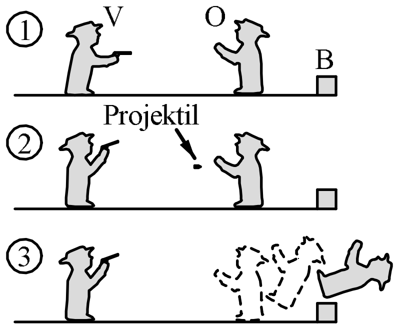
Klasse 11 c **2. Schulaufgabe aus der Physik** **22. 05. 2007**

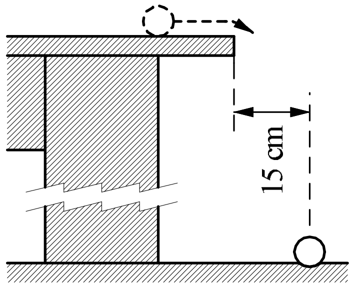
Gruppe A

1. **Aus einem schlechten Krimi**



Ein Verbrecher (V) steht in einiger Entfernung von seinem Opfer (O). Ein Schuss löst sich aus seiner Waffe. Das Opfer wird in hohem Bogen nach hinten über die Brüstung (B) eines Hochhauses geschleudert. Nimm aus physikalischer Sicht kritisch Stellung zu dem rechts gezeichneten Geschehen. (Moralisch gesehen ist die Tat natürlich absolut verwerflich.)

2. **Murmeln**



Hans schubst seine Murmeln auf dem 76 cm hohen Esszimmertisch. Als eine der Kugeln (senkrecht) über die Kante rollt, fällt sie vom Tisch und verursacht an der rechts gekennzeichneten Stelle eine kleine Delle im Holzfußboden. Wie schnell rollte die Kugel auf dem Tisch?

3. **Kurvenflug**

Ein Düsenjet fliegt bei gleichbleibender Höhe eine kreisförmige Kurve. Dabei ist er um 60° gegen die Horizontale geneigt. Die Geschwindigkeit des Jets beträgt $500\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Bestimme den Radius der Kurve.

4. **Sputnik 1**

Am 4. Oktober 1957 brachte die damalige Sowjetunion mit dem Sputnik 1 den ersten künstlichen Satelliten in die Erdumlaufbahn. Sputnik 1 hatte einen Durchmesser von 58 cm und eine Masse von 83, 6 kg. Er umkreiste die Erde anfangs in 96, 2 Minuten.

a) Nimm an, Sputnik 1 hätte sich auf einer Kreisbahn um die Erde bewegt. Berechne seine **Flughöhe über dem Erdboden**.

b) Ein Lexikon gibt eine „Perigäumshöhe" von 228 km und eine „Apogäumshöhe" von 947 km an. Deute die beiden Begriffe aus dem Kontext der Himmelsmechanik unter Zuhilfenahme einer geeigneten aussagekräftigen Skizze.

c) Infolge der Abbremsung durch Reibung kam Sputnik 1 im Laufe seiner 92-tägigen Mission der Erde immer näher und verglühte schließlich. Wie änderte sich seine Umlaufsdauer infolge der Bahnänderung? Begründe deine Aussage.

Kleiner „Spicker":

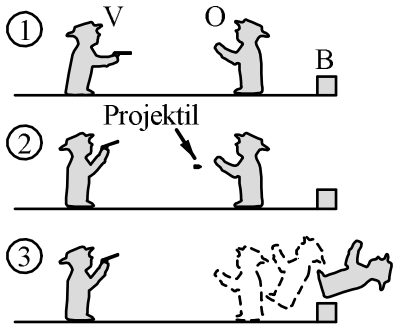
Dritter „Kepler":	$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$	Gravitationskonst.:	$G = 6,67 \cdot 10^{-11}\frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2}$
Masse der Erde:	$m_\text{E} = 5,977 \cdot 10^{24}\,\text{kg}$	Radius der Erde:	$r_\text{E} = 6368\,\text{km}$

Viel Erfolg! Kink

Gruppe B

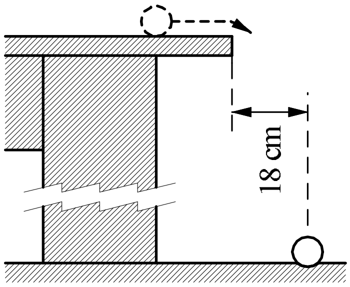
1. **Aus einem schlechten Krimi**

   Ein Verbrecher (V) steht in einiger Entfernung von seinem Opfer (O). Ein Schuss löst sich aus seiner Waffe. Das Opfer wird in hohem Bogen nach hinten über die Brüstung (B) eines Hochhauses geschleudert. Nimm aus physikalischer Sicht kritisch Stellung zu dem rechts gezeichneten Geschehen. (Moralisch gesehen ist die Tat natürlich absolut verwerflich.)



