Alles was fallen kann, fällt [oder auch nicht]

Freihandversuche 19 10 01

Kittel Matthias
9502020
kittel@astro.univie.ac.at

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1 Luftwiderstand I

Um die Auswirkungen des Lufwiderstandes bei Fallbewegungen zu demonstrieren, wird ein handelsübliches A4-Blatt Papier auf unterschiedliche Weise fallen gelassen. Lässt man das Blatt mit der Kante Richtung Boden fallen, tut es dies ohne ersichtlichen Widerstand in einer nahezu geraden Linie. Lässt man es mit der Fläche Richtung Boden los, fällt es in einer komplizierten, chaotischen Art und Weise, die stark von der Haltung des Blattes (eben, durchgebogen, waagerecht) vor dem Loslassen abhängig ist. Diese nicht vorausschaubare Fallweise wird durch den Luftwiderstand des Blattes bestimmt und ist besonders anfällig für Änderungen der Anfangsbedingungen vor dem Loslassen. Weiters spielen bei der Fallbewegung thermische Inhomogenitäten der Luft sowie Wirbelbildung um das Blatt eine Rolle, die die Fallbewegung zusätzlich modifizieren können.

2 Luftwiderstand III

Bei diesem Versuch werden verschiedene Kegel in unterschiedliche Weise aus einer vorgegebenen Höhe fallen gelassen und das Flugverhalten studiert. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten, die Kegel fallen zu lassen: mit der *Spitze nach unten* oder der *Spitze nach oben*. Die Antworten zu der Aufgabenstellung sind unter den Punkten **3.1** bis **3.2** beschrieben. Die Höhe und der Durchmesser der Kegel werden in *Tabelle 1* angegeben.

Kegel	Durchmesser [cm]	Höhe [cm]
1	19	4.5
2	19	5
3	14.5	3
4	13	2
5	9.5	1.5

Tabelle 1: Kegel - Kenngrößen

Um nun den Luftwiderstandsbeiwert, den c_w-Wert, berechnen zu können, müssen verschiedene Größen wie Fläche, Masse und Fallgeschwindigkeit berechnet, abgeschätzt oder gemessen werden. All diese Größen sind in *Tabelle 2* angegeben. Darüberhinaus sind die Werte aus obiger Tabelle in SI-Einheiten umgewandelt aufgelistet.

Kegel	Radius [m]	Fläche [m^2]	Masse [kg]	Fallgeschwindigkeit [ms^{-1}]
1	0.095	0.0284	0.005	1.30/1.02
2	0.095	0.0284	0.005	1.23/1.04
3	0.0725	0.0165	0.00382	1.15/0.96
4	0.065	0.0133	0.00342	0.82/0.80
5	0.0475	0.00709	0.0025	1.26/1.02

Tabelle 2: Kegel - Messergebnisse

In der letzten Spalte sind für die Geschwindigkeit zwei Werte angegeben. Der erste bezieht sich auf den Fall *Spitze nach unten*, der zweite auf *Spitze nach oben*.
Der Durchmesser wurde mittels Maßband und daraus der Radius bestimmt. Die Fläche wurde im Querschnitt als Kreis angenommen und mit $A = r^2\pi$ berechnet. Die Masse des ersten Kegels wurde im Vergleich mit einem Tischtennisball (5

Gramm) als etwa gleich abgeschätzt. Das Verhältnis der Querschnittsflächen der Kegel 2 bis 5 zur Querschnittsfläche von Kegel 1 entspricht den Masseverhältnissen der Kegel 2 bis 5 zu Kegel 1. Diese Abschätzung ist nur ungefähr, da die Kegel aus unterschiedlichen Materialien gefertigt sind und unterschiedliche Höhen haben.
Alle Kegel werden aus 1.5 Meter Höhe fallen gelassen. Da die Kegel nach kurzer Fallzeit schon Endgeschwindigkeit erreicht haben, kann diese mittels Fallhöhe durch Endgeschwindigkeit abgeschätzt werden. Aufgrund der geringen Fallzeiten ist dieser Faktor allerdings stark fehlerbehaftet.

