Abitur - Leistungskurs Physik

Sachsen-Anhalt 2004
(geschrieben am 05.05.2004)

Thema 1: Anwendung von Erhaltungssätzen

1. Erhaltungssätze in der Physik

1.1 Nennen Sie den Energieerhaltungssatz der Mechanik, den Impulserhaltungssatz und den Drehimpulserhaltungssatz und erläutern Sie diese an je einem Beispiel.

1.2 Bei einem Experiment stößt ein Körper mit der Geschwindigkeit v_1 auf einen ruhenden Körper gleicher Masse. Die Körper wurden jeweils so gewählt, dass nur vollkommen unelastische gerade, zentrale Stöße stattfinden können.
Es wird behauptet, dass die Angaben in der Tabelle Messwerte dieser Stoßvorgänge sind.

Teilexperiment	Geschwindigkeiten			
	vor dem Stoß		nach dem Stoß	
	v_1 in $m \cdot s^{-1}$	v_2 in $m \cdot s^{-1}$	u_1 in $m \cdot s^{-1}$	u_2 in $m \cdot s^{-1}$
1	10	0	6	8
2	10	0	5	5
3	10	0	0	10
4	10	0	4	6
5	10	0	8	8

Untersuchen Sie, ab bei jedem Teilexperiment der Energieerhaltungssatz der Mechanik und der Impulserhaltungssatz erfüllt sind.

Welche Angaben können demzufolge keine Messwerte sein? Begründen Sie ihre aussagen.

2. Ranggieren mithilfe des Ablaufberges

Auf einem Güterbahnhof läuft ein Waggon der Masse $m_1 = 40$ t mit einer Anfangsgeschwindigkeit von $v = 0{,}2\ m \cdot s^{-1}$ einen $h = 1{,}80$ m hohen, $\ell = 50$ m langen Ablaufberg hinab. Anschließend bewegt er sich auf einer horizontalen Strecke $s = 210$ m weiter, und stößt an deren Ende auf einen dort haltenden Waggon der Masse $m_2 = 55$ t, wobei die Kupplung einrastet. Die Reibungszahl für die gesamte Strecke beträgt vom Losfahren bis zum Ankoppeln $\mu = 0{,}0060$. Berücksichtigen Sie für die Rotationsenergie der Räder pro Waggon 6% der kinetischen Energie der Translation.

Beschreiben Sie die Vorgänge mithilfe Erhaltungssätze.

Berechnen Sie die Geschwindigkeit der beiden Waggons unmittelbar nach dem Ankoppeln.

3. Geschwindigkeit eines Körpers beim unelastischen Stoß
(Aufgabe mit Experiment)

Im Bild 1 ist ein Experiment skizziert, mit dem die Geschwindigkeit v_1 eines Körpers vor dem Stoß mithilfe eines Stoßpendels experimentell ermittelt werden kann. Bild 2 stellt eine Prinzipskizze des oben genannten Stoßes nach der Wechselwirkung dar.

