Physik GK ph1, 2. KA – Kreisbew., Schwingungen und Wellen – Lösung 12.05.2016

<u>Aufgabe 1</u>: Kreisbewegung

Einige Spielplätze haben sogenannte Drehscheiben: Kreisförmige Plattformen, die in Rotation versetzt werden können. Wir betrachten eine Drehplattform mit einem Radius von $r_0=2\,m,$ die in vier Sekunden einmal um *360°* rotiert. Wir nehmen an, dass sich ein Kind genau auf dem Rand der rotierenden Platte steht, während das andere Kind genau gegenüber im Abstand $r_1=1$ vom Mittelpunkt steht. Beide Kinder wiegen $m_0=25\,kg$.

<u>1.1</u> Berechne die Bahn- und Winkelgeschwindigkeiten der beiden Kinder.

$$T=4\,s;\ \boldsymbol{\omega}=2\pi f=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{4\,s}=\boldsymbol{\frac{\pi}{2}\,s^{-1}}\approx 1{,}57\,s$$

$$\boldsymbol{v_1}=\omega\cdot r_1=\frac{\pi}{2}\,s^{-1}\cdot 2\,m=\boldsymbol{\pi\,\frac{m}{s}}\approx 3{,}14\,\frac{m}{s}\qquad \boldsymbol{v_2}=\omega\cdot r_2=\frac{\pi}{2}\,s^{-1}\cdot 1\,m=\boldsymbol{\frac{\pi}{2}\,\frac{m}{s}}\approx 1{,}57\,\frac{m}{s}$$

A: Die Bahngeschwindigkeit beträgt *3,14 m/s* bzw. 1,57 m/s und die Winkelgeschwindigkeit beträgt für beide Kinder *1,57 1/s*.

<u>1.2</u> Beide Kinder spüren eine Kraft, die sie nach außen treibt.

Erkläre die Herkunft dieser Kraft.

Beide Kinder führen eine Kreisbewegung aus. Sie werden also ständig in Richtung Zentrum der Drehscheibe beschleunigt. Die Massenträgheit stellt sich gegen die Bewegungsänderung in Richtung Zentrum. Die Kinder spüren also eine Kraft, die sie nach außen treibt.

Oder: Ursache jeder Kreisbewegung ist eine Kraft, die zum Zentrum der Kreisbewegung zeigt. Im Bezugsystem des Kindes verändert sich aber der Abstand zum Zentrum nicht, obwohl es eine Kraft in Richtung des Zentrums gibt. Also muss es eine gleich große, entgegengerichtete Kraft geben, die in genau die andere Richtung, also nach außen zeigt.

Berechne den Betrag dieser Kraft für beide Kinder.

$$\boldsymbol{F_1}=m\cdot a_z=m\,\omega^2\cdot r=25\,kg\cdot\left(\frac{\pi}{2}\,s^{-1}\right)^2\cdot 2\,m=123{,}37\,kg\,\frac{m}{s^2}=\boldsymbol{123{,}37\,N}$$

$$\boldsymbol{F_1}=m\cdot a_z=m\,\omega^2\cdot r=25\,kg\cdot\left(\frac{\pi}{2}\,s^{-1}\right)^2\cdot 1\,m=61{,}69\,kg\,\frac{m}{s^2}=\boldsymbol{61{,}69\,N}$$

A: Das Kind außen spürt eine Kraft von *123 N* und das Kind innen eine Kraft von *62 N*.

<u>1.3</u> Das Kind am Rand der Platte bewegt sich in gerader Linie zum Kind auf der anderen Seite.

Beschreibe und erkläre die Kräfte, die dieses Kind während der Bewegung spürt.

