

# Klassische Experimentalphysik I (Mechanik) (WS 16/17)

<http://ekpwww.physik.uni-karlsruhe.de/~rwolf/teaching/ws16-17-mechanik.html>

## Klausur 1

## Lösungen

**Anmerkung:** Diese Klausur enthält fünf *multiple choice*-Aufgaben. Markieren Sie die richtigen Antworten jeweils durch ein Kreuz. Beachten Sie, dass mehrere Antworten pro Teilaufgabe richtig sein können. In der Bewertung geben wir jeweils einen Punkt für ein richtiges Kreuz und ziehen einen Punkt für ein falsches Kreuz ab. Für eine *multiple choice*-Aufgabe können Sie minimal 0 und maximal 4 Punkte erhalten.



Name:

MatrikelNr.:

WS 16/17

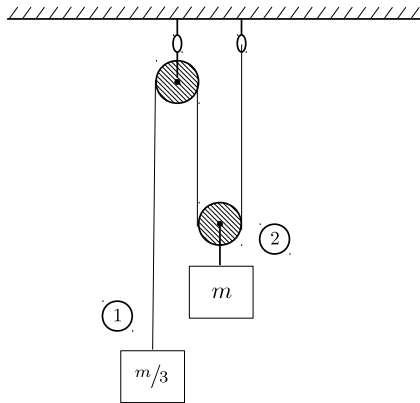
**Aufgabe 1: Mechanik von Massepunkten, Arbeit und Energie**

(20 Punkte)

**Aufgabe 1 a)**

(4 Punkte)

Markieren Sie die korrekten Antworten zu den folgenden Fragen durch Ankreuzen. Beachten Sie, dass auch mehrere Antworten richtig sein können.



(i) Welche der folgenden Aussagen zu der oberen Skizze ist korrekt?

- Klotz 1 (auf der linken Seite des Flaschenzuges) bewegt sich nach oben.
- Klotz 2 (auf der rechten Seite des Flaschenzuges) bewegt sich nach oben.
- Keiner der beiden Klötze bewegt sich.

(ii) Ein Flugzeug  $F$  läßt im Vorbeiflug ein Paket senkrecht zu Boden fallen. Nehmen Sie an  $F$  fliege auf einer geraden Bahn ohne weitere Beschleunigung. Ignorieren Sie die Reibung der Luft. Wo landet das Paket entlang der Bahn von  $F$ ?

Mit  $F$  auf gleicher Höhe.

Vor  $F$ .

Hinter  $F$ .

(iii) Ein mathematisches Pendel werde mit einem kleinen Anfangswinkel  $\varphi_0$  und der Anfangsgeschwindigkeit  $\dot{\varphi}_0 = 0$  losgelassen und so in Schwingung versetzt. Welche der folgenden Aussagen ist korrekt?

Die Schwingungsfrequenz halbiert sich, wenn man die Länge des Fadens halbiert.

Die Schwingungsfrequenz verdoppelt sich wenn man die Masse verdoppelt.

Die Periode der Schwingung hängt nicht von der Masse ab.

(iv) Zwei Massepunkte stoßen elastisch aneinander. Welche der folgenden Aussagen ist korrekt?

Die Energie beider Teilchen bleibt in jedem Bezugssystem gleich.

Beide Teilchen haben die gleiche Energie im Schwerpunktsystem.

Die Geschwindigkeit des Schwerpunkts wird durch den Stoß nicht verändert.

Name:

MatrikelNr.:

WS 16/17

**Aufgabe 1 b)**

**(4 Punkte)**

(i) Wie lange dauert der Flug der Kanonenkugel?

$$\Delta h = -\frac{g}{2}t^2 + v \sin \varphi t = 0$$

Beginn des Wurfs :  $t = 0$

$$\text{Ende des Wurfs : } t = \frac{2 v \sin \varphi}{g} = \frac{2 \cdot 7.5 \text{ m/s} \sin(30^\circ)}{9.81 \text{ m/s}^2} = 0.76 \text{ s}$$

(ii) Wie weit vom Ausgang der Kanone in Schußrichtung entfernt landet die Kugel?

$$\Delta L = v \cos \varphi t = \frac{2 v^2 \cos \varphi \sin \varphi}{g} = 4.97 \text{ m}$$