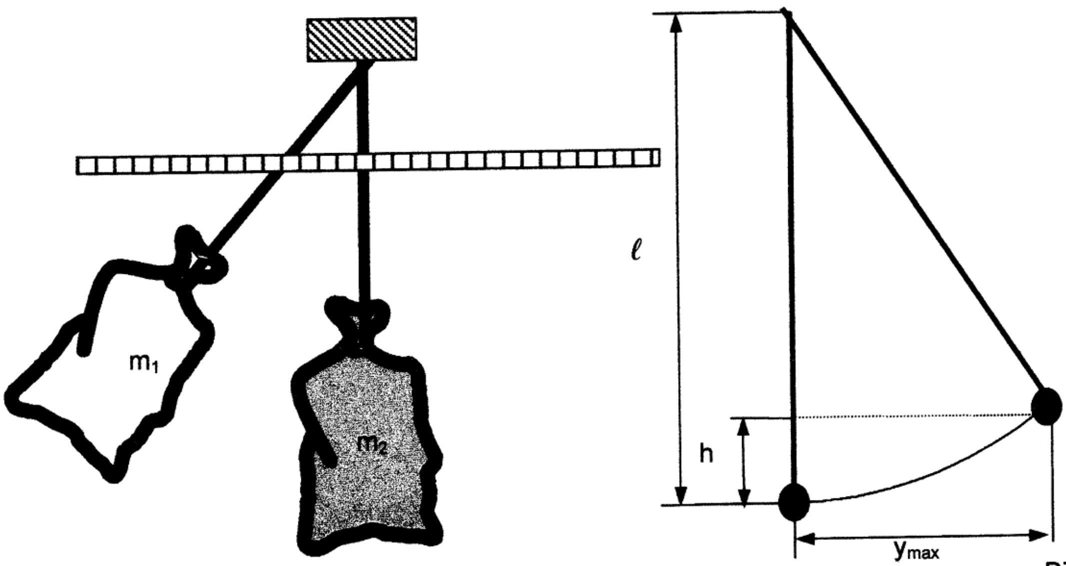


Bild 1 Bild 2

3.1 Zeigen Sie ausgehend von Erhaltungssätzen unter Einbeziehung von Bild 2 und der Schwingungsdauer des Fadenpendels $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\ell}{g}}$ sowie der Bedingung, dass der gestoßene Körper der Masse m_2 vor dem Stoß in Ruhe ist, dass für dieses Experiment folgende Gleichung gilt:

$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot y_{max} \cdot \frac{2\pi}{T}$$

Hinweis:
Für kleine Auslenkungen ist der Summand h^2 in der Herleitung der obigen Gleichung zu vernachlässigen.

3.2 Bestimmen Sie mit der von der Lehrkraft bereitgestellten Experimentieranordnung die Geschwindigkeit des stoßenden Körpers unmittelbar vor dem Stoß.

Vergleichen Sie den experimentell ermittelten Wert für v_1 mit dem aus dem Energieerhaltungssatz errechneten Wert. Begründen Sie mögliche Abweichungen.

Fertigen Sie ein vollständiges Protokoll an.

4 Der Franck-Hertz-Versuch

Die Physiker James Franck und Gustav Hertz untersuchten das Stoßverhalten von Elektronen mit Gasatomen.

4.1 Beschreiben Sie den Aufbau und die Durchführung des Franck-Hertz-Versuches.

4.2 Bei solchen Experimenten mit einer quecksilbergefüllten Röhre, die in einem Heizofen unterschiedlich stark erhitzt wurde, wurden bei unterschiedlichen Temperaturen die dargestellten Kurven mit einem Schreiber aufgenommen (Bild 3 und Bild 4).

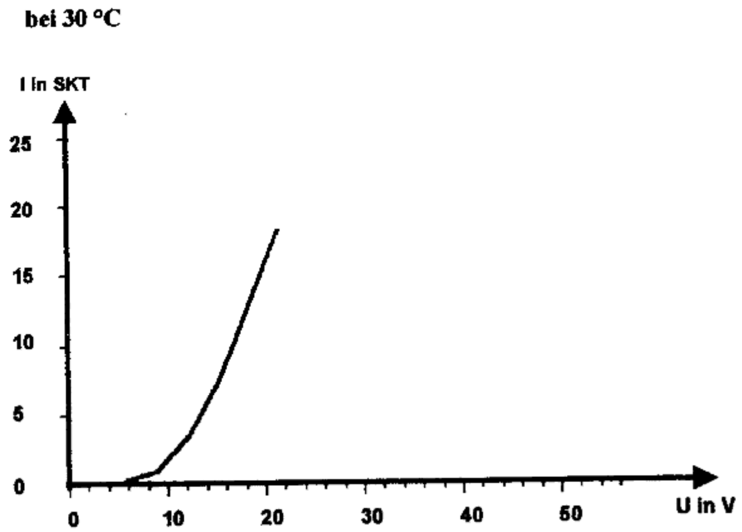


Bild 3

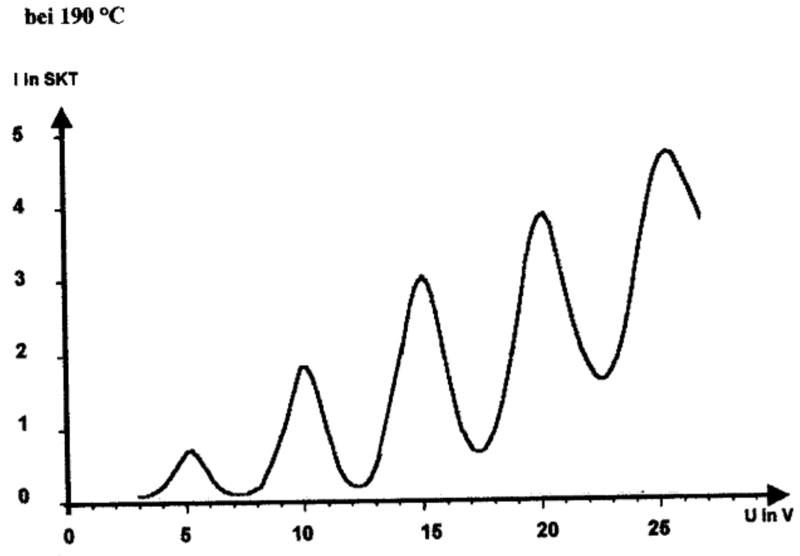


Bild 4

(SKT: Skalenteile)

Beschreiben und erklären Sie den jeweiligen Kurvenverlauf.