Während das Kind sich auf die Mitte der Platte zubewegt, verringert sich die Bahngeschwindigkeit der Platte unter dem Kind. Aufgrund der Massenträgheit behält das Kind aber zunächst seine höhere Bahngeschwindigkeit von außen bei. Weil das Kind mit der Platte verbunden ist, wird seine Bahngeschwindigkeit zugleich mit der Platte verringert. Es spürt also eine Beschleunigung gegen die Drehrichtung der Platte und somit auch eine Kraft, die rechtwinklig zur Bewegungsrichtung in Richtung Mitte wirkt. (Diese Kraft heißt Corioliskraft und ist eine Scheinkraft, weil sie nur im beschleunigten Bezugssystem „Kind“ auftritt).

Physik GK ph1, 2. KA – Kreisbew., Schwingungen und Wellen – Lösung 12.05.2016

<u>Aufgabe 2:</u> Kreisbewegung und Schwingung

Das Bild rechts zeigt eine Kugel, die auf einem rotierenden Teller befestigt ist. Die Rotationsgeschwindigkeit des Tellers kann über einen Motor variiert werden. Darüber schwingt die Kugel eines Fadenpendels, dass wir als mathematisches Pendel mit kleinen Auslenkungen betrachten können.

<u>2.1</u> Beschreibe die Durchführung und die Beobachtung des Versuches.

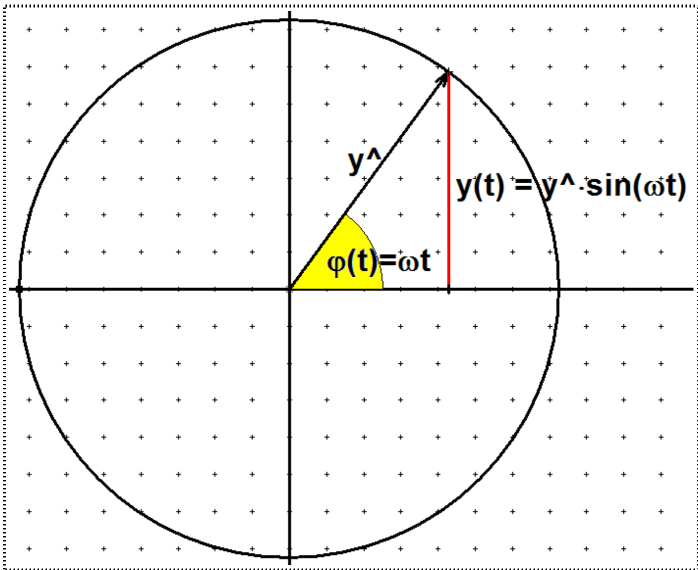
Das Pendel wird mit in so in Schwingung versetzt, dass es genau bis zur den Rändern des darunter liegenden Tellers schwingt. Nun wird der Teller in Rotation versetzt und die Rotationsgeschwindigkeit so lange variiert, bis die Kugel auf dem Teller mit der Kugel des Fadenpendels synchronisiert ist, d.h. beide Kugel befinden immer in der gleichen horizontalen Position.

<u>2.2</u> Erkläre, welcher physikalische Zusammenhang mit diesem Experiment gezeigt werden soll.

Die Auslenkung dieser Schwingung lässt mit einer Sinusfunktion beschreiben, denn die horizontale Position der Kugel auf dem Teller wird durch eine Sinusfunktion beschrieben und beide Kugel nehmen zu jedem Zeitpunkt die gleiche horizontale Position ein.

<u>2.3</u> Erläutere dieses physikalische Prinzip mit Hilfe eines Zeigerdiagramms.

siehe rechts



<u>2.4</u> Erkläre, was ein mathematisches Pendel ist.

Die gesamte Masse des Pendels befindet sich in einem Punkt am Ende des Fadens, d.h. der Faden selbst hat keine Masse.

<u>2.5</u> Erkläre, warum es für den Versuch wichtig ist, dass wir das Pendel als mathematisches Pendel betrachten, und dass wir außerdem annehmen, dass das Pendel nur kleine Auslenkungen ausführt.

