U N I V E R S I T Ä T R E G E N S B U R G

Fakultät für Physik

Anleitung zum Anfängerpraktikum A1

1 - Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

6. überarbeitete Auflage 2022

Dr. Stephan Giglberger

Prof. Dr. Jascha Repp

Version 4. Januar 2022

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 3
1.1 Lernziele 3
1.2 Vorkenntnisse 3
2 Grundlagen 4
3 Fragen zum Versuch 4
4 Hinweise zum Versuchsaufbau 5
4.1 Freier Fall 5
4.2 Schiefe Ebene 6
4.3 Atwoodsche Fallmaschine 7
5 Aufgabenstellung 8
5.1 Freier Fall 8
5.2 Schiefe Ebene 9
5.3 Atwoodsche Fallmaschine 9

Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

1 Einleitung

Dieser Versuch besteht aus drei Teilen

1. Freier Fall
2. Schiefe Ebene
3. Atwoodsche Fallmaschine

Welchen dieser drei Teile Sie durchzuführen haben, entnehmen Sie der Gruppeneinteilung, die in den Praktikumsräumen aushängt und auf der Homepage veröffentlicht ist. In allen Teilen geht es thematisch um die gleichmäßig beschleunigte Bewegung. Sie müssen die Vorbereitungsaufgaben aller drei Versuchsteile beantworten.

1.1 Lernziele

Dieser erste reguläre Versuch beschäftigt sich mit einfachen physikalischen Inhalten, die aus Schule und Vorlesung bekannt sind.

Als Lernziele stehen nicht so sehr die physikalischen Inhalte, sondern folgende Themen im Vordergrund:

- Fehlerrechnung
- Graphische Darstellung und Auswertung von Daten
- Anforderungen an ein Versuchsprotokoll

1.2 Vorkenntnisse

Inhaltlich sollten Sie mit Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft, Kräftebilanz, Energiebilanz, Bewegungsgleichungen und deren Lösung vertraut sein.

Als Vorkenntnisse wird ferner Wissen zu den folgenden Punkte vorausgesetzt, die hier angewendet werden sollen.

- Fehlerrechnung
- Graphische Darstellung und Auswertung von Daten
- Anforderungen an ein Versuchsprotokoll

2 Grundlagen

Die physikalischen Inhalte sollten aus Schule und Vorlesung bekannt sein. Die wichtigsten Gleichungen dazu sind:

$$\vec{G} = -\vec{e}_z mg$$

wobei $\vec{G}$ die Gewichtskraft, $\vec{e}_z$ der Einheitsvektor in die vertikale Raumrichtung z, m die Masse und g die Erdbeschleunigung sind. Das Newtonsche Gesetz

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

mit der Kraft $\vec{F}$ und der Beschleunigung $\vec{a}$.

3 Fragen zum Versuch

1. Von einem geradlinig gleichmäßig beschleunigten Körper werden in gleichen Zeitabständen Markierungspunkte im ruhenden Bezugssystem angebracht. Wie viele Punkte sind zur Berechnung der Geschwindigkeit bzw. der Beschleunigung mindestens notwendig?
2. Leiten Sie die Bewegungsgleichung für den freien Fall aus der Kräftebilanz ab und lösen Sie sie.
3. Leiten Sie die Bewegungsgleichung für die schiefe Ebene aus der Kräftebilanz ab und lösen Sie diese.
4. Bestimmen Sie zum Versuchsaufbau der Atwoodsche Fallmaschine (siehe Abb. 4) die Beschleunigung a der Massen aus der Kräftebilanz. Lassen Sie das Trägheitsmoment der Rolle unberücksichtigt; dies wird in Versuch 4 ausführlich behandelt.
5. Berechnen Sie aus der Beschleunigung a den Ort $x(t)$ als Funktion der Zeit t und geben Sie die Größe C in der Beziehung $x = Ct^2$ an. Lösen Sie den Ausdruck für C nach der Erdbeschleunigung g auf.
6. Die Reibung und das Trägheitsmoment der Umlenkrolle wurden vernachlässigt. Erklären Sie für beide Effekte qualitativ, wie diese in den Bewegungsgleichungen berücksichtigt werden

könnten. Unter welchen Umständen bliebe die Beziehung Beziehung $x = Ct^2$ korrekt, und müsste lediglich der Ausdruck für C angepasst werden?