Lösungen zur Aufgabe 1:

1.1 Nennen der Erhaltungssätze und Beispiele

Energieerhaltungssatz der Mechanik:
Bei mechanischen Vorgängen ist die Summe aus potenzieller und kinetischer Energie stets konstant, wenn keine Umwandlung in Wärme stattfindet.

Als Gleichung: $\sum_{1=1}^{n}\left(E_{pot_i} + E_{kin_i}\right) =$ konstant, Bedingung: $Q = 0$

Beispiel:
Bewegt sich ein Körper reibungsfrei eine geneigte Ebene hinauf so gilt:
Die kinetische Energie, die der Körper am Fußpunkt der geneigten Ebene besitzt, wird während der Aufwärtsbewegung in zunehmende kinetische und abnehmende potenzielle Energie umgewandelt. Die Zunahme der potenziellen Energie entspricht der Abnahme der kinetischen Energie.

$$E_{kin_{Anfang}} = E_{kin_{Ende}} + E_{pot_{Ende}}$$

Impulserhaltungssatz:
In einem abgeschlossenen System bleibt bei Wechselwirkungen die Summe der Impulse erhalten (Modell Punktmasse).

$$\sum_{1=1}^{n}\overrightarrow{p_{vor_i}} = \sum_{1=1}^{n}\overrightarrow{p_{nach_i}}$$

Beispiel:
Stoßen zwei Güterwagen elastisch gegeneinander, so ist der Impuls vor dem Zusammenstoß gleich dem nach dem Zusammenstoß.

$$p_{vor} = p_{nach}$$

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2$$

Drehimpulserhaltungssatz:
Wenn auf ein System keine äußeren Drehmomente wirken, bleibt die Summe der Drehmomente des Systems erhalten.

$$m_1 \cdot \overrightarrow{\omega_1} + m_2 \cdot \overrightarrow{\omega_2} + \ \ldots \ + m_n \cdot \overrightarrow{\omega_n} = \overrightarrow{L} = \text{konst.}$$

Beispiel:
Sitzt eine Person mit ausgestreckten Armen auf einem rotierenden Drehschemel, so nimmt ihre Winkelgeschwindigkeit zu, wenn sie die Arme zur Körpermitte heranzieht (eindrucksvoller, wen die Person in jeder Hand eine Hantel hält).

1.2 Untersuchung auf Gültigkeit der Erhaltungssätze

Impulserhaltungssatz:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2 \qquad \text{mit } m_1 = m_2 = m \Rightarrow$$

$$m \cdot (v_1 + v_2) = m \cdot (u_1 + u_2)$$

$$v_1 + v_2 = u_1 + u_2 \qquad \text{mit } v_2 = 0 \Rightarrow$$

$$v_1 = u_1 + u_2$$

Energieerhaltungssatz:

$$\frac{m_1}{2} \cdot v_1^2 + \frac{m_2}{2} \cdot v_2^2 = \frac{m_1}{2} \cdot u_1^2 + \frac{m_2}{2} \cdot u_2^2 \qquad \text{mit } m_1 = m_2 = m \Rightarrow$$

$$\frac{m}{2} \cdot (v_1^2 + v_2^2) = \frac{m}{2} \cdot (u_1^2 + u_2^2)$$

$$v_1^2 + v_2^2 = u_1^2 + u_2^2 \qquad \text{mit } v_2 = 0 \Rightarrow$$

$$v_1^2 = u_1^2 + u_2^2$$

Experiment	Energieerhaltungssatz der Mechanik	Impulserhaltungssatz	als Messwerte geeignet
1	$100\,m^2 \cdot s^{-2} = (36+64)\,m^2 \cdot s^{-2}$ erfüllt	$10\,m \cdot s^{-1} \neq (6+8)\,m \cdot s^{-1}$ nicht erfüllt	nein
2	$100\,m^2 \cdot s^{-2} \neq (25+25)\,m^2 \cdot s^{-2}$ nicht erfüllt	$10\,m \cdot s^{-1} = (5+5)\,m \cdot s^{-1}$ erfüllt	ja
3	$100\,m^2 \cdot s^{-2} = 100\,m^2 \cdot s^{-2}$ erfüllt	$10\,m \cdot s^{-1} = 10\,m \cdot s^{-1}$ erfüllt	ja
4	$100\,m^2 \cdot s^{-2} \neq (16+36)\,m^2 \cdot s^{-2}$ nicht erfüllt	$10\,m \cdot s^{-1} = (4+6)\,m \cdot s^{-1}$ erfüllt, aber unelastischer Stoß - Bedingung $u_1 = u_2 = u$ nicht erfüllt	nein
5	$100\,m^2 \cdot s^{-2} \neq (64+64)\,m^2 \cdot s^{-2}$ nicht erfüllt	$10\,m \cdot s^{-1} \neq (8+8)\,m \cdot s^{-1}$ nicht erfüllt	nein