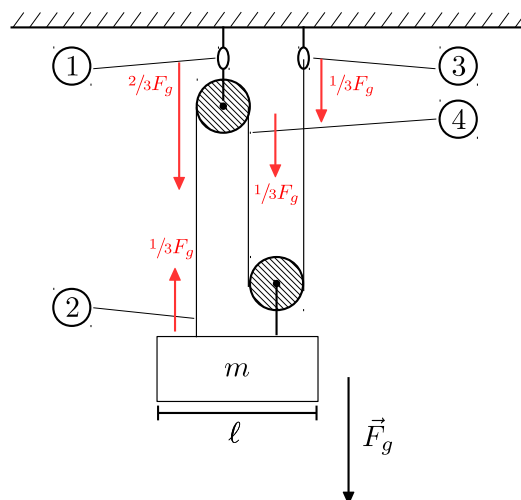
(iii) Welche maximale kinetische Energie erreicht die Kugel am Ausgang des Kanonenrohrs?

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{15 \text{ kg} (7.5 \text{ m/s})^2}{2} = 421.87 \text{ J}$$

**Aufgabe 1 c)/d)**

**(6+6 Punkte)**

Die Lösung ist in der folgenden Skizze in rot gezeigt:



Der Block muß entlang der Länge  $\ell$  im Verhältnis  $1/3 \ell$  (links) zu  $2/3 \ell$  (rechts) geteilt werden.

Name:

MatrikelNr.:

WS 16/17

**Aufgabe 2: Systeme von Massepunkten**

**(20 Punkte)**

**Aufgabe 2 a)**

**(4 Punkte)**

Markieren Sie die korrekten Antworten zu den folgenden Fragen durch Ankreuzen. Beachten Sie, dass auch mehrere Antworten richtig sein können.

- |   |  |
|---|--|
| <p>(i) Wenn Sie den Kopf jetzt zu Ihrem linken Nachbarn drehen, in welche Richtung zeigt die Winkelgeschwindigkeit Ihres Kopfes?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Nach oben.</p> <p><input type="checkbox"/> Nach unten.</p> <p><input type="checkbox"/> Zum Sitznachbarn.</p> <p><input type="checkbox"/> Die Winkelgeschwindigkeit ist eine ungerichtete Größe.</p>   | <p><input checked="" type="checkbox"/> Es kostet keine Arbeit einen Massepunkt auf einer Kreisbahn zu halten.</p>  |
| <p>(ii) Welche der folgenden Aussagen zur Beschreibung von Rotationsbewegungen ist korrekt?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Der Drehimpuls eines Massepunktes mit dem Impuls <math>\vec{p}</math> im Punkt <math>\vec{r}</math> relativ zum Rotationszentrum berechnet sich aus <math>\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}</math>.</p> <p><input type="checkbox"/> Die Winkelgeschwindigkeit eines Massepunktes mit der Bahngeschwindigkeit <math>\vec{v}</math> im Punkt <math>\vec{r}</math> relativ zum Rotationszentrum berechnet sich aus <math>\vec{\omega} = \vec{r} \times \vec{v}</math>.</p> | <p>(iii) Ihnen kommt jemand auf dem Fahrrad entgegen. In welche Richtung zeigt der Drehimpuls des Vorderrads aus Ihrer Sicht?</p> <p><input type="checkbox"/> Nach oben.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Nach rechts.</p> <p><input type="checkbox"/> Nach links.</p> <p><input type="checkbox"/> Nach vorne.</p>   |
|   | <p>(iv) Zwei Zylinder gleicher Masse rollen zur gleichen Zeit und aus gleicher Höhe eine schiefe Ebene hinunter. Beide Rollen haben den gleichen Durchmesser <math>d</math>. Rolle 1 ist massiv. Bei Rolle 2 ist die gesamte Masse auf den Rand konzentriert. Welche Rolle erreicht das Ende der schiefen Ebene zuerst?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Rolle 1.</p> <p><input type="checkbox"/> Rolle 2.</p> <p><input type="checkbox"/> Beide gleichzeitig.</p> |

Name:

MatrikelNr.:

WS 16/17

**Aufgabe 2 b)**

(4 Punkte)

$$\langle x \rangle = \frac{100 \text{ kg} \cdot (-5 \text{ m}) + 300 \text{ kg} \cdot (-5 \text{ m}) + 100 \text{ kg} \cdot (+2 \text{ m})}{500 \text{ kg}} = -3.6 \text{ m}$$

**Aufgabe 2 c)**

(4 Punkte)