4 Hinweise zum Versuchsaufbau

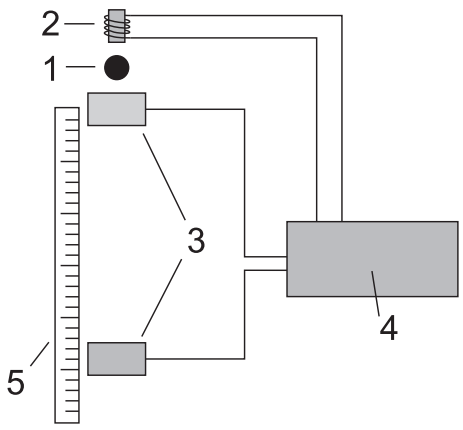
Für den Versuchsteil der schiefen Ebene wird ein Laser zur Detektion verwendet. Auch die anderen beiden Versuchsteile finden im gleichen Raum statt, daher gelten die folgenden Warnhinweise für alle Anwesenden:

VORSICHT!

Laser kann Augenschäden hervorrufen!
Nie in Richtung des Laserstrahls blicken!
Die aufgebaute Schiene nicht bewegen!
Die Halterung des Lasers und sonstiger optischer Elemente nicht berühren!
Beim Bewegen des Schlittens per Hand darauf achten, daß weder die Plexiglasschiene noch die Optik berührt wird!
Beim Verstellen der Neigung der Luftschiene darauf achten, daß die Justierung des Lasers nicht verstellt wird!

4.1 Freier Fall

Zur Messung stehen zwei unterschiedliche Aufbauten zur Verfügung, die beide genutzt werden sollen: eine große Vorrichtung zur manuellen Messung und eine kleinere Apparatur zur elektronischen



1) Fallende Kugel
2) Elektromagnet
3) Halterung
4) Steuereinheit
5) Maßstab

Abbildung 1: Schema der großen Fallapparatur

Messung:

1. Große Fallapparatur (Abb.1)
   Ein Elektromagnet (2) hält eine Stahlkugel (1) fest, bis an der Steuereinheit (4) ein entsprechender Taster den Fall auslöst. Die Fallhöhe wird mit den verschiebbaren Halterungen (3) eingestellt und am Maßstab (5) abgelesen, die Fallzeiten mit der Stoppuhr gemessen.

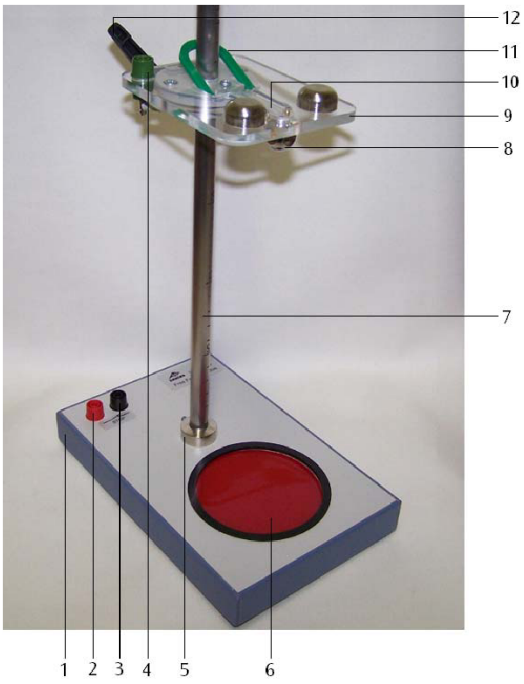
2. Kleine Fallapparatur (Abb.2)
   Die kleinere Fallapparatur verfügt über eine elektronische Zeitmessung. Sie wird durch den Auslösebügel der Kugel gestartet und durch den Aufprall der Kugel gestoppt.

4.2 Schiefe Ebene

Komponenten: Luftkissenschiene, Schlitten, Laser, Auswerteelektronik, x-y-Schreiber

Die Luftschiene (siehe Abb. 3) besteht aus einer Dreikantschiene mit vielen kleinen Bohrungen durch die Luft ausströmt. So entsteht zwischen Schiene und Schlitten ein Luftkissen. Die Luftschiene ist horizontal justiert, wenn sich der Schlitten nicht mehr bewegt.