Nicht-mathematische Pendel führen keine harmonische Schwingung aus, lassen sich also nicht mit einer Sinusfunktion beschreiben. Für kleine Auslenkungen kann die Näherung $\sin(\alpha)=\alpha$ *benutzt werden.Ohne diese Näherung führt das Pendel ebenfalls keine harmonische Schwingung aus.*

Physik GK ph1, 2. KA – Kreisbew., Schwingungen und Wellen – Lösung 12.05.2016

<u>Aufgabe 3:</u> Fadenpendel

Wir betrachten eine Pendeluhr, deren Fadenpendel als mathematisches Pendel mit nur kleinen Auslenkungen betrachtet werden kann. Die Uhr ist so geeicht, dass sie in Cochem $\left(g=9{,}81\,ms^{-2}\right)$ als Sekundenpendel funktioniert, d.h. in zwei Sekunden führt das Pendel eine Schwingung durch.

<u>3.1</u> Berechne die Pendellänge der Uhr.

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \Rightarrow T^2=4\pi^2\cdot\frac{l}{g} \Leftrightarrow \boldsymbol{l}=\frac{T^2 g}{4\pi^2}=\frac{4\,s^2\cdot 9{,}81\,m\,s^{-2}}{4\,\pi^2}=\frac{9{,}81}{\pi^2}\,m=\mathbf{0{,}9940}\,\boldsymbol{m}$$

A: Das Pendel hat eine Länge von *99,4 cm*.

<u>3.2</u> Das Pendel startet zum Zeitpunkt $t_0=0\,s$ links mit maximaler Auslenkung (Auslenkungen links vom Ruhepunkt werden negativ gezählt). Berechne die Auslenkung zum Zeitpunkt $t_1=2{,}8\,s$. Benutze $\hat{y}=10\,cm$.

$$y(t)=\hat{y}\sin\left(\sqrt{\frac{g}{l}}\cdot t+\phi_0\right)$$ Hier: $y(0s)=-\hat{y}=\hat{y}\cdot(-1)$ Also

$$\sin\left(\sqrt{\frac{g}{l}}\cdot 0s+\phi_0\right)=\sin(\phi_0)=-1 \Rightarrow \phi_0=-\frac{\pi}{2}$$ Also $y(t)=\hat{y}\sin\left(\sqrt{\frac{g}{l}}\cdot t-\frac{\pi}{2}\right)$

$$\boldsymbol{y(2{,}8\,s)}=0{,}1\,m\cdot\sin\left(\sqrt{\frac{9{,}81\,m\,s^{-2}}{\frac{9{,}81}{\pi^2}m}}\cdot 2{,}8\,s-\frac{\pi}{2}\right)=0{,}1\,m\cdot\sin\left(\pi\cdot 2{,}8-\frac{\pi}{2}\right)\approx 0{,}1\,m\cdot 0{,}8090=\mathbf{0{,}0809}\,\boldsymbol{m}$$

A: Das Pendel ist zum Zeitpunkt *2,8 s* um 8,1 *cm* ausgelenkt.

<u>3.3</u> Berechne den Winkel zwischen dem Pendel in Ruhelage und dem Pendel zum Zeitpunkt $t_1=2\,s$.

$$\phi_1=\omega\cdot t_1-\phi_0=\sqrt{\frac{g}{l}}\cdot t_1-\phi_0=\sqrt{\frac{g}{\frac{9{,}81\,m}{\pi^2}}}\cdot t_1-\phi_0=\pi\cdot 2{,}8-\frac{\pi}{2}=2{,}3\,\pi=414°$$

Die Ruhelage hat die Winkel $\phi_R=n\cdot\pi;\; n\in\mathbb{N}^0$ (bzw. $\phi_R=n\cdot 180°$). Der errechnete Winkel liegt am nächsten zum Ruhelagewinkel 360°. Also: $\Delta\phi=414°-360°=54°$

A: Das Pendel ist zum Zeitpunkt *2,8 s* um 54° von der Ruhelage ausgelenkt.