Der Kran kippt nicht um, solange für für die involvierten Drehmomente gilt  $|\vec{M}_L| \leq |\vec{M}_K|$ :

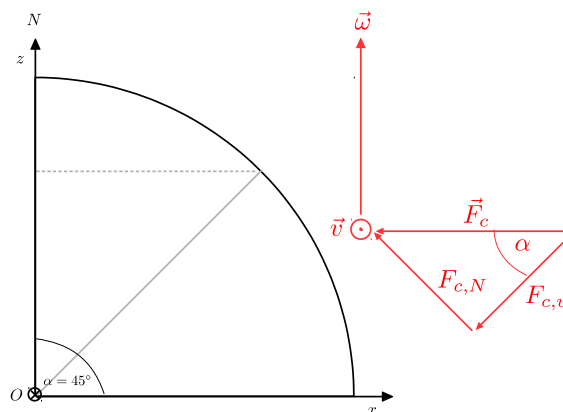
$$M_L = 10 \text{ m} \cdot m_L \cdot g \leq 3.6 \text{ m} \cdot m_K \cdot g = M_K$$

$$m_L \leq \frac{3.6 \text{ m}}{10 \text{ m}} \cdot 500 \text{ kg} = 180 \text{ kg}$$

**Aufgabe 2 d)**

(8 Punkte)

Die für den Wurf relevante Information ist in der folgenden Skizze in rot gezeigt:



Die Ablenkung erfolgt nach Norden und nach unten.

$$\vec{F}_c = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}$$

$$a_N = a_u = a = 2 \cdot \omega \cdot v \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 2 \cdot \frac{2\pi}{86400 \text{ s}} \cdot 50 \text{ m/s} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 7.27 \text{ mm/s}$$

$$\Delta x = \Delta h = \frac{1}{2} a \left( \frac{L}{v} \right)^2 = \frac{2\pi}{86400 \text{ s}} \cdot 50 \text{ m/s} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \left( \frac{25 \text{ m}}{50 \text{ m/s}} \right)^2 = 0.91 \text{ mm}$$

$$\Delta r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta h^2} = 1.28 \text{ mm}$$

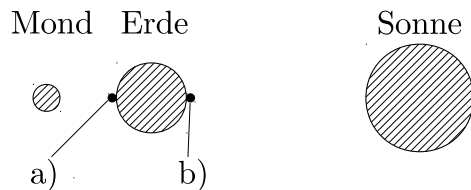
**Aufgabe 3: Planetenbahnen und Relativitätstheorie**

(20 Punkte)

**Aufgabe 3 a)**

(4 Punkte)

Markieren Sie die korrekten Antworten zu den folgenden Fragen durch Ankreuzen. Beachten Sie, dass auch mehrere Antworten richtig sein können.



- (i) In der oberen Skizze sehen Sie Mond, Erde und Sonne auf einer Linie. In welchem der beiden Punkte haben Sie allein aufgrund der Gravitationswirkung der drei Gestirne das geringere Gewicht auf der Waage?
- Sie haben in a) das geringere Gewicht als in b).
  - Sie haben in b) das geringere Gewicht als in a).
  - Sie haben sowohl in a) also auch in b) das gleiche Gewicht.
- (ii) Welche Vervollständigung(en) des folgenden Satzes sind korrekt? Die Umlaufperiode eines Gestirns um ein Zentralgestirn...
- ... hängt von der Masse des Gestirns ab.
  - ... wird mit zunehmendem Abstand vom Zentralgestirn geringer.
  - ... wird mit zunehmendem Abstand vom Zentralgestirn größer.
- (iii) Welche der folgenden Aussagen ist korrekt?
- Im Inneren nimmt der Betrag der Gravitationskraft einer homogen gefüllten Kugel mit zunehmendem Abstand vom Zentrum ab.
  - Im Inneren ist das Gravitationspotential einer Hohlkugel konstant.
  - Im Äußeren verläuft das Gravitationspotential einer Hohlkugel wie  $1/r$  mit zunehmendem Abstand  $r$  vom Zentrum.
- (iv) Ein Komet bewegt sich mit einem Stoßparameter von 10 Erdradien auf die Erde zu. Welche der folgenden Aussagen ist korrekt?
- Der Drehimpuls des Systems Erde – Komet ist erhalten.
  - Je näher der Komet der Erde kommt, desto größer wird seine Geschwindigkeit.
  - Die kinetische Energie des Kometen ist erhalten.

