

Klassische Experimentalphysik I (Mechanik) WS 21/22

Klausur 1 Dienstag, 22.02.2022

Name:

Matrikelnr.:

Aufgabe 1	/ 7 Punkte
Aufgabe 2	/ 6,5 Punkte
Aufgabe 3	/ 5 Punkte
Aufgabe 4	/ 3,5 Punkte
Aufgabe 5	/ 7 Punkte
Aufgabe 6	/ 6 Punkte
Gesamt	/ 35 Punkte
Note	

Kommentar zu den Punkten:

- Die Punktzahl für jede Aufgabe und Teilaufgabe ist in Klammern angegeben.
- Insgesamt können 35 Punkte erreicht werden.
- Zum Bestehen werden 11 Punkte benötigt.
- Für eine Note von 1,0 werden 31 Punkte benötigt. Es gibt also insgesamt mehr erreichbare Punkte, als für die beste Note benötigt werden! Machen Sie sich also keine Sorgen, wenn Sie nicht alle Aufgaben schaffen!

Bitte beachten Sie:

- Schreiben Sie *leserlich* Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer
 - auf *dieses Deckblatt* in die dafür vorgesehenen Felder,
 - *oben auf jedes Bearbeitungsblatt*.

Es werden nur Blätter gewertet, auf denen Name und Matrikelnummer stehen.

- Es sind keine Hilfsmittel wie Formelsammlung oder Taschenrechner erlaubt.
- Wenn Rechnungen mit Zahlenwerten erforderlich sind, sind diese im Kopf durchführbar (wenn das scheinbar nicht der Fall ist, haben Sie vermutlich etwas falsch gemacht).
- Verwenden Sie, falls notwendig, $g = 10 \text{ m/s}^2$ als Gravitationsbeschleunigung an der Erdoberfläche.
- Es bietet sich immer an, so lange wie möglich symbolisch zu rechnen und erst am Ende, sofern verlangt, Zahlen einzusetzen.
- Falls Sie ein Zwischenergebnis benötigen, dieses jedoch nicht haben, rechnen Sie symbolisch mit der Größe weiter.

Termine:

- Die vorläufigen Ergebnisse der Klausur werden spätestens am **01.03.2022 um 14:00 Uhr** veröffentlicht. Wir werden Sie mit einer E-Mail darüber informieren.
- Melden Sie sich nach Veröffentlichung der vorläufigen Ergebnisse gegebenenfalls direkt zur Klausureinsicht an. In der angesprochenen E-Mail wird das Verfahren zur Anmeldung erklärt.
- Die Klausureinsicht findet am **03.03.2022 ab 14:30 Uhr bis 17:00 Uhr** im Gaede-Hörsaal (Geb. 30.22) statt. Halten Sie sich diesen Zeitraum also frei! Die Einsicht wird in kleinen Gruppen (zu unterschiedlichen Zeitpunkten) stattfinden um die Anzahl der Kontakte etwas einzuschränken.
- Falls dies Ihr zweiter Versuch für diese Prüfungsleistung ist und Sie diese nicht bestehen sollten, wird Ihnen die Möglichkeit für eine mündliche Nachprüfung gegeben. In der Nachprüfung können Sie nur bestehen (Note 4,0) oder nicht bestehen. Die (bei Bedarf notwendigen) mündlichen Nachprüfungen finden am Nachmittag des **07.03.2022** statt. Falls dies für Sie relevant sein könnte, halten Sie sich diesen Tag frei!

