# Hvorfor kan alle satellitter slippe væk fra jordens tyngdefelt, hvis deres fart forøges med 41 %?

*Hvorfor sendes satellitter op i baner med den samme retning som jorden roterer om sin akse. En satellit tæt på jorden har en stor fart, og en satellit langt fra jorden har en lille fart. Der skal tilføres energi til en satellit for at forøge radius i dens cirkulære bane. Hvordan kan satellitten ende i en bane med mindre fart, selvom den får tilført energi? Uanset hvilken bane en satellit har, skal dens fart forøges med den samme procent, for at slippe fri fra Jordens tyngdefelt.*

Kernestoffet er:

* *gravitationsloven*
* *mekanisk energi i gravitationsfeltet om et centrallegeme*

Opslaget indeholder

1. Bindingsenergi i tyngdefeltet
2. Hvor stor fart skal en kanonkugle have for at er undslippe jordens tyngdefelt?
3. Hvordan afhænger satellittens fart af afstanden til jorden
4. Hvorfor skal alle satellitter have deres fart forøget med 41 %, for at slippe fri af jordens tyngdefelt
5. I hvilken retning opsendes satellitter og hvordan ændre deres energi
6. Potentiel energi i tyngdefeltet

## 1. Bindingsenergi i tyngdefeltet

**Bindingsenergi ved jordens overflade**

Bindingsenergien er defineret som den energi, der skal tilføres, for at flytte en satellit fra jordens overflade til den er helt fri af jordens tyngdefelt, uden at ændre dens kinetiske energi

hvor er jordens radius, er jordens masse og *G* er gravitationskonstanten. Arbejdet der udføres er tilført til systemet bestående af satellit og jord.

**Udledning af formlen for bindingsenergi**

Den energi der skal tilføres for at løfte en satellit fra jordens overflade og uendelig langt væk, er bindingsenergien (undvigelsesenergien). En satellit skal påvirkes af en kraft der er lige så stor og modsat rettet tyngdekraften, hele vejen fra jordens overflade til satellitten er uendeligt langt væk fra jordens tyngdefelt

## 2. Hvor stor fart skal en kanonkugle have for at slippe fri fra jordens tyngdefelt?

**Undvigelsesfart fra jordens overflade**

For at løfte en satellit med massen *m* fra jordens overflade og helt væk fra indflydelse fra jordens tyngdekraft, kræves en energitilførsel, der er mindst lige så stor som undvigelsesenergien (bindingsenergien). Denne energi kan opnås ved at give satellitten en fart (escape velocity = go away velocity), og dermed en kinetisk energi med størrelsen

hvor er jordens radius, er jordens masse og *G* er gravitationskonstanten. Undvigelsesfarten fra jordens overflade bliver derfor

Formlen der indeholder gravitationskonstanten *G* (Newtons store *G*) kan omskrives så den indeholder tyngdeaccelerationen *g* (Jordens lille *g*), fordi

ved brug af denne ligning, fås

**Eksempel 1.** *Undvigelsesfart for Jorden ud tyngdeacceleration og radius*

Sættes jordens tyngdeacceleration til og jordens radius til , kan undvigelsesfarten beregnes uden lommeregner

**Opgave 1**

1. Vis, at undvigelsesfart på Jupiters er ca. 5 gange større end jordens, fordi Jupiters tyngdeacceleration er , og dens radius er .
2. Vis, at undvigelsesfart på Mars er ca. halvt så stor som jordens, fordi tyngdeacceleration på Mars er , og dens radius er .

## 3. Hvordan afhænger satellitters fart af afstande til jorden?

**Satellittens fart i banen**

En satellit i en cirkelbevægelse skal være påvirket af en indadrettet kraft (centripetalkraft) for at blive i banen, og ikke ryge ud af tangenten

Denne centripetalkraft kommer fra tyngdekraften

heraf fås

. Farten i banen kan kaldes *Go Around Velocity.*

**Opgave 1**

Den internationale rumstation (ISS) bevæger sig i en bane i højden over jordoverfladen. Vis at dens fart er ca. 8 km/s, ved at indsætte .

**Formel for satellittens fart.**

Satellitters fart kan beregnes ud fra satellittens afstand stil jordens centrum via formlen

hvor er jordens radius. Farten på 8 km/s svarer til en banebevægelse helt tæt på jordoverfladen, ligesom ISS.