Die Messung der Geschwindigkeit des Schlittens erfolgt mit Hilfe eines Lasers. Dazu ist parallel zur Luftschiene eine Schiene aus durchsichtigem Plexiglas angebracht, die periodisch mit undurchsichtigen Metallstreifen versehen ist. Der Laserstrahl verläuft parallel zur Luftschiene und wird durch



1 Grundplatte
2 Buchse Stoppsignal
3 Buchse Masse
4 Buchse Startsignal
5 Stabaufnahme mit Fixierung
6 Auffangplatte
7 Stativsäule mit Skala
8 Stahlkugel
9 Startkonsole mit Auslöser
10 Haltezunge mit Magnet
11 Auslösebügel
12 Arretierung

Abbildung 2: Schema der kleinen Fallapparatur

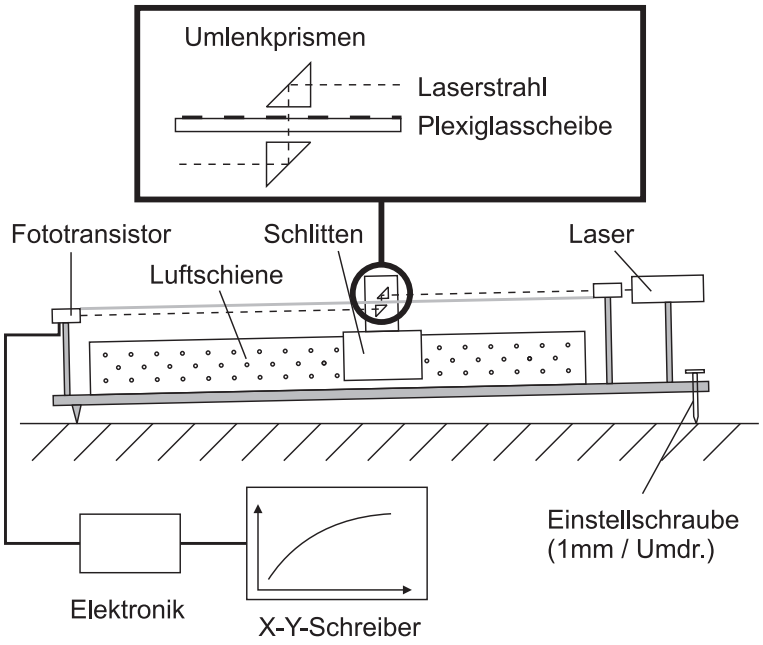


Abbildung 3: Versuchsaufbau der schiefen Ebene: Luftschiene mit optischer Geschwindigkeitsmessung

das obere Glasprisma am Aufbau des Schlittens nach unten durch die Plexiglasschiene gelenkt. Ein weiteres Prisma lenkt den Strahl wieder parallel zur Luftschiene um, so dass er am Ende der Luftschiene auf einen Phototransistor trifft. Ein Phototransistor ist nur dann elektrisch leitend, wenn Licht auf ihn fällt.

Bewegt sich der Schlitten, wird der Laserstrahl periodisch durch die undurchsichtigen Metallstreifen unterbrochen. Der Phototransistor setzt diese periodischen Lichtblitze in Spannungspulse um, deren Frequenz somit proportional zur Geschwindigkeit v des Schlittens ist. Dieses Signal wird elektronisch in eine Gleichspannung gewandelt, die proportional zur Frequenz und damit zur Geschwindigkeit v ist. Diese Gleichspannung wird auf die y-Ablenkung eines x-y-Schreiber gegeben. Die y-Ablenkung ist also auch proportional zur Geschwindigkeit v des Schlittens. Die Plexiglasschienen haben 19 Striche auf 3 cm Länge und der Frequenz-Gleichspannungswandler erzeugt 50 mV pro Hertz. Die Empfindlichkeit der y-Ablenkung am Schreiber ist einstellbar und kann dort abgelesen werden.

4.3 Atwoodsche Fallmaschine

Über einer leicht drehbaren Rolle hängt ein Faden, an dessen Enden zwei gleiche Massen M befestigt sind. Unter dem Einfluss der Zusatzmasse m setzt sich das System in Bewegung. Die Zeiten werden mit einer Stoppuhr gemessen, die Wege an dem Maßstab abgelesen.