Aufgabe 1: Kurzfragen

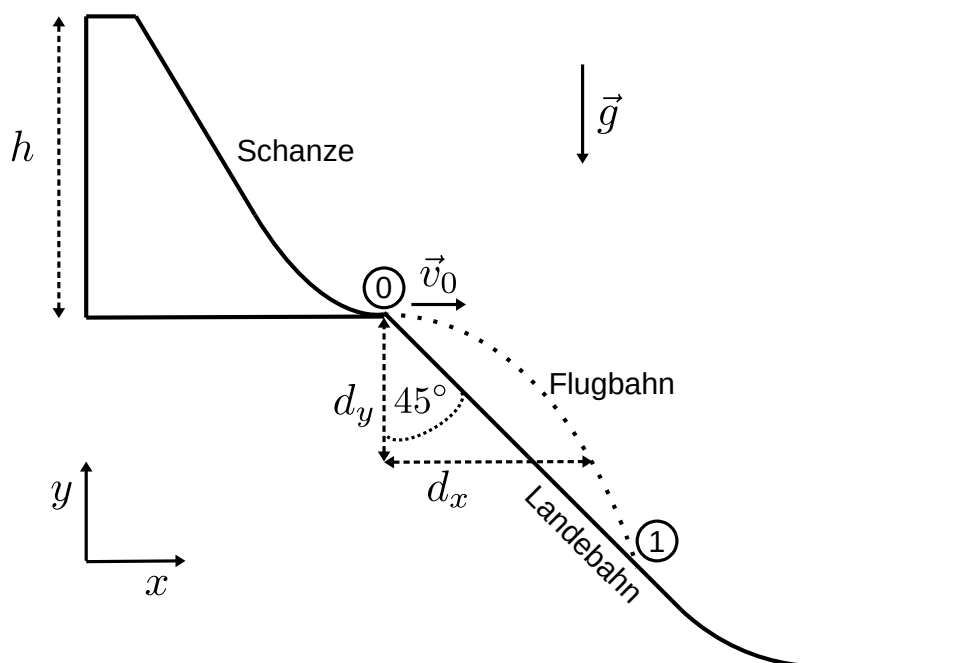
(7 Punkte)

- a) Erklären Sie in kurzen Worten oder mithilfe einer Skizze den Unterschied zwischen Präzision und Richtigkeit einer Messung. **(1 Punkt)**
- b) Skizzieren Sie für eine gleichförmige Kreisbewegung eines Massepunkts um eine Achse durch den Ursprung des Koordinatensystems die Vektoren der Geschwindigkeit und der Beschleunigung. **(1 Punkt)**
- c) Formulieren Sie in Worten oder Gleichungen (mit kurzer Erklärung) die drei newtonschen Gesetze. (egal ob in historischer oder moderner Formulierung) **(1,5 Punkte)**
- d) Beschreiben Sie kurz die Messidee des Cavendish-Experiments zur Messung der Gravitationskonstanten. **(1 Punkt)**
- e) Von welcher Eigenschaft eines Körpers hängt sein Auftrieb in einem Fluid ab? **(0,5 Punkte)**
- f) Skizzieren Sie in einem Diagramm die Resonanzkurve $A(\omega)$ einer gedämpften harmonischen Schwingung mit Eigenfrequenz ω_0 , die periodisch von außen mit der Kreisfrequenz ω angeregt wird. Beschriften Sie die Achsen des Diagramms. **(1 Punkt)**
- g) Skizzieren Sie die Weltlinien eines ruhenden Objekts sowie eines Objekts, das sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt. **(1 Punkt)**

Aufgabe 2: Skischanze

(6,5 Punkte)

Wir betrachten im Folgenden den Sprung von einer Skisprungschanze der Höhe h und die darauf folgende Landung auf einer Landebahn, siehe die Abbildung unten. Die Schanze befindet sich an der Erdoberfläche (Gravitationsbeschleunigung $\vec{g}$). Das Ende der Schanze verläuft parallel zur Erdoberfläche und der Absprungpunkt ist durch ① gekennzeichnet. Es bietet sich an, den Ursprung des gewählten Koordinatensystems in den Absprungpunkt zu legen. Die Landebahn der Schanze grenzt direkt an den Absprungpunkt. Die Landebahn verläuft in einem Winkel von 45° zur Vertikalen. Eine Skispringerin springt zum Zeitpunkt $t = 0$ vom Absprungpunkt mit der Geschwindigkeit $\vec{v}_0$ parallel zur Erdoberfläche ab. Die Springerin landet auf der Landebahn in einem horizontalen Abstand $d_{x,1}$ und vertikalen Abstand $d_{y,1}$ vom Absprungpunkt am Punkt gekennzeichnet durch ②. Vernachlässigen Sie Luftreibung.

