

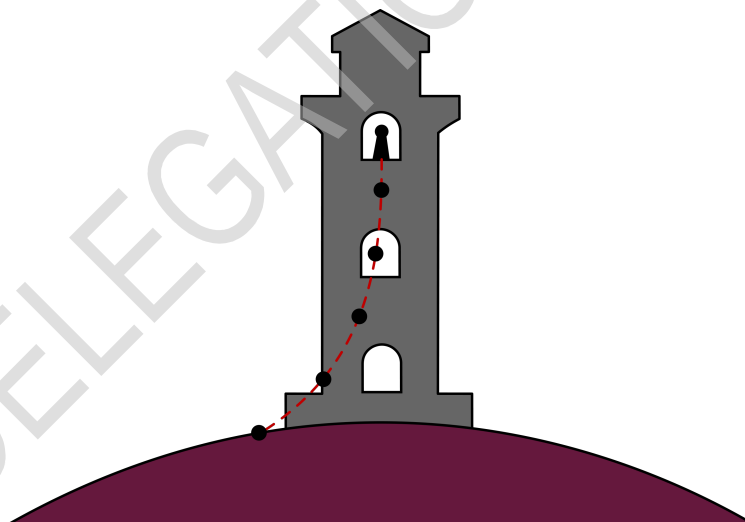
Planet (12 point)

Du befinder dig på en fremmed planet og har ingen viden om, hvordan du er kommet der. Det første, du gør, er at opnå mere viden om planeten. Du husker, at Galilei eksperimenterede med faldende bolde og inspireret af dette bygger du et helt lodret tårn med højden $H = 2000$ m. Fra tårnet kan du nu slippe bolde fra enhver højde h , hvor højden måles fra jordoverfladen op til bunden af bolden, lige inden den slippes. På grund af begrænsninger i de materialer, du har til rådighed, kan du kun slippe bolde med radius $5 \text{ cm} \leq r \leq 50 \text{ cm}$ og densitet $0.1 \text{ g/cm}^3 \leq \rho \leq 10 \text{ g/cm}^3$.

Når du slipper en bold, er det altid fra hvile, og du er i stand til at måle faldtiden t og den vandrette afstand s på jordoverfladen, som bolden har bevæget sig væk fra det punkt på jordoverfladen, over hvilket bolden blev sluppet.

Før du starter eksperimenterne, gør du følgende observationer om planeten:

- Ud fra Solens bevægelse opdager du, at du befinder dig et sted langs ækvator på planeten.
- Planeten har en atmosfære. Luftens densitet er tilstrækkeligt lille til, at man kan se bort fra opdriften på bolden.
- Ved jordoverfladen er temperaturen $T_0 = 20^\circ\text{C}$.
- Langs med ækvator blæser en vind, som ikke varierer med højden. Man kan se bort fra tårnets påvirknings af vindens hastighed.



En skitse af tårnet (skitsen er *ikke* målfast).

Beskrivelse af simulationsprogrammet

Kommandolinjeprogrammet kræver et input af højden h kuglen slippes fra, dens radius r og densitet ρ for at simulere en måling af faldtiden t og afbøjningsafstanden fra tårnets fod s . Alle inputværdier skrives med tastaturet, når programmet beder om dem og bekræftes ved at trykke **Enter**.

For at starte programmet første gang, skal følgende autorisationsnøgle tastes:

Enter Valid Authorization Key: 12345678.888

Hvis der taster en forkert autorisationsnøgle, vil programmet blot være i testtilstand og du vil skulle genstarte det.

Et typisk output af en simulering af et sæt værdier vil se således ud.

```

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): _

```

Først indtastes højden h i meter (tal mellem 0 og 2000), dernæst radius r af kuglen i centimeter (tal mellem 5 og 50) og til sidst densiteten ρ af kuglen i g/cm^3 (tal mellem 0.1 og 10).

Hvert input bekræftes ved at trykke **Enter**.

Programmet simulerer herefter et output for r (målt i s) og s (målt i m).

Herefter vender programmet tilbage til start igen og er klar til et nyt sæt af inputs.

Der fremkommer følgende fejlmeddelelse, hvis der taster værdier uden for de tilladte intervaller,

Value Out Of Bounds!

hvorefter programmet spørger igen om en anden værdi for den ukorrekt indtastede parameter.

Inputtet af højden h vil blive afrundet til 1 m, r til 1 cm og ρ til 0.01 g/cm^3 . (Det er derfor IKKE en fordel at forsøge at taste tal med en højere præcision.)

Resultatet af eksperimentet har medregnet tilfældige usikkerheder, for at simulere den begrænsede præcision man kan måle med i virkelige forsøg. Størrelsen af usikkerhederne kan observeres ved at bemærke fluktuationerne i outputtet.

Programmet kan afsluttes når som helst ved at trykke **Ctrl+C**.

Liste over konstanter og nyttige relationer

Gravitationskonstanten $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

Gaskonstanten $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$,

$0^\circ\text{C} = 273.15 \text{ K}$

Luftmodstanden på en kugleformet bold med tværsnitsareal A , og fart v , der bevæger sig gennem luft med densiteten ρ_a er:

$$F_d = 0.24A\rho_av^2.$$

En adiabatisk atmosfære har en densitetsprofil der er givet ved

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

Formlen er gyldig op til toppen af atmosfæren, hvor $T = 0$ K.

I formlen betegner γ adiabatkoefficienten, μ molarmassen af luften i planetens atmosfære, g accelerationen ved frit fald, og h højden over jordoverfladen.

Del A. Planetens egenskaber (3,0 point)

A.1	Bestem accelerationen g ved frit fald på planeten ved at udføre en passende måleserie og tegne en passende graf på svararket. Vurdér usikkerheden på dit resultat.	2.0pt
A.2	Når du bevæger dig væk fra tårnet langs ækvator, kan du se tårnet op til en afstand på $L = 230$ km, når afstanden måles mellem dig og toppen af tårnet. Hvad er radius R af planeten? Se helt bort fra din egen højde, da den er meget mindre end tårnets højde.	0.5pt
A.3	Estimér massen M af planeten. Vurdér usikkerheden på dit resultat. Hvilken fysiske effekt påvirker nøjagtigheden af dit estimat af M mest? Sæt et kryds i svararket ud for den relevante effekt.	0.5pt

Del B. Atmosfærens egenskaber (6,5 point)

B.1	Bestem vindens fart u ved overfladen af planeten ved at udføre en passende måleserie og tegne en passende graf på svararket. Vurdér usikkerheden på dit resultat.	2.0pt
B.2	Bestem luftens densitet ρ_{a0} ved planetens overfladen enten ved at udføre yderligere målinger eller ved at genbruge allerede fundne målinger og tegne en passende graf på svararket. Vurdér usikkerheden på dit resultat.	1.0pt
B.3	Antag at atmosfæren er adiabatisk med en adiabatkoefficient $\gamma = 1.4$. Bestem tykkelsen H_0 af atmosfæren ved at lave en passende måleserie og tegne en passende graf på svararket. Vurdér usikkerheden på dit resultat.	3.0pt
B.4	Bestem molarmassen μ af luften og lufttrykket p_0 ved tårnets fod. Udfør en usikkerhedsberegning på dit resultat.	0.5pt

Del C. Døgnetts længde (2,5 point)

C.1	Bestem døgnetts længde T_p på planeten ved at udføre en passende måleserie og tegne en passende graf på svararket. Udfør en usikkerhedsberegning på dit resultat.	2.5pt
------------	---	-------