3.1: Folgende Kraft wirkt auf den Kegel: die Erdanziehung modifiziert durch einen Reibungsterm, in den der Lufwiderstand eingeht.

$$F = ma = mg - \frac{1}{2}\rho c_w v^2 A \tag{1}$$

3.2: Werden die Kegel verkehrt (*Spitze nach oben*) gehalten und dann losgelassen, fallen sie in chaotischer, turbulenter Weise zu Boden. Diese instabile Fallweise kommt dadurch zustande, dass sich an den Kegelrändern (Hohlseite) Wirbel bilden, der Schwerpunkt des Kegels aber näher bei der Spitze liegt, der sich in diesem Fall überhalb der Wirbelzone befindet. Beim Fall *Spitze nach unten* befindet sich der Schwerpunkt unterhalb der Wirbelbildungszone, deshalb fällt der Kegel relativ stabil zu Boden.

3.3: Dass die Behinderung des Fallkegels proportional zu v^2 ist, lässt sich experimentell zeigen, indem man in den Kegel eine unterschiedliche Anzahl von kleiners Gegenständen (Büroklammern) legt und die Kenndaene der Fallbewegung misst und vergleicht.

3.4: Aus Gleichung 1 lässt sich unter einigen Annahmen der c_w-Wert bestimmen.

$$ma = mg - \frac{1}{2}\rho c_w v^2 A \tag{2}$$

$$\Rightarrow c_w = \frac{2m(g-a)}{\rho A v^2} \tag{3}$$

Nach circa 10 bis 20 cm Fallzeit ist die Beschleunigung a gleich Null.
Nun lässt sich der c_w-Wert annäherungsweise berechnen. Mit den Daten aus *Tabelle 2* kommt man zu folgenden c_w-Werten:

Kegel	c_w-Wert
1	1.7/2.8
2	1.9/2.7
3	2.9/4.2
4	6.4/6.7
5	3.8/5.7

Tabelle 3: berechnete c_w-Werte

Aus diesen Werten lässt sich herauslesen, dass der c_w-Wert generell größer ist, wenn die Spitze des Fallkegels nach oben zeigt. Laut *Demtröder: Experimentalphysik 1, Springer 1994* lautet der c_w-Wert für die Kugel **0.4**, die kreisrunde Scheibe **1.2** und die hohle Halbkugel **1.4**. Für den Fall *Spitze nach unten* ist der c_w-Wert laut diesen Berechnungen für die Kegel 1 und 2 0.5 beziehungsweise 0.7 zu hoch, was für die getätigten Annahmen eine gute Näherung darstellt. Für den Fall SSpitze nach obenßind die Werte um cirka 1 zu groß, was eine akzeptable Genauigkeit darstellt. Die anderen berechneten Werte liegen zwar noch in derselben Größenordnung, sind aber bei weitem zu hoch. Neben der Massenabschätzung ist es hier vor allem die ungenaue Geschwindigkeitsmessung, die zu diesen Abweichungen führt.

3 Der "Doppel-Ball"

Die Masse de Tischtennisballes wird mit 5 Gramm geschätzt, die Masse des Flummis wird mit einer 2N-Federwaage zu 54 Gramm bestimmt. Der "Doppel-Ball"wird aus einer Höhe von 1.5 Metern fallen gelassen.
Die beiden Bälle fallen noch immer verbunden senkrecht zu Boden, nach dem Aufprall springen beide Bälle senkrecht in die Höhe, wobei der Tischtennisball jedesmal eine größere Höhe als der Flummi erreicht.
Der elastische Stoß wird durch die Impuls- und Energieerhaltung bestimmt, alle auftretenden Verformungen werden nach dem Stoß sofort wieder in Bewegungsenergie umgewandelt. Diese Vorgaben stehen im Gegensatz zum unelastischen Stoß, bei dem eine auftretende Verformung dauerhaften Charakter hat, es eine Energieumwandlung zum Beispiel in Wärme gibt.
Um auf die Art des hier vorkommenden Stoßes zu schließen, werden die Energieals auch die Impulsbilanz vor und nach dem Stoß berechnet und verglichen.