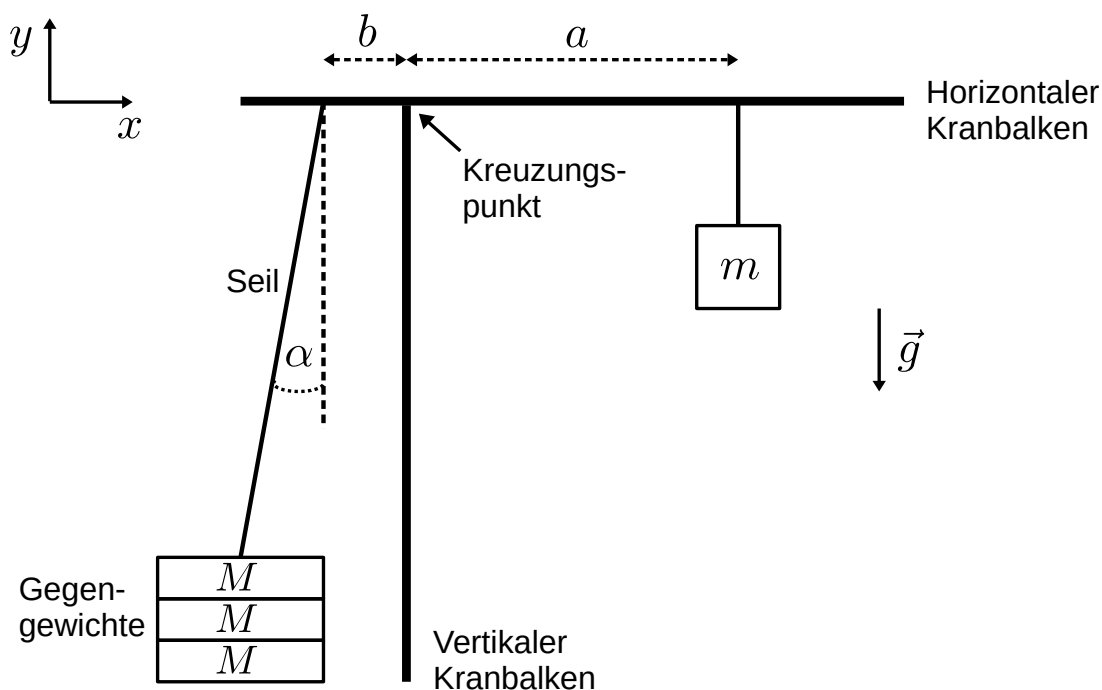


- Berechnen Sie den Betrag der Absprunggeschwindigkeit $v_0 = |\vec{v}_0|$. **(1 Punkt)**
- Stellen Sie die Bewegungsgleichung für die Flugbahn bzw. den Ort der Springerin $\vec{r}(t) = (x(t), y(t))$ als Funktion der Zeit t auf. Formulieren Sie die für die Flugbahn geltenden Anfangsbedingungen und lösen Sie die Bewegungsgleichung. **(2,0 Punkte)**
- Berechnen Sie den vertikalen Abstand d_y der Springerin vom Absprungpunkt als Funktion des horizontalen Abstands d_x der Springerin vom Absprungpunkt entlang der Flugbahn. **(1 Punkt)**
Hinweis: Verwenden Sie die Abstände d_x und d_y als *positive* Größen.
- Bestimmen Sie den horizontalen und vertikalen Abstand des Landepunkts $d_{x,1}$ und $d_{y,1}$ vom Absprungpunkt. **(1,5 Punkte)**
- Nennen Sie jeweils einen Effekt, welcher unter realen Bedingungen die Flugweite verkürzen bzw. verlängern könnte. **(1 Punkt)**

Aufgabe 3: Kran

(5 Punkte)

Gegeben sei ein Kran an der Erdoberfläche (Gravitationsbeschleunigung $\vec{g}$) bestehend aus zwei zueinander orthogonalen Balken, siehe die Abbildung unten, welcher eine Kiste der Masse m hebt. Der horizontale Balken liegt am Kreuzungspunkt auf dem vertikalen Balken auf. Der horizontale Abstand des Kreuzungspunkts zum Aufhängepunkt der Kiste ist a . Das Gegengewicht wird von drei Betonklötzen mit jeweils der Masse M , welche über ein Seil mit dem horizontalen Balken verbunden sind, aufgebracht. Die Gegengewichte sind miteinander verbunden und können als ein einziger Körper aufgefasst werden. Das Seil ist gespannt und bildet einen Winkel $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ mit der Vertikalen. Der Punkt, an welchem das Seil mit dem horizontalen Balken verbunden ist, hat den horizontalen Abstand b vom Kreuzungspunkt der beiden Balken. Die Balken selbst sind unverformbar und haben eine vernachlässigbare Masse. Weiterhin können Sie annehmen, dass der vertikale Balken fest mit dem Boden verbunden ist und sich nicht bewegen bzw. nicht rotieren kann. Das Seil ist ebenfalls undehnbar und dessen Masse kann vernachlässigt werden.