Begründung:

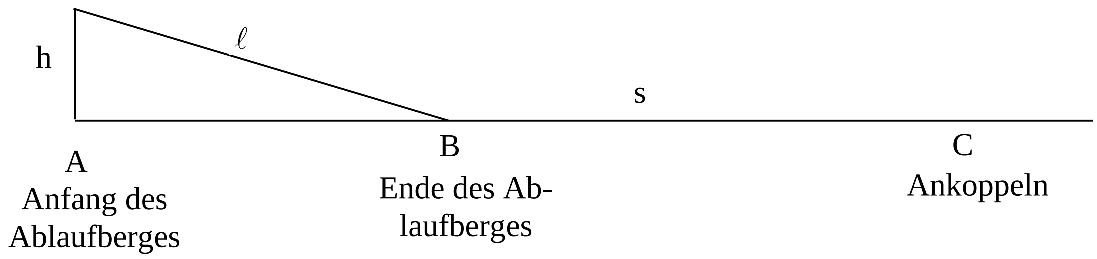
Bei den vollkommen elastischen Stößen gelten der Impuls- und der Energieerhaltungssatz; Experiment 3.

Bei den vollkommen unelastischen Stößen gilt nur der Impulserhaltungssatz: Experiment 2

Die Angaben zu Experiment 1, 4 und 5 können danach keine Messwerte sein.

Lösungen zur Aufgabe 2:

Beschreibung der Vorgänge mit Erhaltungssätzen



A → B:
Die potenzielle und kinetische Energie (Translation und Rotation) in A werden in kinetische Energie der Translation und der Rotation im Punkt B umgewandelt. Dabei wird Reibungsarbeit verrichtet.

$$E_{pot_A} + E_{kin_A} = E_{kin_B} + W_{R_{\overline{AB}}}$$

$$E_{pot_A} + E_{trans_A} + E_{rot_A} = E_{trans_B} + E_{rot_B} + W_{R_{\overline{AB}}} \qquad (1)$$

B → C:
Die kinetische Energie (Translation und Rotation) in B werden in kinetische Energie der Translation und der Rotation im Punkt C umgewandelt. Dabei wird Reibungsarbeit verrichtet.

$$E_{kin_A} = E_{kin_B} + W_{R_{\overline{BC}}}$$

$$E_{trans_B} + E_{rot_B} = E_{trans_C} + E_{rot_C} + W_{R_{\overline{BC}}} \qquad (2)$$

A → C
Die Energieumwandlungen von A → B und von B → C fasst man zweckmäßigerweise zusammen, da es sich um die Bewegung des Waggons der Masse m_1 handelt und die Reibungszahl während des gesamten Weges konstant ist. Dann ergibt sich:

$$E_{pot_A} + E_{trans_A} + E_{rot_A} = E_{trans_C} + E_{rot_C} + W_{R_{\overline{AC}}} \qquad (3)$$

in C:
Es findet ein unelastischer Stoß statt, der Impulserhaltungssatz gilt.

$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot u$ mit $v_2 = 0$ ergibt sich:

$$m_1 \cdot v_1 = (m_1 + m_2) \cdot u \qquad (4)$$

Bestimmung der Geschwindigkeit des rollenden Waggons im Punkt C:

Entsprechend Gleichung (3) ergibt sich:

$$E_{pot_A} + E_{trans_A} + E_{rot_A} = E_{trans_C} + E_{rot_C} + W_{R_{\overline{AC}}}$$

$$m_1 \cdot g \cdot h + \frac{m_1}{2} \cdot v^2 + 0,06 \cdot \frac{m_1}{2} \cdot v^2 = \frac{m_1}{2} \cdot v_C{}^2 + 0,06 \cdot \frac{m_1}{2} \cdot v_C{}^2 + W_{R_{\overline{AC}}}$$

$$m_1 \cdot g \cdot h + 1,06 \cdot \frac{m_1}{2} \cdot v^2 = 1,06 \cdot \frac{m_1}{2} \cdot v_C{}^2 + W_{R_{\overline{AC}}}$$