<u>3.4</u> Wir verlängern die Pendellänge um *20%*. Berechne, um wie viel Prozent sich die Frequenz des Pendels verändert.

$$l_2=l\cdot 1{,}2=\frac{9{,}81}{\pi^2}m\cdot 1{,}2=\frac{11{,}772}{\pi^2}m\approx 1{,}1928\,m$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{9{,}81\frac{m}{s^2}}{\frac{9{,}81\cdot 1{,}2\,m}{\pi^2}}} = \frac{1}{2\pi}\cdot\pi\sqrt{1{,}2}\,\frac{1}{s} = \frac{1}{2}\sqrt{1{,}2}\,Hz \qquad f = \frac{1}{2}Hz$$

$$\frac{f_2}{f} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{1{,}2}\,Hz}{\frac{1}{2}Hz} = \sqrt{1{,}2} = 1{,}0954$$ **A: Die Frequenz ändert sich um 9,5%.**

<u>3.5</u> Wir stellen die Uhr auf die Mondoberfläche $\left(g_M = 1{,}62\,ms^{-2}\right)$. Berechne, um welche Zeitspanne Δt die Uhr auf dem Mond in $24\,h$ falsch geht. Geht sie vor oder geht sie nach?

$$T_3 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_M}} = 2\pi\cdot\sqrt{\frac{\frac{9{,}81\,m}{\pi^2}}{1{,}62\,\frac{m}{s^2}}} = 2\cdot\sqrt{\frac{109}{18}}\,s \approx 4{,}9216\,s$$

In *4,92* Sekunden zeigt die Uhr also nur einen Fortschritt von *2 s* an. Dreisatz:

$$\frac{2\cdot\sqrt{\frac{109}{18}}\,s}{2\,s} = \frac{24\,h}{t_{24\,h}} \Leftrightarrow t_{24\,h} = 24\,h\cdot\frac{2\,s}{2\cdot\sqrt{\frac{109}{18}}\,s} = 24\,h\cdot\sqrt{\frac{18}{109}} = 9{,}7529\,h$$

A: Die Uhr geht nach. Nach *24 h* zeigt sie *9.45 Uhr* am Morgen an.

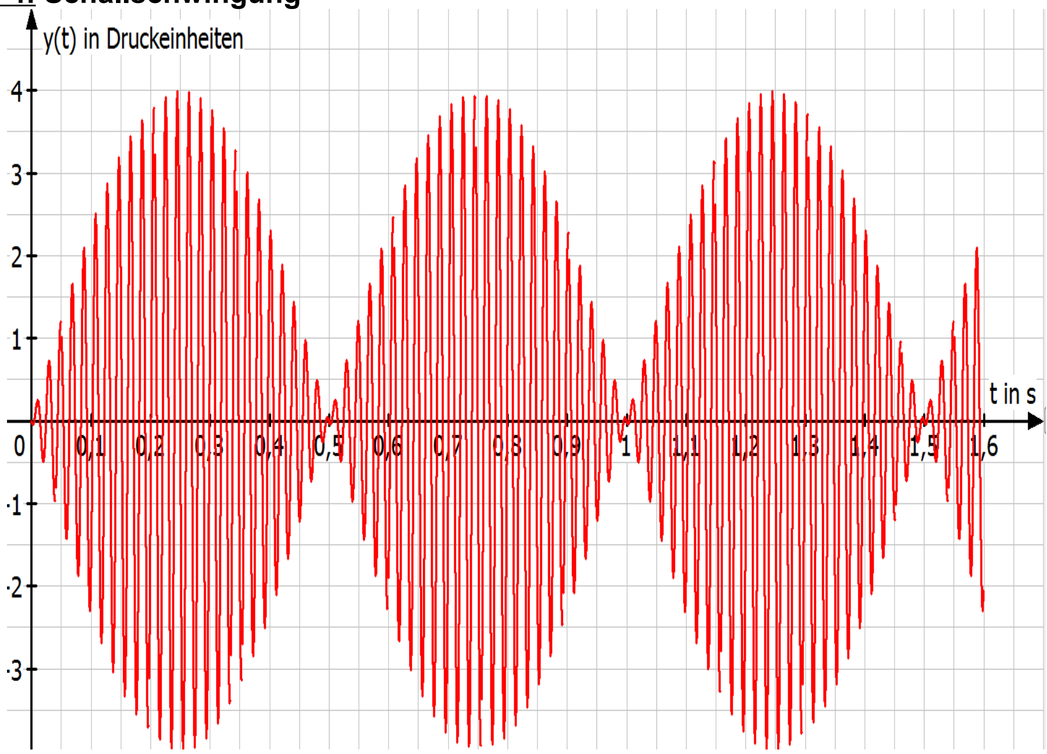
<u>3.6</u> Berechne, um welche Länge Δl die Länge des Pendel der Uhr auf dem Mond verlängert oder verkürzt werden muss, damit die Monduhr wieder die richtige Zeit anzeigt.