- a) Berechnen Sie den Betrag der Kraft $F_S = |\vec{F}_S|$, welche das Seil auf den horizontalen Balken ausüben muss, damit der Kran stabil bleibt. **(2,0 Punkte)**

Hinweis: $\sin(90^\circ - \alpha) = -\cos(\alpha)$

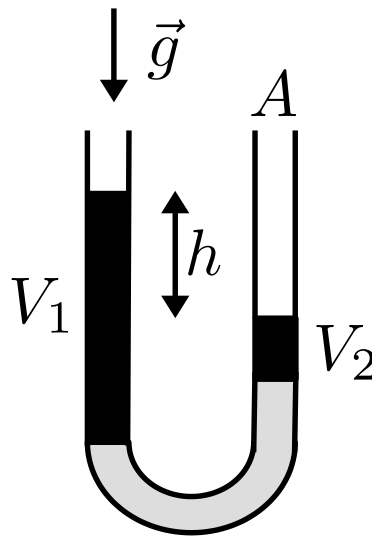
- b) Berechnen Sie die Kraft $\vec{F}_K$, welche der vertikale Balken am Kreuzungspunkt auf den horizontalen Balken aufbringt. **(1,5 Punkte)**
- c) Wie groß muss die Masse M mindestens sein, damit das Gegengewicht in dessen Ruhezustand verbleibt? Nehmen Sie hierfür an, dass die Unterlage, auf welcher das Gegengewicht ruht, einen Haftreibungskoeffizienten $\mu_H > 0$ hat. **(1,5 Punkte)**

Aufgabe 4: Schweredruck

(3,5 Punkte)

Ein beiderseits offenes U-Rohr an der Erdoberfläche (Gravitationsbeschleunigung $\vec{g}$) mit der inneren Querschnittsfläche $A = 1 \text{ cm}^2$ wird zuerst mit Wasser (Dichte $\rho_W = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$) und danach auf der einen Seite mit $V_1 = 50 \text{ cm}^3$ und auf der anderen Seite mit $V_2 = 10 \text{ cm}^3$ Öl (Dichte $\rho_{\text{Öl}} = 0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$) gefüllt, siehe die Abbildung. Nehmen Sie an, dass die involvierten Flüssigkeiten inkompressibel sind.

Berechnen Sie die Niveaudifferenz h , welche sich zwischen den oberen Enden der beiden Öl-Volumina einstellt.

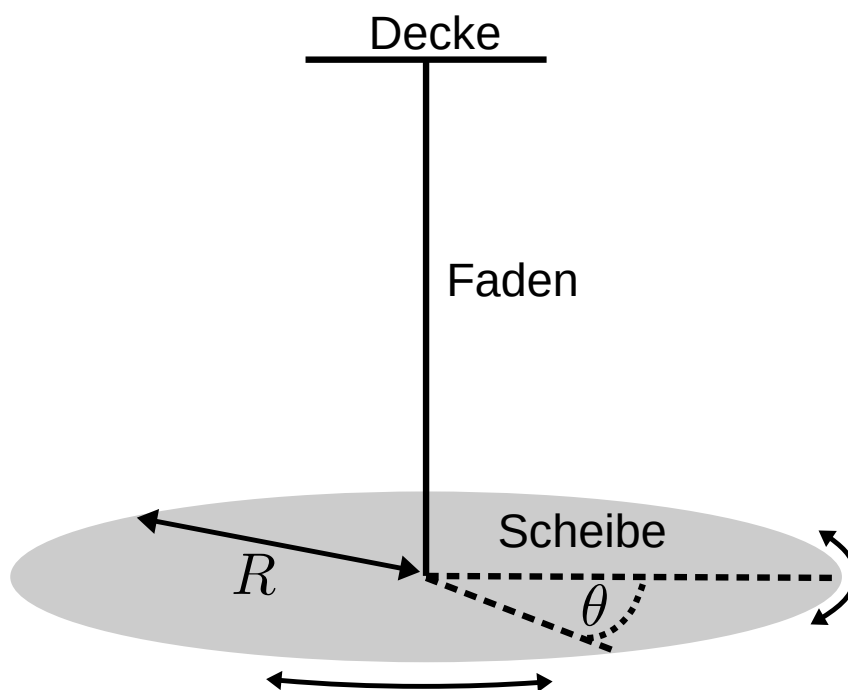


Aufgabe 5: Torsionspendel

(7 Punkte)