Bestimmung der Reibungsarbeit: $W_R = F_R \cdot s_{\overline{AC}}$

Für $\overline{AB}$ gilt:

$$F_R = \mu \cdot F_N = \mu \cdot m_1 \cdot g \cdot \cos(\varphi) \quad \text{mit} \quad \cos(\varphi) = \frac{\sqrt{\ell^2 - h^2}}{\ell} = \sqrt{\frac{\ell^2 - h^2}{\ell^2}} = \sqrt{1 - \frac{h^2}{\ell^2}}$$

wenn Winkel berechnet: $\varphi = 2,06°$

$$W_{R_{\overline{AB}}} = \mu \cdot m_1 \cdot g \cdot s_{\overline{AB}} \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{\ell^2}} \quad \text{mit} \quad s_{\overline{AB}} = \ell$$

$$W_{R_{\overline{AB}}} = \mu \cdot m_1 \cdot g \cdot \ell \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{\ell^2}}$$

Für $\overline{BC}$ gilt: $W_R = \mu \cdot m_1 \cdot g \cdot s$

Für $\overline{AC}$ gilt dann:

$$W_{R_{\overline{AC}}} = \mu \cdot m_1 \cdot g \cdot \ell \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{\ell^2}} + \mu \cdot m_1 \cdot g \cdot s$$

$$W_{R_{\overline{AC}}} = \mu \cdot m_1 \cdot g \cdot \left(s + \ell \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{\ell^2}} \right)$$

Damit ergibt sich v_C nach:

$$m_1 \cdot g \cdot h + 1,06 \cdot \frac{m_1}{2} \cdot v^2 = 1,06 \cdot \frac{m_1}{2} \cdot v_C{}^2 + \mu \cdot m_1 \cdot g \cdot \left(s + \ell \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{\ell^2}} \right)$$

$$g \cdot h + 0,53 \cdot v^2 = 0,53 \cdot v_C{}^2 + \mu \cdot g \cdot \left(s + \ell \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{\ell^2}} \right)$$

$$0,53 \cdot v_C{}^2 = g \cdot h + 0,53 \cdot v^2 - \mu \cdot g \cdot \left(s + \ell \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{\ell^2}} \right)$$

$$0,53 \cdot v_C{}^2 = 0,53 \cdot v^2 + g \cdot \left(h - \mu \cdot \left(s + \ell \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{\ell^2}} \right) \right)$$

$$v_C = \sqrt{\frac{0,53 \cdot v^2 + g \cdot \left(h - \mu \cdot \left(s + \ell \cdot \sqrt{1 - \frac{h^2}{\ell^2}} \right) \right)}{0,53}}$$

Damit berechnet sich v_C nach:

$$v_B = \sqrt{\frac{0{,}53\cdot 0{,}2^2\,m^2\cdot s^{-2} + 9{,}81\,m\cdot s^{-2}\cdot\left(1{,}8\,m - 0{,}006\cdot\left(210\,m + 50\,m\cdot\sqrt{1-\frac{1{,}8^2\,m^2}{50^2\,m^2}}\right)\right)}{0{,}53}}$$

$$v_C = 2{,}1188\,m\cdot s^{-1} = \underline{2{,}12\,m\cdot s^{-1}}$$

$$\text{Einheit: } [v_B] = \sqrt{m^2\cdot s^{-2} + m\cdot s^{-2}\cdot\left(m - \left(m + m\cdot\sqrt{\frac{\cancel{m^2}}{\cancel{m^2}}}\right)\right)} = \sqrt{m^2\cdot s^{-2} + m\cdot s^{-2}\cdot m} = m\cdot s^{-1}$$

Hinweis:
Bei einfacherer mathematischer Behandlung kann man zunächst mit (1) v_B berechnen und anschließend v_C bestimmen.

$$E_{pot_A} + E_{trans_A} + E_{rot_A} = E_{trans_B} + E_{rot_B} + W_{R_{\overline{AB}}}$$

$$m_1\cdot g\cdot h + 1{,}06\cdot\frac{m_1}{2}\cdot v^2 = 1{,}06\cdot\frac{m_1}{2}\cdot {v_B}^2 + \mu\cdot m_1\cdot g\cdot\ell\cdot\sqrt{1-\frac{h^2}{\ell^2}}$$

$$g\cdot h + 0{,}53\cdot v^2 = 0{,}53\cdot {v_B}^2 + \mu\cdot g\cdot\ell\cdot\sqrt{1-\frac{h^2}{\ell^2}}$$

$$0{,}53\cdot {v_B}^2 = g\cdot h + 0{,}53\cdot v^2 - \mu\cdot g\cdot\ell\cdot\sqrt{1-\frac{h^2}{\ell^2}}$$

$$v_B = \sqrt{\frac{0{,}53\cdot v^2 + g\cdot\left(h - \mu\cdot\ell\cdot\sqrt{1-\frac{h^2}{\ell^2}}\right)}{0{,}53}}$$