$$T_3 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_M}} \Rightarrow T_2^2 = 4\pi^2\cdot\frac{l_1}{g_M} \Leftrightarrow l_1 = \frac{T_3^2 g_M}{4\pi^2} = \frac{4\,s^2\cdot 1{,}62\,m\,s^{-2}}{4\pi^2} = \frac{1{,}62}{\pi^2}\,m = 0{,}1641\,m$$

$$\boldsymbol{\Delta l} = l_2 - l_1 = \frac{9{,}81}{\pi^2}\,m - \frac{1{,}62}{\pi^2}\,m = \frac{8{,}19}{\pi^2}\,m = \mathbf{0{,}8298\,m}$$

A: Das Pendel muss um *83 cm* gekürzt werden.

<u>Aufgabe 4:</u> Schallschwingung



Die obige Abbildung zeigt eine Schallschwingung. Aufgetragen ist die aktuelle Auslenkung y(t) (in einer Einheit des Drucks) in Abhängigkeit von der Zeit t (in Sekunden).

<u>4.1</u> Beschreibe, was ein Beobachter, der diese Schallwelle wahrnimmt, hört.

Er hört einen Ton, der in seiner Lautstärke periodisch lauter und leiser wird.

<u>4.2</u> Erkläre, wie der Verlauf der Schallschwingung zustande kommt. Benenne das zugrunde liegende physikalische Phänomen.

Ursache des Tons ist die Überlagerung zweier Schwingungen mit ähnlichen Freqeuenzen. Das Phänomen heißt Schwebung.

<u>4.3</u> Ursache der beobachteten Schwingung ist unter anderem eine Schwingung von 52 Hz. Keine Schwingung mit höherer Frequenz ist beteiligt.

Berechne die Frequenz der Tons, den der Beobachter hört und die Frequenz der anderen beteiligten Schwingung. Benutze dazu die Skala in der Abbildung.

Ablesen: Schwebungsperiodendauer: $T_S = 0{,}5\,s \Leftrightarrow f_S = 2\frac{1}{s} = 2\,Hz$

$f_s = f_2 - f_1 \Leftrightarrow f_1 = f_2 - f_S$, wenn $f_2 > f_1$ Laut Aufgabe: $f_2 = 52\,Hz \Rightarrow \boldsymbol{f_1} = 52\,Hz - 2\,Hz = \mathbf{50\,Hz}$

Frequenz des Tons: $\boldsymbol{f_0} = \frac{f_1 + f_2}{2} = \frac{50\,Hz + 52\,Hz}{2} = \mathbf{51\,Hz}$

A: Die Frequenz der anderen beteiligten Schwingung beträgt *50 Hz* und die Frequenz des Tons beträgt *51 Hz*.