Gegeben sei eine homogene und isotrope kreisförmige Scheibe mit der Masse m und Radius R und vernachlässigbarer Dicke. Die Scheibe ist an ihrem Mittelpunkt über einen Faden an der Decke aufgehängt. Der Aufbau ist in der Skizze unterhalb der Aufgabenstellung gezeigt.

Zuerst befinde sich die Scheibe in ihrem Ruhezustand. Nun wird die Scheibe aus ihrem Ruhezustand um einen Winkel θ_0 ausgelenkt und dann losgelassen. Dadurch beginnt die Scheibe aufgrund der Rückstellkraft des Fadens zu schwingen. Das zugehörige Rückstelldrehmoment des Fadens ist proportional zum Winkel der Auslenkung mit der Proportionalitätskonstante D , welche auch „Direktionsmoment“ genannt wird. Für die Beschreibung der Bewegung der Scheibe in Abhängigkeit von der Zeit t wird im Folgenden der Winkel $\theta(t)$ verwendet, welcher die Abweichung von der Ruhelage repräsentiert.



- Leiten Sie das Trägheitsmoment der Scheibe bezüglich einer Rotationsachse, welche senkrecht zur Scheibe steht und durch deren Mittelpunkt verläuft, her. **(1 Punkt)**
- Zeigen Sie, dass die Bewegungsgleichung für den Winkel $\theta(t)$ durch

$$\ddot{\theta} + \frac{D}{I} \theta = 0$$

gegeben ist, wobei I das Trägheitsmoment der Scheibe aus Aufgabenteil a) ist. **(1,5 Punkte)**

- Berechnen Sie die Periodendauer T der Schwingung der Scheibe. **(1 Punkt)**
- Geben Sie die Lösung der Bewegungsgleichung für den Winkel $\theta(t)$ an. Nehmen Sie hierbei an, dass der Zeitpunkt, zu welchem die Scheibe losgelassen wird, durch $t = 0$ beschrieben ist, also $\theta(0) = \theta_0$ und $\dot{\theta}(0) = 0$ mit $\dot{\theta}(t) = \frac{d}{dt}\theta(t)$. **(1 Punkt)**

- e) Berechnen Sie den Betrag der Winkelgeschwindigkeit $|\dot{\theta}_{\theta_0/2}|$ des Torsionspendels im Auslenkungszustand $\theta = \theta_0/2$. **(2,5 Punkte)**

Hinweise:

$$\cos\left(\frac{\pi}{3}\right) = \frac{1}{2}$$

$$\sin\left(\frac{\pi}{3}\right) = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

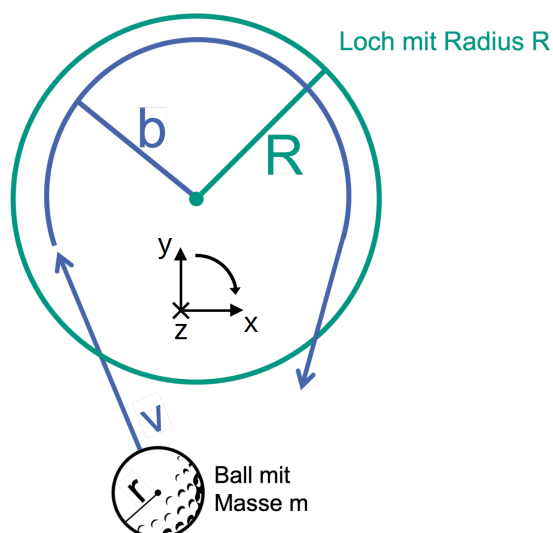
Aufgabe 6: Tigers letzter Schlag: Das große Finale

(6 Punkte)

