

PhIT Übung 5

Prof. Dr. R. M. Füchslin, Dr. M. Hertwig, Dr. A. - C. Uldry

October 16, 2017

Diese Übungen dienen dazu, Sie mit einigen Konzepten und Rechenmethoden der Physik vertraut zu machen. Sie machen diese Übungen für sich. Das bedeutet:

- Sie müssen keine Übungen abgeben.
- Sie können gerne in Gruppen arbeiten. Wir empfehlen das sogar.
- Wir machen keine Korrekturen, stellen aber Musterlösungen zur Verfügung. Der/die ÜbungsbetreuerIn ist Ihr Coach. Diese(r) wird Ihnen nach bestem Wissen Ihre Fragen beantworten. Die Fragen stellen müssen Sie aber selber.

Wir geben Ihnen Hinweise, wie schwierig eine Aufgabe ist: • Einfach, Einsetzaufgabe, .. Etwas schwieriger, braucht eigene Denkarbeit, • • • Irgendetwas zwischen Schwierig und Crazy Challenge.

Für die Prüfung erwarten wir, dass Sie folgende Aufgaben gelöst haben: 1,2,3,4,5. Die restlichen Aufgaben sind Zusatzaufgaben (Das heisst natürlich nicht, dass Sie schliessen dürfen, dass der Inhalt dieser Aufgaben keinesfalls in irgendeiner Form an der Prüfung vorkommt!).

AUFGABEN

1 Potentielle Energie: Schwerkraft und Gravitationskraft

1.1 Problemstellung

- Wir betrachten die potentielle Energie eines punktförmigen Objekts mit Masse m im Schwerkraftfeld der Erde:

1. Ein Ball wird auf eine Höhe h gebracht und gewinnt damit potentielle Energie. Wieviel mehr potentielle Energie würde der Ball gewinnen, wenn er auf die doppelte Höhe gebracht würde? Wir sprechen von Bällen und Höhen; daraus sollte klar sein, dass h viel kleiner als der Erdradius ist.
2. Ein Satellit hat einen Abstand r zum Erdmittelpunkt. Wenn dieser Abstand verdoppelt wird, wieviel mehr oder weniger potentielle Energie hat dann der Satellit?

2 Schätzaufgabe

2.1 Problemstellung

- Wieviel Leistung geben Sie ab, wenn Sie in der Vorlesung sitzen?

3 • Leistung

3.1 Problemstellung

Ein Zug hat eine Masse von 250 Tonnen. Er fährt mit einer konstanten Geschwindigkeit (ja, es ist die Schnelligkeit) von $v = 100 \text{ km/h}$ auf horizontalen Gleisen. Nehmen wir an, der Betrag der Summe aller Reibungskräfte beträgt $F_R = 20000 \text{ N}$. Welche Leistung P muss die Lokomotive aufbringen, um die Geschwindigkeit halten zu können?

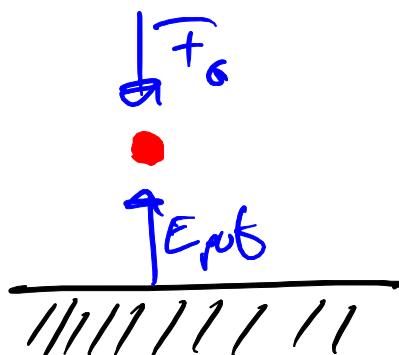
Zur Illustration betrachten Sie die Figur 3.1. In dieser Figur sind im oberen Teil Reibungskräfte $\vec{F}_{R1}, \vec{F}_{R2}$, Bodenkräfte $\vec{F}_{B1}, \vec{F}_{B2}$, die Gravitationskraft \vec{F}_G und die Antriebskraft \vec{F}_A eingezeichnet (mit Betrag F_A). Im unteren Teil benutzen wir eine in der Vorlesung bestenfalls gestreifte Tatsache: Wenn Sie die Bewegung starrer, nicht - rotierender Objekte analysieren, dürfen Sie so tun als ob alle Kräfte im Schwerpunkt des Objekts angreifen würden. Wenn das Objekt starr ist und nicht rotiert, ist die Beschleunigung des Schwerpunkts gleich der Beschleunigung aller anderen Punkte des Objekts.