$$v_B = \sqrt{\frac{0{,}53\cdot 0{,}2^2\,m^2\cdot s^{-2} + 9{,}81\,m\cdot s^{-2}\cdot\left(1{,}8\,m - 0{,}006\cdot 50\,m\cdot\sqrt{1-\frac{1{,}8^2\,m^2}{50^2\,m^2}}\right)}{0{,}53}}$$

$$\underline{v_B = 5{,}27\,m\cdot s^{-1}}$$

v_C ergibt sich nun mit (2) nach

$$E_{trans_B} + E_{rot_B} = E_{trans_C} + E_{rot_C} + W_{R_{\overline{BC}}}$$

$$1{,}06\cdot\frac{m_1}{2}\cdot {v_B}^2 = 1{,}06\cdot\frac{m_1}{2}\cdot {v_C}^2 + \mu\cdot m_1\cdot g\cdot s$$

$$0{,}53\cdot {v_B}^2 = 0{,}53\cdot {v_C}^2 + \mu\cdot g\cdot s$$

$$v_C = \sqrt{\frac{0{,}53\cdot {v_B}^2 - \mu\cdot g\cdot s}{0{,}53}}$$

$$v_C = \sqrt{\frac{0{,}53\cdot 5{,}27^2\,m^2\cdot s^{-2} - 0{,}006\cdot 9{,}81\,m\cdot s^{-2}\cdot 210\,m}{0{,}53}}$$

$$\underline{v_C = 2{,}11\,m\cdot s^{-1}}$$

Bestimmung der Geschwindigkeit u nach dem Stoß:

Mit Gleichung (4) ergibt sich:

$$m_1 \cdot v_C = (m_1 + m_2) \cdot u$$

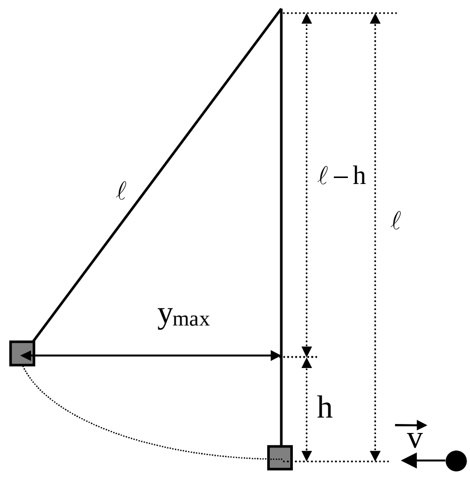
$$u = \frac{m_1 \cdot v_C}{m_1 + m_2}$$

$$u = \frac{40\,t \cdot 2{,}11\,m \cdot s^{-1}}{95\,t} = \underline{0{,}89\,m \cdot s^{-1}}$$

Lösungen zur Aufgabe 3:

3.1 Herleitung der Gleichung zur Bestimmung der Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit v bestimmt sich aus dem Impulserhaltungssatz.
Zur Berechnung der Geschwindigkeit beider Körper nach dem Stoß nutzt man den Energieerhaltungssatz.



$$m_1 \cdot v_1 = (m_1 + m_2) \cdot u$$

$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot u \qquad \frac{1}{2} m \cdot u^2 = m \cdot g \cdot h \Rightarrow u = \sqrt{2g \cdot h}$$

$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot \sqrt{2g \cdot h} \quad \text{mit } y_{max} << \ell$$

Satz des Pythagoras:

$$\ell^2 = y_{max}{}^2 + (\ell - h)^2 = y_{max}{}^2 + \ell^2 - 2 \cdot \ell \cdot h + \underbrace{h^2}_{\substack{\text{h sehr klein} \Rightarrow h^2 \to 0 \\ \text{als Summand vernachlässigbar}}}$$

$$\Rightarrow h = \frac{y_{max}{}^2}{2 \cdot \ell}$$

$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \frac{y_{max}{}^2}{2 \cdot \ell}} = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot y_{max} \cdot \sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

Mit $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\ell}{g}}$ ergibt sich $\sqrt{\frac{g}{\ell}} = \frac{2\pi}{T}$

Somit erhält man die gesuchte Gleichung $\underline{v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot y_{max} \cdot \frac{2\pi}{T}}$

3.2 S-Exp.: Bestimmung der Geschwindigkeit vor dem Stoß

Hinweis: Das Experiment lässt sich so wie in der Aufgabenstellung formuliert nicht realisieren.
Da die Schwerpunkte der Körper (z. B. Sandsäckchen) nicht bestimmbar sind, ist ein Lineal zur Messung von Längen bzw. der Amplitude nicht einsetzbar.
Die Länge lässt sich somit nicht experimentell sondern nur über die Messung der Schwingungsdauer mittels Stoppuhr bestimmen.
Bei den einzelnen Teilversuchen muss die Auslenkung des stoßenden Körpers konstant gehalten werden, was durch Messung des Auslenkwinkels oder einer festen Markierung für m_1 möglich ist.
Der zweite Teil der Aufgabe 3.2 wird somit gegenstandslos.
Um y_{max} zu bestimmen muss der Auslenkungswinkel α gemessen werden.