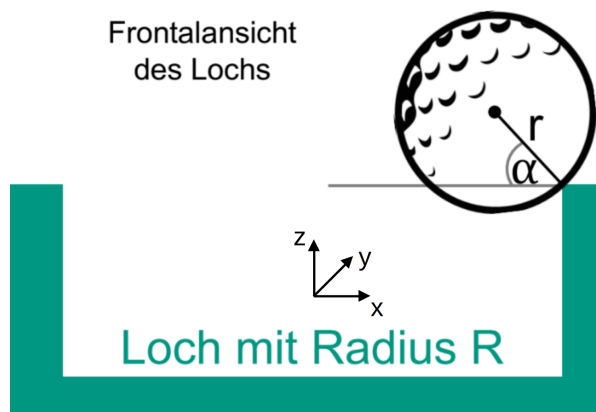
Tiger Woods hat mit Hilfe Ihrer Berechnungen in den Übungen den Golfball bis kurz vor das Loch gespielt. Um diese Veranstaltung zu beenden, fehlt nur noch der letzte Schlag: das finale Einlochen ähnlich zum Minigolf. Für die Betrachtung möchte Tiger wissen, in welchem Abstand b von der Lochmitte entfernt, der Ball mit welcher Geschwindigkeit v an der Lochkante ankommen darf, so dass es nicht zum sogenannten „Lip out“ kommt. Beim „Lip out“ läuft der Ball einmal die runde Lochkante im Kreisbogen entlang, fällt allerdings *nicht* in das Loch hinein und kommt wieder zurück. Nehmen Sie im Folgenden an, dass der Ball reibungsfrei gleitet bzw. rutscht und keine Eigenrotation (der Ball rollt also nicht) erfährt.

Wir beschäftigen uns zunächst mit einer Kreisbewegung des Balles um den Mittelpunkt des Lochs entlang dessen Kante. Betrachten Sie zur Verdeutlichung des „Lip Out“ Vorgangs die linke der beiden folgenden Abbildungen:

Ansicht aus Vogelperspektive auf das Loch



Frontalansicht des Lochs



Nutzen Sie im Folgenden ein Bezugssystem, dessen Ursprung sich im Mittelpunkt des Lochs befindet und dessen Achsen mit der Kreisbewegung des Balles mitrotieren (der Ursprung des in die Abbildungen eingezeichneten Bezugssystems ist der Sichtbarkeit halber vom Mittelpunkt des Lochs verschoben). Dann kann der Golfball als starrer Körper betrachtet werden, welcher auf der Kante balanciert. Betrachten Sie zur Verdeutlichung die rechte Abbildung. Der Winkel α ist der eingeschlossene Winkel der Horizontalen mit dem Radius des Balles zur Ballmitte am Punkt der Lochkante.

- Überlegen Sie sich, welche Kräfte und daraus resultierenden Drehmomente in der Situation bzw. diesem Bezugssystem wirken. (**1 Punkt**)
- Sie können die Situation in drei Szenarien einteilen:
 - Der Ball gleitet (wegen vernachlässigter Reibung) für immer in Form der Kreisbewegung entlang der Kante.

- ii) Der Ball rollt in das Loch hinein.
- iii) Der Ball rollt aus dem Loch hinaus („Lip out“).

Überlegen Sie, was die drei Szenarien für den Ball in unserem Bezugssystem bedeuten. Was muss dann für die involvierten Drehmomente in den drei Szenarien gelten? **(1,5 Punkte)**

- c) Bestimmen Sie die charakteristische Geschwindigkeit v' des Golfballes, welche die drei Szenarien trennt, also

$$\begin{aligned}v > v' &: \text{ „Lip out“} \\v = v' &: \text{ „unendliche“ Kreisbewegung} \\v < v' &: \text{ Ball fällt hinein,}\end{aligned}$$

als Funktion des Abstands vom Lochmittelpunkt b und des Winkels α . **(2,5 Punkte)**

- d) Berechnen Sie die charakteristische Geschwindigkeit v' für einen konkreten Fall mit einem Lochdurchmesser von 10 cm, einem Ballradius von $r = \sqrt{2}$ cm, einem Winkel $\alpha = 45^\circ$ und einer Erdbeschleunigung von $g = 10 \text{ m/s}^2$. **(1 Punkt)**

Hinweise:

$$\sqrt{0,4} \approx 0.6$$

$$\sin(45^\circ) = \cos(45^\circ) = \frac{1}{\sqrt{2}}$$