Name:

MatrikelNr.:

WS 16/17

**Aufgabe 3 b)**

**(4 Punkte)**

$$\frac{m M_{Erde} G_N}{r^2} = m \omega^2 r$$

$$M_{Erde} = \frac{\omega^2}{G_N} r^3 = \frac{(2\pi/259200 \text{ s})^2}{6.674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}} (380000 \text{ km})^3 = 4.83 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

**Aufgabe 3 c)**

**(6 Punkte)**

- (i) Nach welcher Zeit wird das Raumschiff, vom Ruhesystem der Erde aus beobachtet, die Erde erreichen?

$$t = \frac{L}{v} = \frac{480000 \text{ km}}{0.8 \cdot 300000 \text{ km/s}} = 2 \text{ s}$$

- (ii) Welche Zeit wird dann im Ruhesystem des Raumschiffs vergangen sein?

$$t' = \frac{t}{\gamma} = t \cdot \sqrt{1 - (0.8)^2} = \frac{3}{5}t = 1.2 \text{ s}$$

- (iii) Wie groß ist die Entfernung des Raumschiffs von der Erde aus der Sicht der Insassen des Raumschiffs?

$$L' = \frac{L}{\gamma} = L \cdot \sqrt{1 - (0.8)^2} = \frac{3}{5}L = 288000 \text{ km}$$

**Aufgabe 3 d)**

**(6 Punkte)**

$$\nu' = \nu \cdot \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \quad ; \quad \left(\frac{\nu'}{\nu}\right)^2 = \frac{1+\beta}{1-\beta} \quad ;$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\left(\frac{\nu'}{\nu}\right) - 1}{\left(\frac{\nu'}{\nu}\right) + 1}} = \sqrt{\frac{1.5 - 1}{1.5 + 1}} = 0.45 \quad ;$$

$$v = 0.45 c \approx 134000 \text{ km/s}$$



Name:

MatrikelNr.:

WS 16/17

**Aufgabe 4: Mechanik fester Körper und Flüssigkeiten**

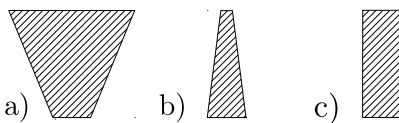
**(20 Punkte)**

**Aufgabe 4 a)**

**(4 Punkte)**

a)

Markieren Sie die korrekten Antworten zu den folgenden Fragen durch Ankreuzen. Beachten Sie, dass auch mehrere Antworten richtig sein können.



- (i) In der oberen Skizze sehen Sie drei Vasen, die alle mit unterschiedlich viel Wasser auf die gleiche Höhe befüllt worden sind. Alle drei Vasen haben die gleiche Grundfläche. Sortieren Sie die Vasen nach absteigendem Druck auf Höhe der Grundfläche:

- a – c – b.  
 c – b – a.  
 b – c – a.  
 a – b – c.  
 Der Druck auf Höhe der Grundfläche ist in allen Vasen gleich.

- (ii) Nehmen Sie an, nachdem sie wie oben befüllt wurden wird ein im Verhältnis zur Grundfläche kleines Loch in den Boden der Vasen gestanzt, so dass das Wasser nach unten ablaufen kann. In allen drei Fällen ist die Fläche des Loches gleich. Sortieren Sie die Vasen nach der Geschwindigkeit des auslaufenden Wassers:

- a – c – b.  
 c – b – a.  
 b – c – a.

a – b – c.

Die Geschwindigkeit des auslaufenden Wassers ist in allen Vasen gleich.

- (iii) In einem Bassin mit 10 l reinen Wassers ragen von einem schwimmenden Eiswürfel 9% seines Volumens aus dem Wasser. Was passiert mit dem Eiswürfel, wenn Sie das Wasser mit 1 kg Kochsalz versetzen?

Mit dem Eiswürfel passiert nichts.

Eiswürfel hebt sich aus dem Wasser.

Eiswürfel senkt sich ins Wasser.

- (iv) Die Dichte des Wassers im Toten Meer beträgt  $1.24 \text{ g/cm}^3$ . Die mittlere Dichte eines Menschen beträgt  $1.06 \text{ g/cm}^3$ . Welche der folgenden Aussagen ist richtig?

Der aus dem Wasser ragende Volumenanteil eines dünneren Menschen ist geringer, als bei einem dickeren Menschen.