Bei solchen Aufgaben müssen Sie sich zuerst einmal klarmachen, dass eine konstante Geschwindigkeit bedeutet, dass die Beschleunigung gleich null ist. Dies ist der Fall wenn die Summe aller

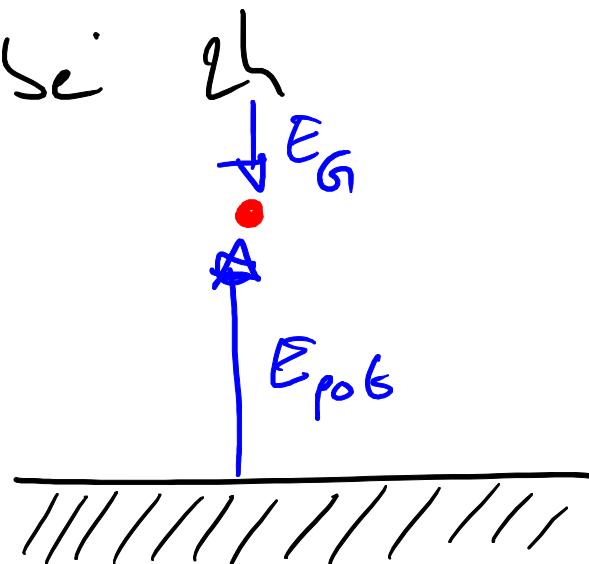
Aufgabe 1

① Masse m
Höhe h

E_{pot} $\rightarrow E_{\text{pot}}$ bei h



$$E_{\text{pot}_A} = m \cdot g \cdot h$$



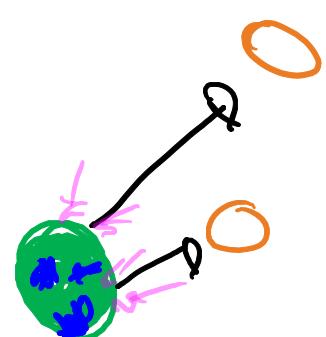
$$E_{\text{pot}_B} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{\text{pot}_B} - E_{\text{pot}_A} = c_{\text{bal}} \cdot g \cdot h$$

②

$$\vec{F} = -G \frac{M_1 M_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|} = -G \frac{M_1 M_2}{r^3} \vec{r}$$

$$E_{\text{pot}_A} = -G \frac{M_{\text{Sonne}} M_{\text{Erde}}}{r^2} \cdot n$$



$$E_{\text{pot}_B} = -G \frac{M_{\text{Sonne}} M_{\text{Erde}}}{2r^2} \cdot n$$

$$E_{\text{pot}_B} - E_{\text{pot}_A} = -\frac{1}{2} G \frac{M_{\text{Sonne}} M_{\text{Erde}}}{r} \cdot n$$

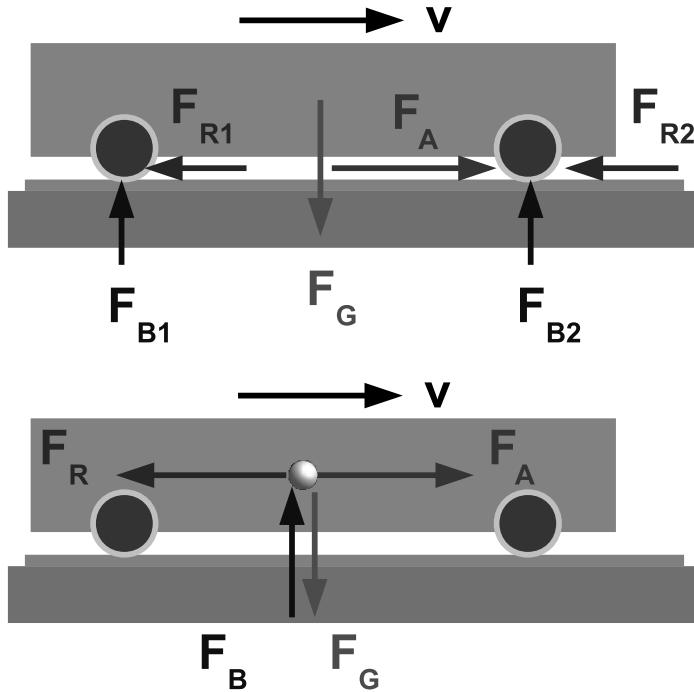


Figure 3.1: Oben: Lokomotive mit angreifenden Kräften. Unten: Lokomotive mit summierten Kräften im Schwerpunkt.