2. **Murmeln**

   Hans schubst seine Murmeln auf dem 42 cm hohen Couchtisch. Als eine der Kugeln (senkrecht) über die Kante rollt, fällt sie vom Tisch und verursacht an der rechts gekennzeichneten Stelle eine kleine Delle im Holzfußboden. Wie schnell rollte die Kugel auf dem Tisch?



3. **Kurvenflug**

   Ein Düsenjet fliegt bei gleichbleibender Höhe eine kreisförmige Kurve. Dabei ist er um 50° gegen die Horizontale geneigt. Die Geschwindigkeit des Jets beträgt $300 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Bestimme den Radius der Kurve.

4. **Sputnik 2**

   Am 3. November 1957 brachte die damalige Sowjetunion mit dem Sputnik 2 das erste Lebewesen – die Hündin Laika – in die Erdumlaufbahn. Bei einer Höhe von 4 m betrug seine Masse 508, 3 kg. Sputnik 2 umkreiste die Erde anfangs in 103, 7 Minuten.

   a) Nimm an, Sputnik 2 hätte sich auf einer Kreisbahn um die Erde bewegt. Berechne seine **Flughöhe über dem Erdboden**.

   b) Ein Lexikon gibt eine „Perigäumshöhe“ von 212 km und eine „Apogäumshöhe“ von 1660 km an. Deute die beiden Begriffe aus dem Kontext der Himmelsmechanik unter Zuhilfenahme einer geeigneten aussagekräftigen Skizze.

   c) Infolge der Abbremsung durch Reibung kam Sputnik 2 im Laufe seiner 162-tägigen Mission der Erde immer näher und verglühte schließlich. Wie änderte sich seine Umlaufsdauer infolge der Bahnänderung? Begründe deine Aussage.

Kleiner „Spicker“:

Dritter „Kepler“:	$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$	Gravitationskonst.:	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\mathrm{N\,m^2}}{\mathrm{kg^2}}$
Masse der Erde:	$m_\mathrm{E} = 5,977 \cdot 10^{24}\,\mathrm{kg}$	Radius der Erde:	$r_\mathrm{E} = 6368\,\mathrm{km}$

Viel Erfolg! Kink

Musterlösung

Gruppe A

1. Es gilt die Impulserhaltung. Die Schütze bekommt vom Betrage her den gleichen Impuls wie das Geschoss, jedoch vom entgegengesetzten Vorzeichen.

   Der Impuls des Geschosses wird zum größten Teil an das Opfer übertragen.

   Bei annähernd gleicher Masse sollte das Opfer wegen $p = mv$ mit annähernd der gleichen Geschwindigkeit über die Brüstung geschleudert werden wie der Schütze durch den Rückstoß nach hinten.

   Dieser wird in der Sequenz aber offensichtlich nicht wesentlich nach hinten geschleudert.

   (Falls das Opfer weniger Impuls abbekommt schaut die Sache noch verkehrter aus, denn der Schütze hätte den größeren Impuls aufzunehemen.)

2. geg: $h = 0,76\,\mathrm{m}$, $d = 0,15\,\mathrm{m}$

   Falldauer:

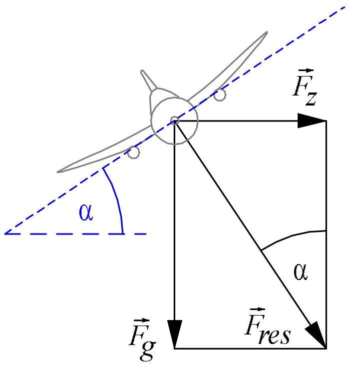
$$h = \frac{g}{2}t^2$$
$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,76\,\mathrm{m}}{9,81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}} = 0,393\,\mathrm{s}$$

   Horizontale Geschwindigkeitskomponente:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{0,15\,\mathrm{m}}{0,393\,\mathrm{s}} = 0,38\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