Impuls:

$$(m_{TT} + m_F) * v_{ges} = m_{TT} * v_{TT} + m_F * v_F \tag{4}$$

Energie:

$$\frac{1}{2} * (m_{TT} + m_F) * v_{ges}^2 = \frac{1}{2} * m_{TT} * v_{TT}^2 + \frac{1}{2} * m_F * v_F^2 \tag{5}$$

Der Index $_{TT}$ bezieht sich auf den Tischtennisball, $_F$ auf den Flummi, v_{ges} ist die Geschwindigkeit des *Doppel-Ball*es vor dem Stoß.
In diesem Fall lässt sich die Geschwindigkeit mit $\sqrt{2gh}$ abschätzen (freier Fall):

$$s = \frac{1}{2}gt^2, v = gt \Rightarrow v = g\sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{2sg} \tag{6}$$

Messungen: Tischtennisball springt 2.4 Meter, Flummi 0.9 Meter hoch

Impuls vor dem Stoß:

$$(0.054 + 0.005) * \sqrt{2 * 10 * 1.5} \sim 0.059 * 5.5 \sim 0.323 \quad kgms^{-1}$$

Impuls nach dem Stoß:

$$0.005 * \sqrt{2 * 10 * 2.4} + 0.054 * \sqrt{2 * 10 * 0.9} \sim 0.0346 + 0.229 \sim 0.264 \quad kgms^{-1}$$

Energie vor dem Stoß:

$$0.5 * (0.054 + 0.005) * (\sqrt{2 * 10 * 1.5})^2 \sim 0.5 * 0.059 * 30 \sim 0.885 \quad J$$

Energie nach dem Stoß:

$$0.5 * 0.005 * (\sqrt{2 * 10 * 2.4})^2 + 0.5 * 0.054 * (\sqrt{2 * 10 * 0.9})^2 \sim 0.12 + 0.486 \sim 0.606 \quad J$$

Die Geschwindigkeit des Tischtennisballes nach dem Aufschlag hängt von der Anfangsgeschwindigkeit des *Doppel-Ball*es, dem Material der zwei Bälle, der Bodenbeschaffenheit und dem Einfallswinkel ab.
Die Bestimmung dieser Geschwindigkeit lässt sich nun über die Impuls- beziehungsweise Energieerhaltung durchführen, da obige Abschätzungen auf einen annähernd elastischen Stoß schließen lassen. Die Ungenauigkeiten lassen sich zum Großteil auf die Abschätzung und Messungenauigkeiten zurückführen.

Folgende Werte der Geschwindigkeit des Tischtennisballes wurden berechnet:

Geschwindigkeit aus der Impulserhaltung $\Rightarrow v = 12.6\ ms^{-1}$
Geschwindigkeit aus der Energieerhaltung $\Rightarrow v = 18.8\ ms^{-1}$
Abschätzung aus $\sqrt{2gh} \Rightarrow v = 6.9\ ms^{-1}$
Mittelwert der drei Berechnungen: $\Rightarrow v = 12.77\ ms^{-1}$
Der Mittelwert gibt eine realistische Geschwindigkeit des Tischtennisballes wider.