Messwertetabelle und Berechnungen:

m_1 in kg	m_2 in kg	$\overline{t}$ in s	T in s	α in °	ℓ in m	y_{max} in m	v_1 in $m \cdot s^{-1}$
0,142	0,142	13,65	1,37	19	0,446	0,15	1,38
0,142	0,142	13,82	1,38	20	0,473	0,16	1,46
0,142	0,142	13,60	1,36	18	0,460	0,14	1,29
						Mittelwert:	1,38

Berechnung der Pendellänge:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\ell}{g}} \Rightarrow \ell = \frac{g \cdot T^2}{4\pi^2}$$

(1) $$\ell = \frac{9,81\,m \cdot s^{-2} \cdot 1,37^2 s^2}{4\pi^2} = 0,466\,m$$

Berechnung der Amplitude:

$$\sin(\alpha) = \frac{y_{max}}{\ell} \Rightarrow y_{max} = \ell \cdot \sin(\alpha)$$

(1) $$y_{max} = 0,466 \cdot \sin(19°) = 0,15\,m$$

Berechnung der Geschwindigkeit.

$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot y_{max} \cdot \frac{2\pi}{T} \qquad \text{mit } m_1 = m_2 = m$$

$$v_1 = 2 \cdot y_{max} \cdot \frac{2\pi}{T} = \frac{4\pi \cdot y_{max}}{T}$$

$$v_1 = \frac{4\pi \cdot 0,15\,m}{1,37\,s} = \underline{1,38\,m \cdot s^{-1}}$$

Ergebnis: Der stoßende Pendelkörper hat vor der Wechselwirkung eine Geschwindigkeit von 1,38 m · s^{-1}.

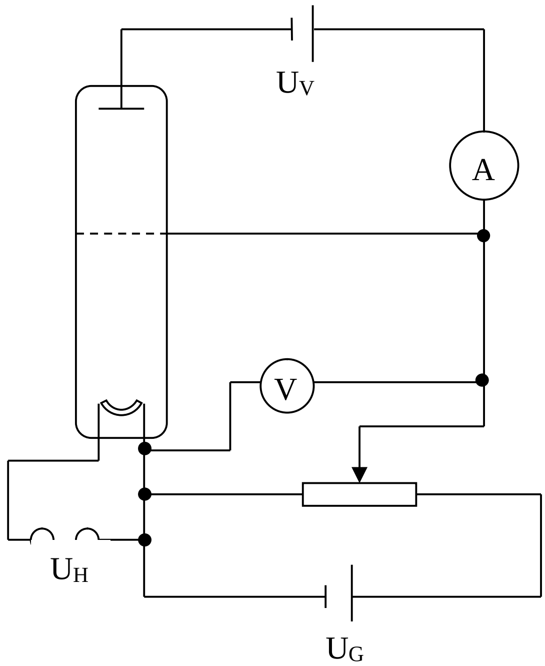
Fehlerbetrachtung:

Systematische Fehler	Zufällige Fehler
Luftwiderstand und Reibung ⇒ Auslenkwinkel α zu klein bestimmt ⇒ y_{max} zu klein ⇒ v zu klein	Ablesung am Winkelmesser $\pm$ 2°
Befestigung und Skaleneinteilung des Winkelmessers $\pm$ 2°	Startpunkt der des Pendelkörpers nur ungenau bestimmbar, da Schwerpunkt nicht bekannt.
	Reaktionszeit bei der Bestimmung der Schwingungsdauer $\pm$ 0,5 s (minimiert durch Messung von t für z. B. 10 Schwingungen)

<u>Lösungen zur Aufgabe 4:</u>

4.1 <u>Aufbau und Durchführung des Franck-Hertz-Versuches</u>

<u>Aufbau:</u>



- Luftevakuierter Glaszylinder, in dem sich Hg befindet, Glaskolben wird von außen geheizt, so dass das Quecksilber verdampft (nur sehr geringer Druck)
- Zwischen Kathode und Gitter liegt eine Beschleunigungsspannung (Gitterspannung), die über ein Potenziometer im Bereich von 0 bis ca. 60 V regelbar ist.
- Zwischen Gitter und Anode liegt eine Gegenspannung an (Vorspannung ca. 3)
- Heizung, um Elektronen zu emittieren
- Voltmeter, um die Anodenspannung zu messen → Maß für die Energie der beschleunigten Elektronen
- Amperemeter → Maß für die pro Zeiteinheit an der Anode ankommenden Elektronen

<u>Durchführung:</u>

- Schaltung entsprechend Abbildung aufbauen
- Glaskolben mit Heizofen auf gewünschte Temperatur aufheizen
- Heizspannung und Gitterspannung einschalten
- Anodenspannung langsam erhöhen und zugehörige Stromstärken messen
  - Alternativ Verwendung eines Oszillographen und eines entsprechenden Stromversorgers liefert die Kurven auf dem Schirm.