Der aus dem Wasser ragende Volumenanteil eines dickeren Menschen ist geringer, als bei einem dünneren Menschen.

Bei einem dickeren Menschen ragt ein größeres Volumen aus dem Wasser als bei einem dünneren Menschen.

Name:

MatrikelNr.:

WS 16/17

**Aufgabe 4 b)**

**(6 Punkte)**

- (i) Die Länge der Quecksilbersäule im Rohr.

$$L_{Hg} = \frac{V_{Hg}}{A} = \frac{10 \text{ cm}^3}{1 \text{ cm}^2} = 10 \text{ cm}$$

- (ii) Die Länge der Glycerinsäule im Rohr.

$$L_{Gl} = \frac{V_{Gl}}{A} = \frac{10 \text{ cm}^3}{1 \text{ cm}^2} = 10 \text{ cm}$$

- (iii) Die Höhendifferenz zwischen Glycerinspiegel auf der linken Seite des U-Rohrs und Quecksilberspiegel auf der rechten Seite.

$$V_{Gl} \cdot \rho_{Gl} \cdot g = A \cdot \Delta h \cdot \rho_{Hg} \cdot g$$

$$\Delta h = \frac{V_{Gl} \cdot \rho_{Gl}}{A \cdot \rho_{Hg}} = \frac{10 \text{ cm}^3 \cdot 1.26}{13.5 \cdot 1 \text{ cm}^2} = 0.933 \text{ cm}$$

Höhendifferenz in Hg

$$\Delta L = L_{Gl} - \Delta h = 9.06 \text{ cm}$$

Höhendifferenz zwischen beiden Säulen

Die linke Säule steht höher.

**Aufgabe 4 c)**

**(4 Punkte)**

- (i) Die absolute Änderung von  $\ell$ .

$$\Delta \ell = \alpha \cdot \ell \cdot \Delta T = 0.017 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1} \cdot 24 \text{ m} \cdot 330 \text{ K} = 134.64 \text{ mm} = 13.5 \text{ cm}$$

- (ii) Die relative Änderung des Tankvolumens (mit  $V' > V$ ).

$$\frac{V'}{V} = (1 + \alpha \Delta T)^3 = (1 + 0.00561)^3 = 1.017$$

Zur Herleitung ( $U$  sei der Umfang des Tanks):

$$r' = \frac{(1 + \alpha \Delta T) \cdot U}{2\pi}$$

$$\begin{aligned} V' &= (1 + \alpha \Delta T) \cdot L \cdot \pi \left( \frac{(1 + \alpha \Delta T) \cdot U}{2\pi} \right)^2 = (1 + \alpha \Delta T)^3 \cdot L \cdot \pi \left( \frac{U}{2\pi} \right)^2 \\ &= (1 + \alpha \Delta T)^3 \cdot V \end{aligned}$$

Die Potenz  $(1 + \alpha \Delta T)^3$  stimmt also unabhängig von der Form des Tanks.

Name:

MatrikelNr.:

WS 16/17

**Aufgabe 4 d)**

**(6 Punkte)**

Wir fassen zunächst die Herleitung beginnend mit der Bernoulli-Gleichung und der Massenerhaltung kurz zusammen. Dabei ist  $h = 20$  cm,  $\rho$  die Dichte des Wassers,  $A_1$  die Grundfläche der Vase,  $A_2$  die Fläche des Lochs,  $v_1$  die Sinkgeschwindigkeit des Wassers und  $v_2$  die Austrittsgeschwindigkeit des Wassers am Loch:

$$\rho g h + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2 \quad v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1$$

$$\rho g h = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} v_1^2 \rho \left( \frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right)$$

$$v_1 = \frac{dh}{dt} = \sqrt{\frac{2 g h}{\left( \frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right)}} = \alpha \cdot \sqrt{h}$$

$$\frac{dh}{\sqrt{h}} = \alpha dt \quad \int_{h(t_0)}^{h(t_0+t)} \frac{dh}{\sqrt{h}} = \int_{t_0}^{t_0+t} \alpha dt$$

$$\text{mit:} \quad \alpha \equiv \sqrt{\frac{2 g}{\left( \frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right)}} \quad h(t_0) = h_0 \quad h(t_0 + t) = 0$$

$$t = \frac{2 \sqrt{h}}{\alpha} = 2 \sqrt{\frac{h}{2 g} \left( \frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right)} = 2 \sqrt{\frac{0.2 \text{ m}}{2 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} \cdot 99} = 2 \text{ s}$$

Die Aufgabe ist so 1:1 in den Übungen berechnet worden. Die Herleitung ist nicht verlangt.