4 "Die Ballpfeife"

Der Ball hält sich im Luftstrom weil der Auftrieb die Erdanziehung aufhebt. Diese Anordnung ist relativ stabil, weil der Ball aufgrund von Druckkräften immer der Mitte des Föns zustrebt. Wenn sich der Ball seitlich aus dem Luftstrom bewegt, ist die Strömungsgeschwindigkeit in der Mitte des Föns höher, dadurch der Druck niedriger und es resultiert eine Kraft in Richtung Fönmitte.
Da sich überhalb des Tischtennisballes kein weiteres Objekt befindet, ist die Luftströmung annähernd laminar, was zur Stabilität weiter beiträgt.
Bringt man überhalb des Balles einen weiteren Ball in den Luftstrom ein, wird die Strömung turbulent und mindestens ein Ball aus dem Luftstrom herausgeworfen. Gleichzeitig mit zwei Bällen im Luftstrom zu starten, ist nicht möglich, da der Querschnitt des Luftstroms nicht groß genug ist. Weiters wird angenommen, dass der Magnus-Effekt bei diesem Experiment zu tragen kommt.

5 Bestimmung der Fallbeschleunigung

Um die Fallbeschleunigung zu bestimmen, werden zwei untschiedlich schwere Gewichte über eine feste Rolle mit einer Schnur verbunden. Die Unterschiede zwischen den beiden Massen sollte im Bereich von 5 bis 20 Gramm liegen, weil sonst die auftretenden Geschwindigkeiten zu großwerden würden und damit die Messung unmöglich. Der Massenunterschied beshleunigt nun die größere in Richtung Boden. Aus Formel 7 lässt sich nun mit der gemessenen Höhe und der gestoppten Fallzeit die Fallbeschleunigung berechnen.

$$\triangle mg = a(\triangle m + 2m) \tag{7}$$

$$\Rightarrow g = \frac{a(\triangle m + 2m)}{\triangle m} \tag{8}$$

Die Beschleunigung wird aus

$$a = \frac{2s}{t^2} \tag{9}$$

bestimmt.

Die Fallhöhe beträgt: $s = 0.81\ m$
Für die Massenunterschiede von 10 und 20 Gramm wird nun die Fallbeschleunigung

bestimmt:

$$t(\triangle m = 10 Gramm) = 2.5 Sekunden, a(10) = 0.259 \quad ms^{-1}$$
$$\Rightarrow g(10) \sim 8.0 \quad ms^{-2} \tag{10}$$

$$t(\triangle m = 20 Gramm) = 1.88 Sekunden, a(20) = 0.458 \quad ms^{-1}$$
$$\Rightarrow g(20) \sim 7.3 \quad ms^{-2} \tag{11}$$

Der hier berechnete Wert der Fallbeschleunigung ist auf Grund der Messnungenauigkeit mehr als akzeptabel, da die Zeitmessung per Hand gemacht wurde und dadurch alle *menschlichen* Unsicherheitsfaktoren einfließen. Der zweite ungenauere Wert lässt sich mit der kürzeren Fallzeit und damit größeren Messungenauigkeit begründen.

6 Fallende Plasitlin-Kugeln

Der Versuch wurde mit zwei gleich großen, zwei wenig unterschiedlichen (in Größe) Kugeln, zwei stark unterschiedlichen Kugeln, sowie einem Würfel und einer Kugel gleicer Masse durchgeführt. Bei den gleich großen, als auch bei den wenig unterschiedlichen Kugeln trafen beide Körper gleichzeitig am Boden auf. Bei den unterschiedlichem Kugeln traf zuerst die kleinere auf, bei Würfel/kugel zuerst die Kugel.
Der horizontal abgeworfene Körper braucht zum Zurücklegen eines vertikelen Höhenunterschiedes dieselbe Zeit wie beim freien Fall. Diese Bewegung ist unabhängig von der horizontalen Geschwindigkeit; es handelt sich hier um eine Überlagerung von zwei Teilgeschwindigkeiten, die normal auf einander stehen.
Bei den letzten beiden Versuchen wirkt sich der Luftwiderstand schon so weit aus, dass es zu unterschiedlichen Fallzeiten gekommen ist.