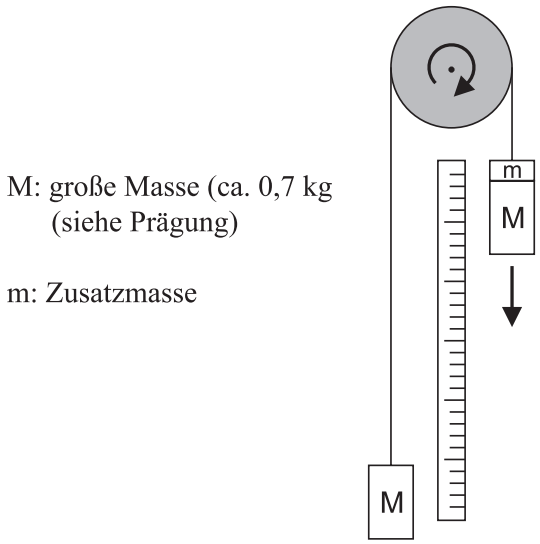


Abbildung 4: Atwoodsche Fallmaschine

5 Aufgabenstellung

In allen drei Versuchsteilen wird die gleichmäßig beschleunigte Bewegung eines Körpers durch Gewichtskräfte im Schwerefeld der Erde quantitativ untersucht. Ziel aller drei Versuchsteile ist es, aus den gewonnenen Daten die örtliche Erdbeschleunigung g zu bestimmen.

Am Ende Ihres jeweiligen Versuchsteiles sollen Sie jeweils Ihren experimentell bestimmten Wert von g mit dem Literaturwert für Regensburg $9,8088 \pm 0{,}0001$ m/s^2 vergleichen. Ist die Übereinstimmung gut?

Ganz am Ende des Versuches sollten Sie gruppenübergreifend die Messunsicherheiten, die bei den drei Versuchsteilen erzielt werden konnten, vergleichen. Welche Apparatur konnte die genauesten Ergebnisse erzielen? Überlegen Sie, woran das liegt, und halten Sie diese Diskussion kurz im Protokoll fest.

5.1 Freier Fall

Führen Sie die folgenden Aufgaben mit beiden zur Verfügung stehenden Aufbauten durch.

Die Fallzeit t ist für einen möglichst großen Bereich von Fallstrecken x zu messen. Messen Sie die Fallzeit für jede Fallstrecke mindestens 4 mal. Schätzen Sie die Fehler Δt und Δx für beide Aufbauten separat ab. Das Ergebnis ist graphisch darzustellen (geeignete Auftragung mit Fehlerbalken!). Sie sehen an der Darstellung leicht, für welche Fallstrecken evtl. noch zusätzliche Messpunkte nützlich sind.

Überlegen Sie, bei welchen Fallstrecken die Messgenauigkeit am größten ist und führen Sie für diese ggf. noch Zusatzmessungen aus.

Bestimmen Sie aus der graphischen Darstellung die Erdbeschleunigung g und geben Sie den statistischen Fehler an. Diskutieren Sie mögliche systematischen Fehler.

Vergleichen mit dem Literaturwert.

5.2 Schiefe Ebene

Zusätzlich zur Untersuchung der gleichmäßig beschleunigten Bewegung und der Bestimmung der Erdbeschleunigung wie in den anderen Versuchsteilen soll in diesem Versuchsteil das Gesetz der schiefen Ebene verifiziert werden.

Justieren Sie die Luftschiene horizontal und schätzen die Genauigkeit ab, mit der dies möglich ist. Messen Sie mindestens 4 mal bei festem Neigungswinkel α der Luftschiene das dazugehörige v-t-Diagramm und bestimmen Sie daraus die Beschleunigung a des Schlittens. Errechnen Sie aus dem erhaltenen Wert und dem Neigungswinkel α die Erdbeschleunigung g. Führen Sie eine Fehlerbetrachtung durch. Bestimmen Sie dazu die Fehler Δa, $\Delta\alpha$ und Δg. Vergleichen Sie Ihren gemessenen Wert von g mit dem Literaturwert für Regensburg. Ist die Übereinstimmung gut?

Tragen Sie nun die oben bestimmten Beschleunigungen a für verschiedene Neigungswinkel α in geeigneter Form graphisch auf. Tragen Sie Fehlerbalken ein und bestimmen Sie aus der graphischen Darstellung die Erdbeschleunigung g mit Fehler.

