}(x_0 - l_0)^2 k && (7) \end{aligned}$$

Aufgelöst nach v_{max} ergibt sich:

$$
\begin{aligned}
v_{max}^2 &= \frac{2}{m}\left(mgx_2 - \frac{1}{2}(x_0 - l_0)^2\right) && (8)\\
&= \frac{2}{m}\left(mg\left(\frac{mg}{k} + l_0\right) - \left(\frac{mg}{k}\right)^2 \frac{k}{2}\right) && (9)\\
&= \frac{2mg^2}{k} + 2gl_0 - \frac{mg^2}{k} && (10)\\
&= \frac{mg^2}{k} + 2gl_0 && (11)\\
&= 30.9\text{m/s} && (12)
\end{aligned}
$$

[1,5]

Aufgabe 7 (4 Punkte)



Betrachten Sie ein vereinfachtes Planetensystem, das nur aus der Erde mit der Masse m_E und der Sonne mit der Masse m_S besteht. Der Abstand L betrage 1 AE ($1,49 \cdot 10^{11}$m).

(a) Sie bringen eine Testmasse m in das System. An welchem Punkt x_0 wirken keine Gravitationskräfte auf die Masse?

(b) Was passiert, wenn Sie einem Körper, der sich im in der ersten Teilaufgabe ermittelten Punkte x_0 befindet, eine kleine Auslenkung in x- bzw. y-Richtung geben? Geben sie eine kurze Begründung ohne Rechnung.

Lösung

(a) Die Gravitationskräfte von Sonne und Erde auf den Körper müssen gleich groß sein. Daher

$$G\frac{m_\text{E}m}{x^2} = G\frac{m_\text{S}m}{(L-x)^2}$$

Daraus erhält man durch Umstellen

$$\sqrt{\frac{m_\text{E}}{m_\text{S}}} = \frac{x}{L-x}$$

Diese Gleichung wird offenbar eindeutig durch

$$x_0 = \frac{L}{1 + \sqrt{\frac{m_\text{E}}{m_\text{S}}}}$$

gelöst, was durch weiteres Umstellen erhalten wurde.

[**2**]

(b) Bei Auslenkung in y-Richtung: Die Masse würde in y-Richtung schwingen, da sich die x-Komponenten der Gravitationskräfte kompensieren würden, und die resultierende Kraft in y-Richtung immer auf den Punkt $(x_0, 0)$ zeigt und damit eine zur Auslenkung rücktreibende Kraft herrscht.

Bei Auslenkung in x-Richtung: Die Testmasse würde in die Sonne bzw. Erde stürzen. Bemerkung: Diese überlegung ist im Rahmen des vereinfachenden Modells, das der Aufgabenstellung zugrunde liegt, zu verstehen. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass der Punkt $(x_0, 0)$ der sogenannte Lagrange-Punkt L_1 zwischen Erde und Sonne ist. Das effektive Gravitationspotential (unter Berücksichtigung von Rotationseffekten) hat dort einen Sattelpunkt, woraus folgt, dass es sich um einen dynamisch instabilen Punkt handelt. Kleine Abweichungen aus der Gleichgewichtslage wachsen exponentiell an und führen zu einem (langsamen) Abwandern einer Testmasse von diesem Punkt. Satelliten (z.B. SO-HO), die an diesem Punkt geparkt werden, müssen durch Korrekturmanöver (ca. einmal pro Monat) an diesem Punkt gehalten werden.

[**2**]