3. geg: $\alpha = 60°$, $v = 500\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

   Aus dem Kräftediagramm liest man ab:



$$\tan\alpha = \frac{F_\mathrm{Z}}{F_\mathrm{g}}$$
$$F_\mathrm{Z} = F_\mathrm{g}\tan\alpha = mg\tan\alpha$$

   Zentripetalkraft:

$$\frac{mv^2}{r} = mg\tan\alpha$$
$$r = \frac{v^2}{g\tan\alpha} = \frac{\left(500\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{9,81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\tan 60°} = 147000\,\mathrm{m} \approx 15\,\mathrm{km}$$

4. geg: $T = 96{,}2\,\text{min} = 5772\,\text{s}, \quad m_\text{E} = 5{,}977 \cdot 10^{24}\,\text{kg}$

   a) Kräftegleichgewicht:

$$\text{Gravitationskraft} = \text{Zentripetalkraft}$$
$$G\frac{m_\text{E} m_\text{S}}{r^2} = m_\text{S}\omega^2 r$$

Mit $\omega = \frac{2\pi}{T}$

$$G\frac{m_\text{E} m_\text{S}}{r^2} = m_\text{S} \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot r$$
$$G m_\text{E} = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot r^3$$
$$r = \sqrt[3]{\frac{G m_\text{E} T^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{6{,}67 \cdot 10^{-11}\frac{\text{N}\,\text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot 5{,}977 \cdot 10^{24}\,\text{kg} \cdot (5772\,\text{s})^2}{4\pi^2}}$$
$$= 6955056\,\text{m} = 6955\,\text{km}$$

Höhe über dem Erdboden:

$$h = 6955\,\text{km} - 6368\,\text{km} = 587\,\text{km}$$

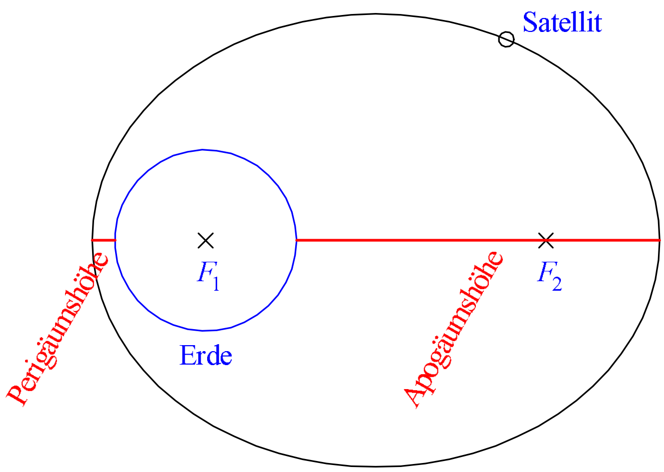
   b) Die Bahnen von Satelliten folgen auch den Kepler-Gesetzen für Planeten.

Hier ist das Zentralgestirn im einen Brennpunkt die Erde.

Die Ellipsenbahn eines Satelliten hat einen erdnächsten und erdfernsten Punkt.

Die Höhe im erdnächsten Punkt ist demnach die Perigäumshöhe, die im erdfernsten Punkt die Apogäumshöhe.

(*-gäum*: griechisch *ge* $(\gamma\eta)$ die Erde)



   c) Nach dem dritten Keplergesetz

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

muss sich für kleinere Bahnradien auch die entsprechende Umlaufdauer verkleinern. Je näher der Satellit der Erde kommt, desto kleiner wird seine Umlaufszeit.

Musterlösung

Gruppe B

1. Es gilt die Impulserhaltung. Die Schütze bekommt vom Betrage her den gleichen Impuls wie das Geschoss, jedoch vom entgegengesetzten Vorzeichen.

   Der Impuls des Geschosses wird zum größten Teil an das Opfer übertragen.

   Bei annähernd gleicher Masse sollte das Opfer wegen $p = mv$ mit annähernd der gleichen Geschwindigkeit über die Brüstung geschleudert werden wie der Schütze durch den Rückstoß nach hinten.

   Dieser wird in der Sequenz aber offensichtlich nicht wesentlich nach hinten geschleudert.

   (Falls das Opfer weniger Impuls abbekommt schaut die Sache noch verkehrter aus, denn der Schütze hätte den größeren Impuls aufzunehemen.)