5.3 Atwoodsche Fallmaschine

1. Messen Sie mit einer Zusatzmasse $m = 20\,\mathrm{g}$ für sechs verschiedene Fallhöhen x die Fallzeit t mit einer normalen Stoppuhr. Bestimmen Sie die Fallzeit für jede Fallhöhe mindestens 5 mal.

2. Stellen Sie die Messwerte in geeigneter Weise graphisch dar und bestimmen Sie die Größe C in der Beziehung $x = Ct^2$. Geben Sie die Fehler Δx, Δt und ΔC an. Berechnen Sie den theoretisch erwarteten Wert für C, indem Sie die Erdbeschleunigung als bekannt voraussetzen. Vergleichen Sie diesen mit dem Ergebnis Ihrer Messung. Bestimmen Sie nun umgekehrt aus Ihrem experimentellen Wert für C die Erdbeschleunigung g und vergleichen Sie diesen mit dem Wert für Regensburg. Diskutieren Sie die Übereinstimmung bzw. die Abweichung.

3. Wiederholen Sie die Messaufgaben 1 und 2 mit der elektronischen Stoppuhr. Messen Sie für dieselben sechs Fallhöhen die Fallzeit nur jeweils einmal. Führen Sie bei den Messungen mit der elektronischen Stoppuhr aus Zeitgründen keine Fehlerbetrachtung durch. Verwenden Sie bei diesen Messungen einen Fehler von $\pm 1\,\%$ für C.

4. Messen Sie die Beschleunigung a in Abhängigkeit von m (verwenden Sie nur Massen von $20 \leq m \leq 50$ g). Verwenden Sie nur die elektronische Stoppuhr. Es genügt, die Zeiten einmal für eine bestimmte Fallhöhe zu messen. Überlegen Sie welche Fallhöhe sinnvoll ist. Tragen Sie a gegen

m auf. Bestimmen Sie die Steigung S und den Achsenabschnitt a_0 auf der a-Achse. Nehmen Sie für S einen Fehler von 2% und für a_0 einen Fehler von 10% an. Der Achsenabschnitt a_0 wird in Aufgabe (e) verwendet. Vergleichen Sie das Ergebnis für die Steigung mit dem von Ihnen erwarteten Wert gemäß Ihrer Vorbereitung (Fragen in Abschnitt 3). Da $m \ll M$ ist, können Sie eine gewisse Vereinfachung machen. Überlegen Sie, wie stark der systematische Fehler ist, der durch diese Vereinfachung zustande kommt und ob er ins Gewicht fällt.

5. Bei der Deformation des Fadens auf beiden Seiten der Umlenkrolle sowie im Kugellager tritt Reibung auf. Vereinfachend kann man annehmen, dass die damit verbundene Reibungskraft F_R geschwindigkeitsunabhängig und proportional zur Anpresskraft F_N sei, wobei hier letztere der Gewichtskraft der Massen entspricht. Es sei also $F_R = \mu F_N$; mit dem Reibungskoeffizienten μ. Die Reibung wirkt sich sowohl auf die Bestimmung der Erdbeschleunigung (Aufgabe 1 bis 3) als auch auf den Zusammenhang zwischen der Beschleunigung a und der Masse m (Aufgabe 4) aus. Die unten angegebenen Gleichungen werden später in Versuch 4 hergeleitet.

   Man kann zeigen, dass für den Achsenabschnitt $a_0 = -\mu g$ gilt und sich die geschwindigkeitsunabhängige Reibung nicht auf die Steigung S auswirkt. Bestimmen Sie den Reibungskoeffizienten μ aus dem gemessenen Achsenabschnitt a_0. (Für die Reibung von Stahl auf Stahl im Trockenen findet man übrigens $\mu \simeq 0{,}1$) Unter Berücksichtigung der Reibung kann ferner die Erdbeschleunigung g aus dem Wert von C aus Aufgabe 3 folgendermaßen berechnet werden:

$$g = \frac{2C}{\frac{m}{2M+m} - \mu}.$$

   Verwenden Sie für die Berechnung den Wert des Reibungskoeffizienten μ, den Sie aus dem Achsenabschnitt a_0 bestimmt haben. Berechnen Sie die Erdbeschleunigung unter Berücksichtigung der Reibung und vergleichen Sie sowohl mit dem in Aufgabe 3 bestimmten Wert ohne Reibung als auch mit dem Wert für Regensburg. Führen Sie eine Fehlerbetrachtung durch.