**Opgave 2**

1. Vis, at farten af en GPS-satellit er 2 gange mindre end farten af ISS, fordi dens afstand til jordens centrum er 4 jordradier.
2. Vis, at månens fart er 8 gange mindre end farten af ISS, når afstanden til jordens centrum sættes til 64 jordradier.

## 4. Hvorfor skal alle satellitter have farten forøget med 41 % for at slippe fri af jordens tyngdefelt?

For at slippe væk fra tyngdefeltet, skal den kinetiske energi være lig med bindingsenergien

Da skal satellitten have forøget sin banehastighed med 41 % for at slippe fri. Det er sammenhængen mellem en satellits undvigelsesfart (*Go Away Velocity* ) og farten i banebevægelsen (*Go Around Velocity*). *Når satellitten er i sin bane, har den halvdelen af den kinetiske energi, der kan få den fri af tyngdefeltet.*

**Opgave 3** ISS har en fart på ca. 8 km/s og månen har farten 1 km/s i deres baner rundt om jorden.Hvor meget skal farten forøges til for at slippe fri fra jordens tiltrækning?

## 5. I hvilken retning opsendes satellitter, og hvordan ændres satellitters energi?

**Hvorfor kan en bold med farten 8 km/s gå i kredsløb omkring jorden?**

Hvis en bold skal i et cirkulært kredsløb meget tæt på jordoverfladen, skal den følge jordens krumning. Jordens krumning svarer til, at man bevæger sig 5 m ned mod jordens centrum, for hver gang man har bevæget sig 8 km ud langs tangenten. De 5 m ned svarer til et frit fald på 1 sekund, så hvis boldens fart langs tangenten er 8 km/s, vil den følge jordens krumning og dermed være i kredsløb rundt om jorden. *Bolden falder ikke ned mod jorden, men rundt om jorden.*



**Hvorfor opsendes satellitter så de bevæger sig i samme retning som jordens rotation?**

Her starter satellitten med potentiel energi og slutter i en bane med både potentiel og kinetisk energi. På jordens ækvator har en satellit før afsendelse farten 463 m/s på grund af jordens rotation. Satellittens kinetiske energi formindsker bindingsenergien ganske lidt. Dette lille bidrag er dog årsagen til, at satellitter opsendes tæt på ækvator, og placeres i en bane med samme rotationsretning som jorden.

**Hvordan ændres satellittens energi?**

*Hvordan får satellitten tilført mere energi?*

En satellit kan få tilført energi ved at raketmotoren accelererer satellitten langs tangenten i den cirkulære bane. Den kan også få tilført energi ved at sende raketmotorens udstødning ind mod jordens centrum langs radius i den cirkulære bane. Hvis raketmotorerne er tændt i lige lang tid, ender satellitten i begge tilfælde i den samme bane

*Hvordan mindskes satellittens energi?*

En satellit kan få mindsket sin energi ved at raketmotoren bremser satellitten langs tangenten i den cirkulære bane. Den kan også få mindsket sin energi ved at sende raketmotorens udstødning væk fra jordens centrum langs radius i den cirkulære bane. Hvis raketmotorerne er tændt i lige lang tid, ender satellitten i begge tilfælde i den samme bane

**Hvorfor ender en satellit i en bane med mindre fart, når den tilføres energi?**

Når en satellit kredser om jorden i sin bane, så er det fordi tyngdekraften hindrer satellitten i at ryge ud ad tangenten.

*Satellit tilføres energi*

Når raketmotoren tændes i en satellit, så satellitten får forøget sin fart, kan tyngdekraften ikke længere holde satellitten i den samme bane. Når satellitten bevæger sig væk fra jorden, bremser jordens tiltrækning satellittens fart, så den ender i en bane længere væk fra jorden, men med en mindre fart. Satellitten mister kinetisk energi, men vinder mere potentiel energi i tyngdefeltet, så den ender i en bane, hvor summen af kinetisk og potentiel energi er større.