2. geg: $h = 0,42\,\mathrm{m}$, $d = 0,18\,\mathrm{m}$

   Falldauer:

$$h = \frac{g}{2}t^2$$

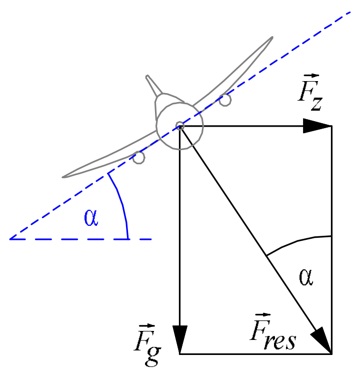
$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,42\,\mathrm{m}}{9,81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}} = 0,293\,\mathrm{s}$$

   Horizontale Geschwindigkeitskomponente:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{0,18\,\mathrm{m}}{0,293\,\mathrm{s}} = 0,61\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

3. geg: $\alpha = 50°$, $v = 300\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

   Aus dem Kräftediagramm liest man ab:



$$\tan\alpha = \frac{F_Z}{F_g}$$

$$F_Z = F_g \tan\alpha = mg\tan\alpha$$

   Zentripetalkraft:

$$\frac{mv^2}{r} = mg\tan\alpha$$

$$r = \frac{v^2}{g\tan\alpha} = \frac{\left(300\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{9,81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\tan 50°} = 7698\,\mathrm{m} \approx 7,7\,\mathrm{km}$$

4. geg: $T = 103,7\,\text{min} = 6222\,\text{s}, \quad m_\text{E} = 5,977 \cdot 10^{24}\,\text{kg}$

a) Kräftegleichgewicht:

$$\text{Gravitationskraft} = \text{Zentripetalkraft}$$
$$G\frac{m_\text{E}m_\text{S}}{r^2} = m_\text{S}\omega^2 r$$

Mit $\omega = \frac{2\pi}{T}$

$$G\frac{m_\text{E}m_\text{S}}{r^2} = m_\text{S} \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot r$$
$$Gm_\text{E} = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot r^3$$
$$r = \sqrt[3]{\frac{Gm_\text{E}T^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{6,67 \cdot 10^{-11}\frac{\text{N}\,\text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot 5,977 \cdot 10^{24}\,\text{kg} \cdot (6222\,\text{s})^2}{4\pi^2}}$$
$$= 7312004\,\text{m} = 7312\,\text{km}$$

Höhe über dem Erdboden:

$$h = 7312\,\text{km} - 6368\,\text{km} = 944\,\text{km}$$

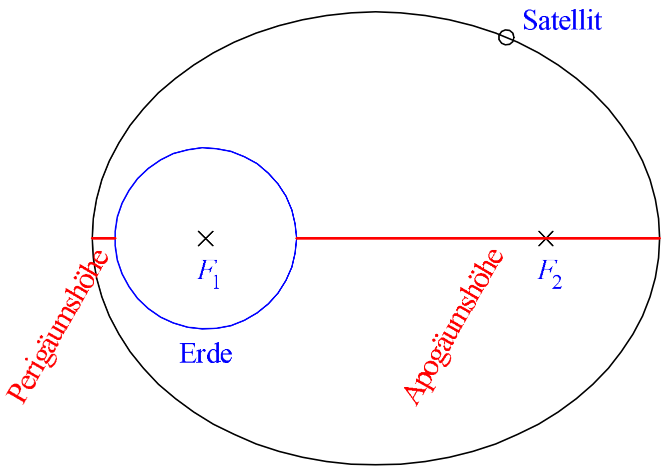
b) Die Bahnen von Satelliten folgen auch den Kepler-Gesetzen für Planeten.

Hier ist das Zentralgestirn im einen Brennpunkt die Erde.

Die Ellipsenbahn eines Satelliten hat einen erdnächsten und erdfernsten Punkt.

Die Höhe im erdnächsten Punkt ist demnach die Perigäumshöhe, die im erdfernsten Punkt die Apogäumshöhe.

(-*gäum*: griechisch *ge* $(\gamma\eta)$ die Erde)



c) Nach dem dritten Keplergesetz

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

muss sich für kleinere Bahnradien auch die entsprechende Umlaufdauer verkleinern. Je näher der Satellit der Erde kommt, desto kleiner wird seine Umlaufszeit.