Gib die Amplitude der beteiligten Schwingungen an. Begründe deine Antwort.

Die maximale Auslenkung der überlagerten Schwingung ist die Summe der beiden Amplituden der beteiligten Schwingungen (Fall: konstruktive Überlagerung). Im Graphen kann man ablesen, dass die maximale Auslenkung 4 D.E. beträgt. Die minimale Auslenkung (Fall: destruktive Überlagerung) resultiert aus der Differenz der beiden gesuchten Amplituden. Weil die Differenz null ist, müssen die beiden Amplituden gleich groß sein, also jeweils 2. D.E.
Mathematisch:

$$I. \quad \hat{y}_1+\hat{y}_2=4\,D.E.$$
$$II. \quad \hat{y}_1-\hat{y}_2=0\,D.E. \quad \Leftrightarrow \quad \hat{y}_1=\hat{y}_2$$

$$I.+II. \quad 2\hat{y}_1=4\,D.E. \quad \Leftrightarrow \quad \hat{y}_1=2\,D.E.=\hat{y}_2$$

A: Beide Amplituden betragen 2 Druckeinheiten.

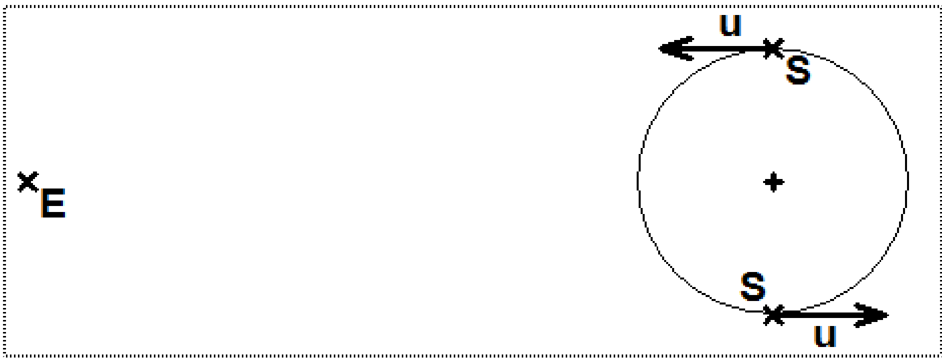
<u>**Aufgabe 5:**</u> **Dopplerffekt**

Wir lassen die Drehscheibe aus Aufgabe 1 mit *10* Umdrehungen pro Sekunde kreisen und befestigen eine Sirene am Rand der Scheibe. Die Sirene heult mit einer Frequenz von *1000 Hz*.

Ein Polizist befindet sich in gleicher Höhe wie die Sirene, in einer Entfernung, die groß gegen den Radius der Drehscheibe ist. Berechne die minimale und maximale Tonhöhe, die er hört.

Bewegter Sender, ruhender Empfänger: $f_E=\dfrac{f_0}{1\mp\dfrac{u}{v_p}}$

Die höchste Geschwindigkeit u, mit der sich der Sender relativ zum Empfänger bewegt, ist gleich der Bahngeschwindigkeit, in dem Moment, wenn sich der Sender genau auf den Empfänger zu bewegt oder genau weg bewegt.



u ist also gleich der Bahngeschwindigkeit: $u=v=\pi\,m\,s^{-1}$ (siehe 1.1)

$$f_{Emin}=\frac{f_0}{1+\dfrac{u}{v_p}}=\frac{1000\,Hz}{1+\dfrac{\pi\,m\,s^{-1}}{340\,m\,s^{-1}}}=\mathbf{990{,}8446\,Hz} \qquad f_{Emax}=\frac{f_0}{1-\dfrac{u}{v_p}}=\frac{1000\,Hz}{1-\dfrac{\pi\,m\,s^{-1}}{340\,m\,s^{-1}}}=\mathbf{1009{,}3262\,Hz}$$

A: Der gehörte Ton schwankt zwischen 991 Hz und 1009 Hz.