



Heften Sie die Blätter zur Abgabe zusammen und tragen Sie auf jedem Blatt den Nachnamen Ihres Tutors und Ihre Namen ein. Auf das erste Blatt schreiben Sie bitte die kompletten Namen und den Buchstaben Ihres Tutoriums groß in einen Kreis. Rechnen Sie die Aufgaben maximal zu dritt. Geben Sie für alle Größen eine sinnvolle Anzahl signifikanter Stellen und die richtigen physikalischen Einheiten an.

Abgabe bis Mo, 13. November, 11:15 Uhr im Erdgeschoss von Geb. 30.23 (Physikhochhaus)
 Besprechung Mi, 15. November im Tutorium
 Beratungstutorium: immer donnerstags 15:45 - 17:15 in Raum 6/2 (Physikhochhaus)

1. *Wilhelm Tell* (4 Punkte)

Der Sage nach musste Wilhelm Tell auf Befehl des Landvogts Gessler zu Altdorf einen Apfel vom Kopf seines Sohnes Walter schießen. Diese Aufgabe könnte Wilhelm Tell auf verschiedene Weisen gelöst haben. Berechnen Sie die beiden folgenden Varianten für eine Bolzengeschwindigkeit $v = 25$ m/s:

- In einer Entfernung von $d_0 = 30$ m zu seinem Sohn ging Tell in die Knie, um mit seiner Armbrust genau auf der Höhe des Apfels zu sein. Unter welchem Winkel α musste Tell den Bolzen abschießen, um den Mittelpunkt des Apfels zu treffen?
- Wie groß müsste der Abstand d gewesen sein, wenn Wilhelm Tell stehend schoss? Gehen Sie dabei davon aus, dass sich der Bolzen der Armbrust auf einer Höhe von $h_t = 1,60$ m und der Apfel auf $h_A = 1,10$ m befand. Der Abschusswinkel soll dabei dem Ergebnis aus a) entsprechen.

2. *Fahrstuhlfahrt* (3 Punkte)

Ein Obstverkäufer fährt gerne mit schnellen Fahrstühlen, weil er sein Obst nach Gewicht verkauft.

- Seine Obstkiste hat eine Masse von 20 kg. Wie schnell muss der Fahrstuhl beschleunigen damit er 30 Prozent zusätzlich verdient. Beschleunigt er dann nach unten oder oben?
- Ab welcher Beschleunigung fliegt sein Obst aus der Kiste an die Decke des Fahrstuhls?
- Der Shanghai Tower ist 632 m hoch - oberster Stock 587 m; der Fahrstuhl fährt $v = 18$ m/s (Weltrekord 2014). Angenommen der Aufzug habe eine konstante Bremsbeschleunigung. In welcher Höhe Δh unterhalb des Halts muss der Aufzug anfangen zu bremsen, damit Personen im Aufzug stets mindestens 20 % ihres Gewichts spüren?

3. *Zentripetalbeschleunigung* (4 Punkte)

Nehmen wir an, Sie messen mit den Sensoren ihres Handys die Winkelgeschwindigkeit ω und die Beschleunigung a relativ zur Erdbeschleunigung ($a = |a_{\text{tot}} - g|$). Sie befestigen das Handy in einem Abstand r zur Drehachse einer Scheibe und drehen diese mit konstanter Winkelgeschwindigkeit. Der Versuchsaufbau sei so, dass a im Rahmen der Messunsicherheit gleich der Zentripetalbeschleunigung ist. Sie wollen die Formel der Zentripetalbeschleunigung aus der Vorlesung einer experimentellen Überprüfung unterziehen, indem Sie r einmal direkt mit einem Lineal messen ($r_{\text{Lineal}} \pm \sigma_{r,\text{Lineal}}$) und zum Vergleich r indirekt aus ω und a bestimmen ($r_{\text{zentri}} \pm \sigma_{r,\text{zentri}}$).