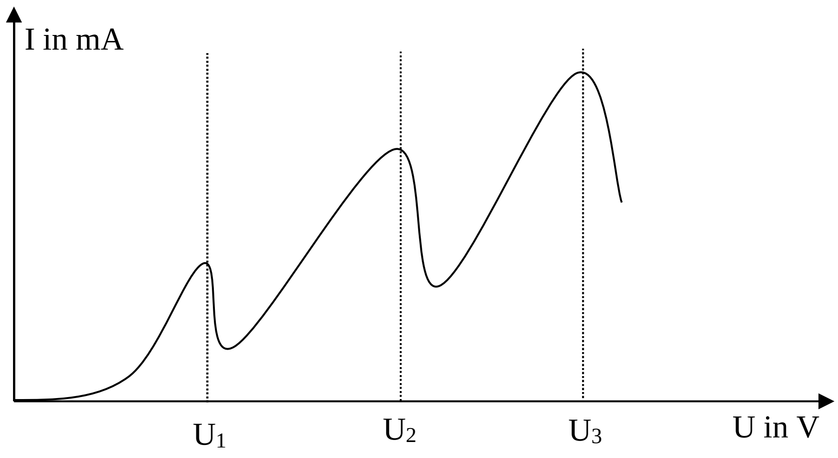
4.2 <u>Beschreibung und Erklärung des Kurvenverlaufs</u>

<u>Bild 3:</u>

- Bei 30°C ist Quecksilber noch nicht verdampft, liegt also im flüssigen Aggregatzustand als Kugel vor. Eine Wechselwirkung von freibeweglichen Elektronen mit Quecksilber kann demzufolge nicht auftreten.
- Durch die Gitterspannung werden emittierte Elektronen zum Gitter beschleunigt, durch die Vorspannung zwischen Anode und Gitter aber wieder abgebremst, so dass nur Elektronen die Anode erreichen können, die mindestens eine Energie von 3 eV besitzen. Der Stromfluss kann demzufolge erst bei 3 V einsetzen.
- Eine weitere Erhöhung der Anodenspannung führt zu einer größeren Beschleunigung der freibeweglichen Elektronen, so dass die Stromstärke annähernd linear ansteigt (würde bis zum Sättigungsgebiet reichen, aber nicht abgebildet).

<u>Bild 4:</u>

- Bei 190°C liegt Quecksilber im gasförmigen Aggregatzustand vor. Die Quecksilberatome sind im Glaskolben annähernd gleichmäßig verteilt und bewegen sich frei.
- Bei bestimmten Spannungen sinkt die Stromstärke schlagartig. Es erreichen dann nur noch wenige Elektronen die Anode. Bei weiterer Erhöhung der Beschleunigungsspannung steigt die Stromstärke wieder an, um bei einer bestimmten Spannung von einem Maximum wieder abzufallen.
- Die Maxima haben gleiche Energiedifferenzen, bei Quecksilber ein ganzzahliges Vielfaches von 4,9 eV, die Energie wird gequantelt absorbiert.



Erklärung:

Beschleunigte Elektronen treffen auf Quecksilberatome → Wechselwirkung

- $0 < U < U_1$: elastische Stöße, keine Energieübertragung
- $U = U_1$: unelastischer Stoß zwischen Elektron und Gasatom
vollständige Energieübertragung auf Gasatom
- $U_1 < U < U_2$: unelastischer Stoß bei U_1, Restenergie - elastischer Stoß
- $U = U_2$: zwei unelastische Stöße zwischen Elektron und Gasatom
vollständige Energieübertragung auf Gasatome
- $U_2 < U < U_3$: unelastische Stöße bei U_1 und U_2 , Restenergie - elastischer Stoß
- $U = U_3$: drei unelastische Stöße zwischen Elektron und Gasatom
vollständige Energieübertragung auf Gasatome

Bei den unelastischen Stößen geht die Stromstärke nicht auf null, da wegen der statistischen Verteilung nicht alle Elektronen auf ein Quecksilberatom treffen.