auf das Objekt wirkenden Kräfte gleich null ist:

$$\sum_i \vec{F}_i = 0. \quad (3.1)$$

Weiter wissen Sie ja, dass die mechanische Arbeit ΔE_{mech} welche während der Zeit Δt von einer Antriebskraft \vec{F}_A auf einer Strecke $\Delta \vec{r}$ geleistet wird gleich

$$\Delta E_{mech} = \vec{F}_A \cdot \Delta \vec{r}. \quad (3.2)$$

Wir dividieren durch Δt und erhalten für die Leistung P :

$$\frac{\Delta E_{mech}}{\Delta t} = P = \frac{\vec{F} \cdot \Delta \vec{r}}{\Delta t} = \vec{F}_A \cdot \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \vec{F}_A \cdot \vec{v}. \quad (3.3)$$

Für horizontale Schienen ist die Sache nun sehr einfach. Doch wie gross ist die Leistung, wenn die Schienen mit einem Winkel $\Phi = 0.6^\circ$ (siehe Fig. 3.2)?

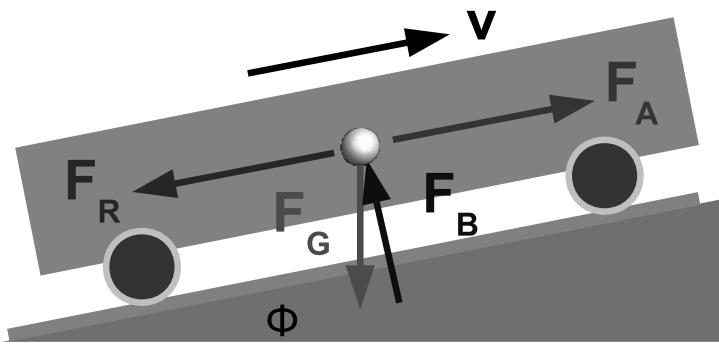
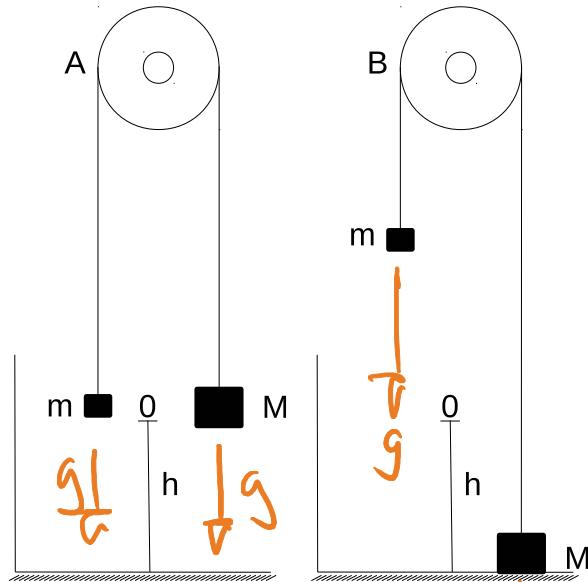


Figure 3.2: Lokomotive am Hang.

4 • Erhaltungssatz

4.1 Problemstellung



Zwei Massen sind über ein Seil wie in Abbildung A gezeigt verbunden. Die Masse M ist grösser als die Masse m . Man hält die Massen auf der Höhe h , bevor man sie frei lässt (Abbildung B). Mit welcher Geschwindigkeit erreicht die Masse M den Boden ?

Anwendung: $m = 5\text{kg}$, $M = 10\text{kg}$, $h = 8\text{m}$

$$\begin{aligned}
 E_{Kinh_A} + E_{pot_A} &= E_{Kinh_B} + E_{pot_B} \\
 0 + 0 &= \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 + \frac{1}{2} m \cdot v^2 + M \cdot g \cdot (-h) + m \cdot g \cdot h \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot v^2 + 10 \cdot 9.81 \cdot (-8) + 5 \cdot 9.81 \cdot 8 \\
 &= 7.5v^2 + 2.5v^2 - 789.8 + 392.4 \\
 &= 7.5v^2 - 397.4 \\
 -7.5v^2 &= -397.4 \\
 v^2 &= 52.32 \\
 v &= \sqrt{52.32} \\
 v &= 7.23 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Aufgabe 3

