

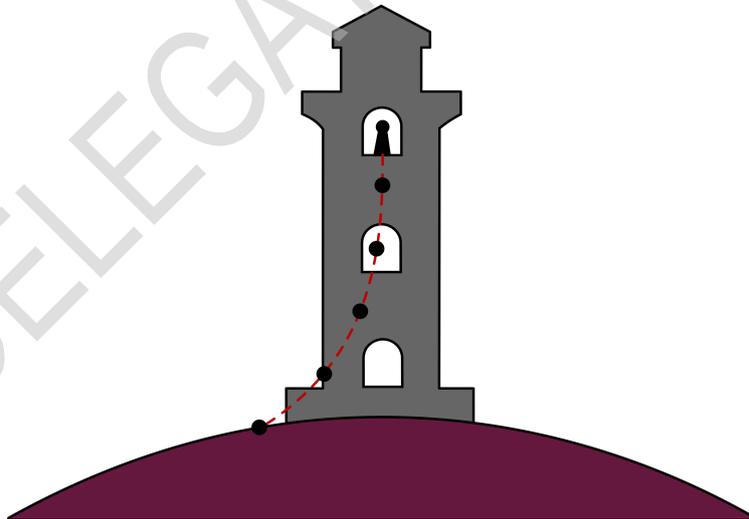
Eigenschaften eines Planeten (12 Punkte)

Du befindest dich auf einem fremden Planeten ohne zu wissen, wie du dorthin gekommen bist. Als erstes möchtest du mehr über den Planeten erfahren. Dafür greifst du auf die Experimente von Galileo zurück, in denen er Kugeln von einem Turm fallen ließ. Inspiriert von dieser Idee, baust du einen perfekt senkrechten Turm mit einer Höhe von $H = 2000$ m. Von diesem Turm kannst du nun Kugeln aus einer beliebigen Höhe h fallen lassen (gemessen zwischen Unterseite der Kugel und dem Boden). Aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit von Materialien auf dem Planeten, kannst du nur Kugeln mit einem Radius von $5 \text{ cm} \leq r \leq 50 \text{ cm}$ und einer Dichte von $0.1 \text{ g/cm}^3 \leq \rho \leq 10 \text{ g/cm}^3$ für dein Experiment einsetzen.

Zu Beginn jedes einzelnen Experiments befindet sich die Kugel in Ruhe. Du kannst für jeden Fallversuch die Falldauer t und die horizontale Entfernung s vom Auftreffpunkt zum Punkt senkrecht unterhalb der Abwurfstelle messen.

Bevor du mit deinen Messungen beginnst, machst du folgende Beobachtungen zu dem Planeten:

- Aufgrund der Bewegungen der Sonne kannst du feststellen, dass du dich auf dem Äquator des Planeten befindest.
- Der Planet hat eine Atmosphäre. Die Dichte der Luft ist klein genug um die Auftriebskraft vernachlässigen zu können.
- An der Basis des Turms herrscht eine Temperatur von $T_0 = 20^\circ\text{C}$.
- Es scheint ein Wind entlang des Äquators zu wehen, der über die gesamte Höhe des Turms ungefähr gleichmäßig ist. Vernachlässige den Einfluss des Turmes auf die Windgeschwindigkeit.



Die übertriebene Darstellung des Problems durch einen Künstler.

Beschreibung der Simulationssoftware

Das Programm simuliert die Messungen der Fallzeit t und der Auslenkung von der Basis des Turms s , nachdem die Höhe h , in der die Kugel fallen gelassen wird, ihr Radius r und ihre Dichte ρ eingegeben wurden. Alle Werte der Eingabeparameter werden nach entsprechenden Aufforderungen über die Tastatur eingegeben und durch Drücken der **Eingabetaste** bestätigt.

Zum Starten verwende bei Eingabeaufforderung den folgenden Authorization Key:

Enter Valid Authorization Key: 12345678.888

Wenn du einen falschen Wert eingibst, wird das Programm in den Testmodus versetzt; du musst das Programm dann neu starten.

Eine typische Ausgabe eines einzelnen Simulationszyklus des Programms sieht so aus:

```

0 < h (m) < 2000 | h (m): 90
5 < r (cm) < 50 | r (cm): 13
0.1 < rho (g/cm^3) < 10.0 | rho (g/cm^3): 2
...
t (s) = 3.5, s (m) = 0.1
=====
0 < h (m) < 2000 | h (m):_
    
```

Zuerst gibt man die Höhe h in m ein (eine Zahl zwischen 0 und 2000), dann den Radius der Kugel r in cm (eine Zahl zwischen 5 und 50) und schließlich die Dichte der Kugel ρ in g/cm^3 (eine Zahl zwischen 0,1 und 10). Jede Eingabe wird mit der **Eingabetaste** bestätigt. Das Programm gibt dann t in s und s in m aus.