*Satellit mister energi*

ISS bremset af gnidning fra små partikler i rummet. Den mister fart og tyngdekraften hiver den tættere mod jorden. Når en satellit bremses, ender den i en bane tættere på jorden, men med en større fart. Satellitten mister mere potentiel energi, end den vinder i kinetiske energi, så den ender i en bane, hvor summen af kinetisk og potentiel energi er mindre. Hvis du vil vide mere, så søg på: *Change of satellites orbit*.

**Fart, afstand og omløbstid af satellitter** *LEO, MEO* og *GEO*

*LEO* (Low Earth Orbit). Den internationale rumstation (ISS) bevæger sig med 8 km/s i en bane lidt over 1 jordradius fra jordens centrum og med en omløbstid på 1,5 timer

*MEO* (Medium Earth Orbit). En GPS satellit bevæger sig med 4 km/s i afstanden 4 jordradier fra jordens centrum g med en omløbstid på ca. 12 timer (11 timer og 58 minutter)

*GEO* (Geostationary Earth orbit). De geostationære satellitters bevæger sig med 3 km/s i afstanden 6,5 jordradier fra jordens centrum og med en omløbstid på ca. 24 timer (23 timer og 56 minutter)

**Opsendelse af satellitter**

Opsendelse af en satellit kræver er 2 trins raket. Det første trin forøger den potentielle energi ved at løfte satellitten op til dens bane. Det næste trin giver satellitten kinetisk energi, så den får fart nok til at blive i denne bane.

**Satellitbaner**

* Hvis satellittens fart er er større end farten i den cirkulære bane, men mindre end undvigelsesfarten, så bevæger satellitten sig i en elliptisk bane.
* Hvis satellittens fart er lig med undvigelsesfarten, så bevæger satellitten sig i en parabolsk bane.
* Hvis satellittens fart er større end undvigelsesfarten, så bevæger satellitten sig i en hyperbolsk bane.

I Apollo måneprogrammet blev rumskibet ført placeret i en cirkulær bane om jorden, derefter blev rumskibet sendt i en elliptisk bane mod månen, for at slutte rejsen i en cirkulær bane om månen. Det var fra denne bane, *The Lunar Lander* blev sendt ned på månens overflade.

**Hvorfor fjerner Månen sig fra Jorden?**

Månen fjerner sig med 4 cm om året og jordens rotation aftager med 2 millisekunder på 100 år. Jo længere kommer månen væk, Jo langsommere roterer jorden. I fortiden har døgnet altså været længere og månen tættere på med kortere omløbstid.

Jorden overfører rotationsenergi til månen og den forøgede energi for løftet månen til en bane længere væk fra jorden, men med en mindre fart. *’Månen falder udad’*, fordi den får tilført energi og ’*satellitter falder nedad’,* fordi de mister energi*.*

## 6. Potentiel energi i tyngdefeltet

**Potentiel energi ved jordens overflade**

Begrebet potentiel energi bruges om den energi en genstand har i kraft af sin beliggenhed i tyngdefeltet. Da ændringen i den mekaniske energi er lig de ydre kræfters arbejde, og da den kinetiske energi ikke ændres, fås

sættes den potentielle energi til 0 uendeligt langt fra jorden, så er den potentielle energi på jordens overflade negativ

*Bemærkninger over begrebet potentiel energi*

Hvis nulpunktet for den potentielle energi er valgt i samme højde som bordpladen, har en bold på gulvet negativ potentiel energi. Den potentielle energi er ikke en egenskab ved bolden selv, men det er en egenskab ved systemet bestående af bold og jord. Jo længere en bold løftes over fra jordoverfladen, jo større energien af systemet bestående af bold og jord. Da den potentielle energi afhænger af den relative position af bold og jord, behøver man et referenceniveau, hvor den potentielle energi sættes til 0. Størrelsen af den potentielle energi er relativ, men det gælder også

den kinetiske energi, en bil har ingen kinetisk energi set fra en anden bil, der kører med samme fart.

<https://courses.lumenlearning.com/suny-physics/chapter/7-3-gravitational-potential-energy/>

Internet kilder

<https://da.wikipedia.org/wiki/Undvigelseshastighed>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Escape_velocity>

<https://ciet.nic.in/moocspdf/Physics01/Unit06/keph_10804-eContent%202019.pdf>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vesc.html>

<https://docs.wixstatic.com/ugd/a701d0_053e0255f96a4f6290b89db2d8d0b3b3.pdf?index=true>