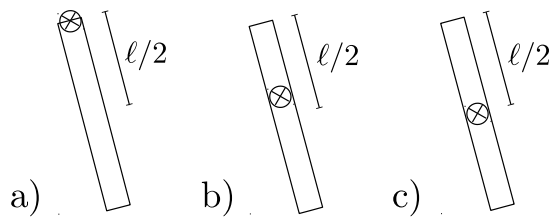
**Aufgabe 5: Schwingungen und Wellen**

**(20 Punkte)**

**Aufgabe 5 a)**

**(4 Punkte)**

Markieren Sie die korrekten Antworten zu den folgenden Fragen durch Ankreuzen. Beachten Sie, dass auch mehrere Antworten richtig sein können.



(i) In der oberen Skizze sehen Sie drei (physikalische) Stabpendel, die sich in ihrem Aufhängepunkt (in der Skizze durch ein Kreuz gekennzeichnet) unterscheiden. Ordnen Sie die Pendel absteigend nach ihrer Schwingungsfrequenz:

- a – c – b.
- c – b – a.
- a – b – c.
- Die Schwingungsfrequenz aller drei Pendel ist gleich.

(ii) Die Transversalwelle in einem gespannten Seil läßt sich durch die Funktion  $\cos(kx - \omega t)$  beschreiben. In welche Richtung läuft die Welle?

- In positive  $x$ -Richtung.
- In negative  $x$ -Richtung.
- Die Welle bewegt sich überhaupt nicht fort, weil das Seil fest eingespannt ist.

(iii) Ein einfaches Metronom besteht aus einem rücktreibenden Gewicht unterhalb

der Rotationsachse, einem Pendelstab und einem Justiergewicht, das sich am Pendelstab nach oben und unten verschieben läßt (siehe Skizze zu Teilaufgabe b)). Welche jeweilige Vervollständigung des folgenden Satzes ist korrekt? Wenn man das Justiergewicht nach oben schiebt...

- ... nimmt die Periodendauer der Schwingung zu.
- ... nimmt der Abstand zwischen Rotationsachse und Schwerpunkt ab.
- ... nimmt die Periodendauer der Schwingung ab.
- ... verringert sich das Trägheitsmoment der Gesamtkonstruktion.

(iv) Welche der folgenden Aussagen für eine erzwungene Schwingung der Form  $m\ddot{x} + \eta\dot{x} + kx = F \sin(\omega t)$  ist korrekt?

- Mit zunehmender Reibung nimmt die Amplitude bei fester Erregerfrequenz  $\omega$  ab.
- Die Phase mit der das System der Erregerfrequenz nacheilt ist von der Reibung des Systems unabhängig.
- Die Resonanzfrequenz des Systems ist von der Reibung des Systems unabhängig.

# Klassische Experimental-Physik I (Mechanik) – 1. Klausur

Name:

MatrikelNr.:

WS 16/17

---

## Aufgabe 5 b)

(4 Punkte)

- (i) Wo liegt der Schwerpunkt der Konstruktion entlang des Stabes (vom Aufhängepunkt nach oben gemessen)?

$$d = \frac{0 \text{ cm} \cdot 150 \text{ g} - 5 \text{ cm} \cdot 25 \text{ g} + 4 \text{ cm} \cdot 25 \text{ g}}{200 \text{ g}} = -1.25 \text{ mm}$$

- (ii) Wie sieht die Differential-Gleichung der Bewegung aus? (Herleitung nicht erforderlich.)

$$I \cdot \ddot{\varphi} + (m_1 + 2 m_2) g d \cdot \varphi = 0$$

## Aufgabe 5 c)

(6 Punkte)

$$\begin{aligned} I_{ges} &= \frac{1}{12} m_1 \ell^2 + \frac{1}{4} m_2 \ell^2 (1 + \alpha^2) \\ &= 1.25 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2 + 1.025 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2 = 2.275 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2 \end{aligned}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{(m_1 + 2 m_2) g d}{I_{ges}}} = 3.28 \text{ Hz}$$

## Aufgabe 5 d)

(6 Punkte)

$$\varphi(t) = \phi_0 \cos(\omega t) \quad \omega = \sqrt{\frac{(m_1 + 2 m_2) g d}{I_{ges}}}$$