$$M = 250\,000 \text{ kg}$$

$$V = 100 \text{ km/h} = 27.77 \text{ m/s}$$

Reibungskraft $\vec{F}_R = 20\,000 \text{ N}$

$P = ?$ damit $V = \text{Konst} \rightarrow a = 0$

$$a = 0 \rightarrow \sum_i \vec{F}_i = 0$$

$$\Delta E_{\text{mech}} = \vec{F}_A * \Delta \vec{r}$$

$$\boxed{\frac{\Delta E_{\text{mech}}}{\Delta t} = \vec{P} = \frac{\vec{F} * \Delta \vec{r}}{\Delta t} = \vec{F}_A * \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \vec{F}_A * \vec{v}}$$

$$V = 27.77 \text{ m/s}$$

$$\vec{F}_A = ?$$

$$\vec{F}_R = \begin{pmatrix} -\vec{F}_R \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{F}_A = \begin{pmatrix} \vec{F}_A \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{F}_G = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{pmatrix}, \vec{F}_B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ F_B \end{pmatrix}, \vec{v} = \begin{pmatrix} V \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_R + \vec{F}_A + \vec{F}_G + \vec{F}_B = 0 \Rightarrow \vec{F}_A = \vec{F}_R, \vec{F}_B = mg$$

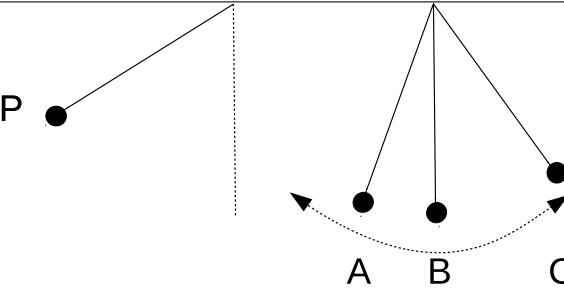
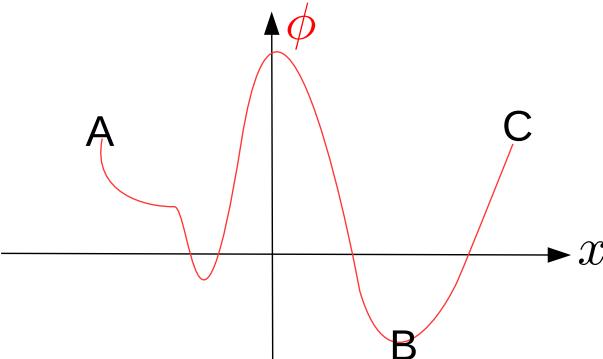
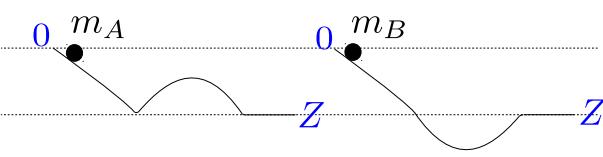
20 kN

$$20\,000 * 27.78 = 555\,600 \text{ N} = 0.56 \text{ MW}$$

5 • Fragen und Antworten

5.1 Problemstellung - MC

Frage	Richtig	Falsch
Ein System, dessen kinetische Energie abnimmt, ist immer dissipativ.		X
Es gilt immer: Je grösser meine Leistung, desto grösser die dissipierte Energie.		X
Lässt sich eine Kraft durch ein Potential darstellen, dann ist die verrichtete Arbeit dieser Kraft nur durch den Anfangs- und Endzustand bestimmt und unabhängig vom zurückgelegten weg.	X	

Frage	A	B	C
 <p>Ein Pendel wird im Punkt P festgehalten und dann losgelassen. Wo ist die Geschwindigkeit am grössten? Reibung soll vernachlässigt werden.</p> <p>A: am Punkt A B: am Punkt B C: am Punkt C</p>		X	.
 <p>Ein Massepunkt bewegt sich im Potential phi entlang der x-Achse (siehe Abbildung). Wo ist die Geschwindigkeit am grössten?</p> <p>A: am Punkt A B: am Punkt B C: am Punkt C</p>		X	
 <p>Zwei Massen bewegen sich auf verschiedenen Pfaden (siehe Abbildung). Ihre Anfangsgeschwindigkeit ist null, und es wirkt nur die Schwerkraft. Wer hat die grösste Geschwindigkeit am Punkt Z ?</p> <p>A: m_A B: m_B C: Beide Geschwindigkeiten sind gleich gross</p>		X	