Das Programm führt dann zurück zur neuerlichen Abfrage des Wertes der Höhe des Turms.

Die Eingabe eines Wertes, der außerhalb des Bereichs für das Experiment liegt, führt zu einer Fehlermeldung,

Value Out Of Bounds!

und man kehrt dann zur (falschen) Eingabe zurück.

Die eingegebene Höhe h wird auf 1 m gerundet, r auf 1 cm und ρ auf $0,01 \text{ g/cm}^3$. (Der Versuch, genauere Zahlen einzugeben, ist sinnlos.)

Die Ergebnisse des Experiments werden mit **zufälligen Fehlern behaftet sein**, um die begrenzte Genauigkeit zu simulieren, die man im wirklichen Leben hätte. Die Größe der Fehler lässt sich durch Beobachtung der Schwankungen in der Ausgabe ermitteln.

Wenn du das Programm beenden möchtest, drücke **Strg+C**.

Liste der Konstanten und nützlichen Beziehungen

Die Gravitationskonstante $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$. Ideale Gaskonstante $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $0^\circ\text{C} = 273.15 \text{ K}$.

Der Luftwiderstand einer Kugel mit der Querschnittsfläche A und der Geschwindigkeit v in Luft der Dichte ρ_a ist gegeben durch

$$F_d = 0.24A\rho_a v^2.$$

Eine adiabatische Atmosphäre hat ein Dichteprofil, das durch

$$\rho_a(h) = \rho_{a0} \left(1 - \frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{\mu g h}{RT_0} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = \rho_{a0} \left(1 - \frac{h}{H_0} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}},$$

gegeben ist. Diese Gleichung ist gültig bis zum oberen Rand der Atmosphäre, wo $T = 0$ K ist. Dabei ist γ der Adiabatenkoeffizient, μ die Molmasse der Luft (d.h. der Planetenatmosphäre), g die Fallbeschleunigung und h die Höhe über dem Boden.

Teil A. Eigenschaften eines Planeten (3,0 Punkte)

A.1	Bestimme die Beschleunigung g des freien Falls auf dem Planeten, indem du eine geeignete Reihe von Messungen durchführst und ein entsprechendes Diagramm in den dafür vorgesehenen Bereich einzeichnest. Gib eine Analyse der Unsicherheit deines Ergebnisses an.	2.0pt
A.2	Wenn du dich entlang des Äquators vom Turm entfernst, kannst du den Turm bis zu einer Entfernung von $L = 230$ km sehen (gemessen zwischen dir und der Turmspitze). Berechne daraus, wie groß ist der Radius R des Planeten ist! Du kannst annehmen, dass du sehr viel kleiner als der Turm bist!	0.5pt
A.3	Schätze die Masse M des Planeten ab. Analysiere die Unsicherheit deines Ergebnisses. Welcher physikalische Effekt wirkt sich deiner Meinung nach am stärksten auf die Genauigkeit der Abschätzung von M aus? Kreuze auf dem Antwortbogen den entsprechenden Effekt an!	0.5pt

Teil B. Atmosphärische Eigenschaften (6,5 Punkte)

B.1	Bestimme die Windgeschwindigkeit u auf der Oberfläche des Planeten, indem du eine geeignete Reihe von Messungen durchführst und ein entsprechendes Diagramm in den dafür vorgesehenen Bereich zeichnest. Gib eine Analyse der Unsicherheit deines Ergebnisses an.	2.0pt
B.2	Bestimme die Luftdichte ρ_{a0} auf der Oberfläche des Planeten, indem du entweder zusätzliche Daten sammelst oder frühere Daten wiederverwendest, und zeichne ein entsprechendes Diagramm in den dafür vorgesehenen Bereich. Gib eine Analyse der Unsicherheit deines Ergebnisses an.	1.0pt
B.3	Bestimme unter der Annahme, dass sich die Atmosphäre adiabatisch verhält und einen Adiabatenkoeffizienten $\gamma = 1,4$ hat, die Dicke H_0 der Atmosphäre, indem du eine geeignete Reihe von Messungen durchführst und ein entsprechendes Diagramm in den dafür vorgesehenen Raum zeichnest. Gib eine Analyse der Unsicherheit deines Ergebnisses an.	3.0pt
B.4	Bestimme die Molmasse μ der Luft und den Luftdruck p_0 an der Basis des Turms. Gib eine Analyse der Unsicherheit deines Ergebnisses an.	0.5pt



Teil C. Dauer eines Tages (2,5 Punkte)

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <p>C.1 Bestimme die Dauer eines Tages T_p auf dem Planeten, indem du eine geeignete Reihe von Messungen durchführst und ein entsprechendes Diagramm in den dafür vorgesehenen Bereich zeichnest. Gib eine Analyse der Unsicherheit deines Ergebnisses an.</p> | <p>2.5pt</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|

DELEGATION PRINT