# Rejsen ud i rummet - undvigelseshastighed

Arbejdsarket er udarbejdet af projektgruppen på Viborg Katedralskole i forbindelse med projektet *Brobygning på første række* finansieret af Novo Nordisk Fonden. Materialet knytter an til artiklen [Rejsen ud i rummet](https://aktuelnaturvidenskab.dk/fileadmin/Aktuel_Naturvidenskab/nr-6/AN6-2020-Rejsen-ud-i-rummet.pdf) i Aktuel Naturvidenskab, der igen bygger på foredraget med samme titel i serien [Offentlige foredrag i Naturvidenskab](https://ofn.au.dk/).

**Målgruppe:** **Fysik C/B-niveau** (men kan med lidt justeringer tilpasses A-niveau)

**Forudsætninger:** Kendskab til kinetisk og potentiel energi nær Jorden.

Arbejdsarket kan bruges i forbindelse med et forløb omkring bevægelse eller astronomi.
Man skal i arbejdsarket anvende massen af Delphini-1, som kan findes i artiklen
 [”Delphini-1 - Aarhus Universitets første satellit”](https://aktuelnaturvidenskab.dk/fileadmin/Aktuel_Naturvidenskab/nr-1/AN1-2019delphini.pdf) (mdelphini-1 = 1 kg) fra Aktuel Naturvidenskab Nr. 1 2019.

# Arbejdsark - Rejsen ud i rummet - undvigelseshastighed

Vil man sende rumskibe til andre planeter eller måner, skal de undslippe Jordens tyngdefelt.

Ifølge Newtons gravitationslov påvirker to legemer med masserne m og M hinanden med kraften

$$\begin{array}{c}F=\frac{G·m·M}{r^{2}}\#\left(1\right)\end{array}$$

hvor r er afstanden mellem de to legemer med masserne m og M, og G er gravitationskonstanten

$$G=6,67·10^{-11}\frac{N·m^{2}}{kg^{2}}$$

Det kræver altså energi at flytte en raket fra Jorden og til f.eks. Månen, da Jorden og raketten tiltrækker hinanden pga. deres masser. Raketten skal tilføres en kinetisk energi, som er høj nok til, at den kan undslippe Jordens tyngdefelt. Hermed bliver der et krav til, hvilken hastighed rumskibet minimalt skal have. Denne hastighed kaldes undvigelseshastigheden.

For at komme frem til et udtryk for undvigelseshastigheden, skal vi lave nogle energibetragtninger. Vi skal altså arbejde med formlerne for den potentielle samt kinetiske energi.

Den potentielle energi i et tyngdefelt er givet ved

$$\begin{array}{c}E\_{pot}=-\frac{G·m·M}{r} \#\left(2\right)\end{array}$$

hvor m og M er masserne af de to legemer, r er afstanden mellem dem og G er gravitationskonstanten. Her er den potentielle energi nul, når afstanden mellem de to legemer er uendeligt stor.

Når man er tæt på Jordens overflade, bruger man normalt følgende formel for den potentielle energi

$$\begin{array}{c}E\_{pot}=m·g·h \#\left(3\right)\end{array}$$

hvor m er legemets masse, g er tyngdeaccelerationen (i Danmark er den 9,82 m/s2) og h er højden over Jordens overflade. Det vil sige, at nulpunktet for den potentielle energi her er ved Jordens overflade.

Vi vil nu gennem beregninger sammenligne de to formler for potentiel energi.

1. Du skal nu beregne den potentielle energi af Delphini-1 i 3 forskellige afstande til Jordens overflade ved at anvende ligning (3).
2. Beregn den potentielle energi ved Jordens overflade
3. Beregn den potentielle energi i en højde på 5 km over Jordens overflade.
4. Beregn den potentielle energi hvor $h=59·r\_{E}$
$r\_{E}$ er Jordens radius.
5. Det er forskellen i potentiel energi, der er interessant. Beregn derfor forskellen mellem den potentielle energi fundet i opgave 2 og i opgave 1, samt den fundet i opgave 3 og i opgave 1.
6. Du skal nu beregne den potentielle energi af Delphini-1 i de samme afstande, men nu ved at anvende ligning (2).
7. Beregn den potentielle energi ved Jordens overflade
8. Beregn den potentielle energi i en afstand på $5 km+r\_{E}$
9. Beregn den potentielle energi i en afstand på $60·r\_{E}$
10. Beregn forskellen mellem den potentielle energi fundet i opgave 2 og i opgave 1, samt den fundet i opgave 3 og i opgave 1.
11. Sammenlign forskellene i potentiel energi fundet i 1d og 2d.

Vi vil nu beregne den hastighed, der skal til for at undslippe Jordens tyngdefelt. For at finde den minimale hastighed, raketten skal opnå i punkt A (se figur 1), sætter vi den kinetiske energi til 0, når den er uendeligt langt fra Jorden, dvs. i punkt B på figur 1.



Figur 1 Her ses to situationer, A og B. I punkt A befinder raketten sig på Jorden, mens den i punkt B er uendeligt langt væk fra Jorden.

1. Argumentér for, at den mekaniske energi, når raketten er i hvile uendeligt langt væk, er 0.
2. Opskriv formlen for den kinetiske energi samt den potentielle energi, præcis idet raketten sendes afsted – dvs. der skal ikke regnes noget ud, men formler skal opskrives med symboler. (HINT her er afstanden til Jorden lig Jordens radius)
3. Vi antager, at der er bevarelse af mekanisk energi og kan så sætte den mekaniske energi i punkt A lig den i punkt B. Opskriv en ligning, hvor dette gøres.
4. Isolér hastigheden i udtrykket
* Hvad afhænger denne hastighed af? Noget der er overraskende?
1. Hvad har vi ignoreret, idet vi antog, at den mekaniske energi er bevaret?
2. Beregn undvigelseshastigheden for Jorden
3. Beregn undvigelseshastigheden for Månen