- Schreiben Sie r als Funktion von ω und a . Wie hängt die Unsicherheit $\sigma_{r,\text{zentri}}$ von den Messunsicherheiten σ_ω und σ_a ab?
- Berechnen Sie die Unsicherheit der Differenz $\Delta = r_{\text{Lineal}} - r_{\text{zentri}}$ in Abhängigkeit aller Messunsicherheiten ($\sigma_{r,\text{Lineal}}$, σ_ω und σ_a).
- Ist die Formel aus der Vorlesung widerlegt, wenn Sie folgende Messwerte erhalten?
 $r_{\text{Lineal}} = (12,5 \pm 1,0)$ cm; $a = (41 \pm 2)$ m/s²; $\omega = (17,2 \pm 0,5)$ rad/s

4. Messung der Zentripetalbeschleunigung

(6+2 Punkte)

Führen Sie das in Aufgabe 3 beschriebene Experiment in der Praxis durch. Wir empfehlen hierfür die App 'phyphox' zu verwenden (www.phyphox.org). Achten Sie darauf, dass Sie beim Experimentieren Ihr Handy nicht beschädigen! Lesen Sie die Anleitung des Versuchs 'Zentripetalbeschleunigung', schauen Sie das Video an, und führen Sie den Versuch durch (mit einer Salatschleuder, einem Karussell oder irgendeiner anderen Drehbewegung, bei der Ihr Handy sicher ist). Sollte niemand in Ihrer Gruppe die App verwenden können und/oder Sie keinerlei Zugang zu einer geeigneten Rotation haben, dürfen Sie zur Datenerfassung gerne mit einer anderen Gruppe zusammenarbeiten, sofern Sie die Auswertung selbst vornehmen. Im Forschungsalltag der Physik ist es durchaus üblich, dass die Messdaten eines Experiments von verschiedenen Gruppen getrennt analysiert und anschließend die Ergebnisse verglichen werden.

- a) Beschreiben Sie kurz (5-10 Zeilen Handschrift), wie Sie das Experiment durchgeführt haben. Sie dürfen gerne ausführlichere Erklärungen ins Ilias-Forum posten und dort Fotos und Videos verlinken.
- b) Schätzen Sie die Unsicherheit ihres Beschleunigungssensors grob dadurch ab, dass Sie an verschiedenen Orten ihr Handy ruhig hinlegen, den Betrag der Beschleunigung messen und mit der Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ vergleichen. Je nach Handy kann der generelle Offset zu g oder das Rauschen des Beschleunigungssensors dominieren.
- c) Schätzen Sie die Unsicherheit ihres Gyroskops (Rotationsmesser) ab. Bei konstanter Rotationsgeschwindigkeit können Sie aus der Zeitdarstellung in phyphox die Schwankungen der Messungen ermitteln. Außerdem können Sie eine unabhängige Kontrollmessung durchführen, indem sie die Kreisfrequenz zusätzlich mit einer Stoppuhr und durch Zählen der Umdrehungen bestimmen (z.B. einer zählt und eine stoppt die Zeit mit einem zweiten Handy): Zählen Sie die Umdrehungen N bei annähernd konstanter Kreisfrequenz in einem Zeitraum t , der deutlich länger als ihre Reaktionszeit ist (z.B. 10 s). Wie hängt ω von N und t ab? Vergleichen Sie den errechneten Wert für ω mit dem vom Gyroskops des Handys.
- d) Bestimmen Sie r_{Lineal} und r_{zentri} sowie deren Unsicherheiten (vgl. Aufgabe 3). Zur Berechnung von r_{zentri} können Sie einen typischen Messwert aus ihrer Messreihe auswählen. Für statistische Auswertungen der Messreihe (z.B. mit dem Python-Programm aus der Vorlesung, mit Excel oder vergleichbarem) können Sie Bonuspunkte erhalten.
- e) Bestimmen Sie die Differenz $\Delta = r_{\text{Lineal}} - r_{\text{zentri}}$ und deren Unsicherheit.

Die gesamte Aufgabe soll bei normal großer Handschrift auf etwa einer, maximal zwei DIN A4 Seiten dargestellt werden. Eine genaue Bestimmung der Unsicherheiten durch Berechnung der Standardabweichungen ist nicht erforderlich (darf natürlich freiwillig gemacht werden). Schätzen Sie die Unsicherheiten einfach so ab, dass etwa 2/3 der potentiellen Wiederholungen im Unsicherheitsintervall liegen (oder nehmen Sie den durchschnittlichen Offset, falls dieser die Messgenauigkeit dominiert). Für ausführliche Texte gibt es keine Bonuspunkte, allerdings für besonders sorgfältige oder physikalisch originelle Bearbeitungen (max. 2 Bonuspunkte insgesamt inklusive Teilaufgabe d).

Veranstaltungshinweis: Am 17.+ 18.11.2017 jeweils um 20 Uhr im Gaede-Hörsaal präsentiert das Physiktheater *Einer flog über das Kuckucksnest* von Dale Wassermann. Einlass ab 19:30 - Eintritt frei.

Die Übungsblätter dürfen grundsätzlich nicht weiterverbreitet werden, weder online noch offline, weder digital noch analog.