ZUSATZAUFGABEN

6 • Pumpspeicherwerke

6.1 Problemstellung

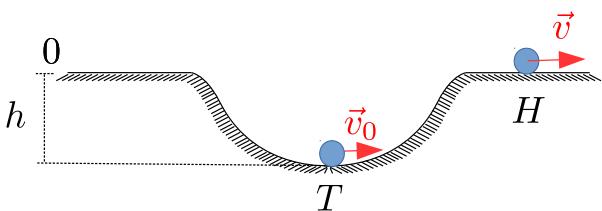
Die umstrittenen Pumpspeicherkraftwerke sind mit Batterien zu vergleichen, die ebenfalls mit Verlust Strom speichern. Mit der überschüssigen elektrischen Energie wird Wasser von einem Stausee in ein höhergelegenes Speicherbecken gepumpt. Wenn der Strombedarf gross ist, wird das Wasser wieder hinuntergelassen und deren potentielle Energie mit einer Turbine in elektrische Energie umgewandelt.

In Emosson (VS) wird in 2018 das Speicherbecken "Vieux-Emosson" mit dem etwa $h = 300$ m tiefer gelegenen Stausee "Emosson" durch eine Druckleitung verbunden werden. Das Speicherbecken kann durchschnittlich $V = 12$ Millionen Kubikmeter Wasser fassen, und die Querschnittsfläche des Fallrohrs beträgt 5.27m^2 .

1. Welche Energie kann in der Anlage gespeichert werden ? (Wasser Dichte $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$).
2. Welche theoretische Leistung kann das Speicherwerk tagsüber liefern, wenn ein Volumenfluss I_V von 405 Kubikmeter pro Sekunde zu erwarten ist ?
3. Wie gross ist die Geschwindigkeit des Wassers v_{theo} kurz bevor es die Turbinen erreicht ? Wie nehmen an (zu Unrecht), dass die Turbine am Stausee liegt.
4. Die tatsächliche Geschwindigkeit v_{real} des Wassers ist am Ende 1% geringer als oben berechnet. Wie viel Energie pro Sekunde geht durch Reibung im Fallkanal verloren ?
5. Wie gross ist die elektrische erzeugte Leistung, wenn die Turbinen und Generatoren einen Wirkungsgrad von 80% aufweisen ?

7 • • Fluchtgeschwindigkeit und Bindungen

7.1 Problemstellung



Ein Massenpunkt befindet sich am Boden eines Loches der Tiefe h (siehe Abbildung). Wir erteilen diesen Massenpunkt eine Geschwindigkeit \vec{v}_0 .

1. Diskutieren Sie anhand des Energieerhaltungssatzes die Bewegung des Massenpunktes als Funktion der Anfangsgeschwindigkeit.

Betrachten Sie die zwei Fälle: die Anfangsgeschwindigkeit v_0 ist gross genug, so dass der Massenpunkt aus dem Loch entweichen kann, und wenn sie nicht reicht. Wir werden die Reibungen vernachlässigen.

2. Berechnen Sie $E_{\text{mech}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}}$ im Fall eines Satelliten der Masse m , der die Erde mit Radius R kreist.

8 • • • Slingshot Effekt- Crazy Challenge

8.1 Problemstellung

Wikipedia: "der englische Begriff Swing-by – auch Slingshot, Gravity-Assist (GA), Schwerkraftumlenkung, Gravitationsmanöver oder Vorbeischwungmanöver genannt – bezeichnet eine Methode der Raumfahrt, bei der ein relativ leichter Raumflugkörper (etwa eine Raumsonde) dicht an einem sehr viel größeren Körper (etwa einem Planeten) vorbeifliegt. Bei dieser Variante eines Vorbeiflugs wird jedenfalls die Richtung der Sonde verändert. Im Allgemeinen wird auch deren Geschwindigkeit gesteigert oder gemindert."

<http://de.wikipedia.org/wiki/Swing-by>

Versuchen Sie den Effekt anhand des Impulserhaltungssatzes zu verstehen, und diesen sogar zu simulieren!