Hvordan kan en satellit få mere fart på ved at passere en planet?*Teoretisk-og analogimodeller*

*Når man sparker til en bold, der er på vej mod en, får den større fart, end hvis den lå stille inde sparket. Hvis man i stedet vil bremse en bold, skal man bevæge foden i samme retning som bolden. Ved en tilsvarende effekt, kan en satellit få tilført energi ved at passere bagom en planet og bremset ved at passere foran en planet.*

Kernestof: *elastisk stød i én dimension*

Supplerende stof: *stof, der kan uddybe behandlingen af den moderne* fysik

Den første systematiske gennemgang af hvordan en satellit kan få tilført energi ved at passere en planet, blev publiceret i 1961 af Minovitch.

Opslaget indeholder

1. Satellit på *slyngtur* rundt om Saturn
2. Bordtennis model
3. Model af satellit mod Saturn, hvor satellit og Saturn bevæger sig på samme linje
4. Andre eksempler på *slingshot* effekten

## 1.Satellit på *slyngtur* rundt om Saturn.

***Slingshot* effekt.**

*Satellit får tilført energi.*

En satellit bevæger sig farten 20 km/s ind mod Saturn, der bevæger sig mod satellitten med farten 10 km/s. Efter satellitten har været rundt om Saturn forlader den planeten med farten 40 km/s. Det virker jo som om satellitten får energi, uden at Saturn mister energi.

*Satellit mister energi.*

En satellit bevæger sig med farten 20 km/s ind mod Saturn, der bevæger sig med farten10 km/s i samme retning som satellitten. Efter satellitten har været rundt om Saturn har den mistet al sin fart. Her virker det jo som om satellitten mister energi, uden at Saturn får tilført energi.

*Fænomenet kaldes slyng-effekt på dansk og slingshot effect eller gravity assist på engelsk.*

***Søg på*** *slingshot effect with Saturn og indsæt et billede*

**Forsøg med bordtennisbold.**

I forsøget spiller bordtennisbolden satellittens rolle og battet spiller Saturns rolle.

1. Hold et bat i hånden og lad en bold falde ned mod battet. Hvor højt hopper den op?
2. Lad bolden falde samme strækning, men battet skal nu have en fart opad, når bolden rammes. Hvor højt hopper bordtennisbolden op?
3. Lad bolden falde samme strækning, men nu føres battet nedad, når bolden rammes. Hvor højt hopper bolden nu op? Kan du med passende fart af battet få bolden til at ligge stille?

## 2. Bordtennisbold-model

**Teoretisk bordtennisbold-model.**

*Forenkling.*

Det antages at bolden ikke mister energi ved kontakten med battet. For at få tal, der ligner tallene fra satellit mod Saturn, antages det, at bordtennisbolden kan opnå en fart på 20 m/s nedad lige inden den rammer battet.

*Bold mod stillestående bat.*

Hvis bolden rammer et stillestående bat med farten 20 m/s hopper bolden også tilbage med farten 20 m/s.

**Eksempel 1.** *Bold mod bat på vej op.*

1. *Set fra lokalet før bolden rammer battet.* Bolden har farten 20 m/s nedad lige inden den rammer battet og battet har farten 10 m/s opad.
2. *Set fra battet.* Bolden nærmer sig battet med farten 30 m/s (på 1 sekund bevæger bolden sig 20 m ned mens battet bevæget sig 10 m op). Bolden forlader derfor battet med farten 30 m/s.
3. *Set fra lokalet efter bolden har ramt battet.* Bolden har farten 30 m/s op fra battet, der har farten 10 m/s opad i forhold til lokalet. Bolden har derfor farten 40 m/s i forhold til lokalet.

**Eksempel 2.** *Bold mod bat på vej ned.*

1. *Set fra lokalet før bolden rammer battet.*

Bolden har farten 20 m/s nedad lige inden den rammer battet og battet har farten10 m/s nedad.

1. *Set fra battet.*

Bolden nærmer sig battet med farten10 m/s og vil derfor forlade battet med farten 10 m/s.

1. *Set fra lokalet efter bolden har ramt battet.*

Bolden har farten 10 m/s op fra battet, der har farten 10 m/s nedad. Bolden har derfor hastigheden 0 m/s i forhold til lokalet.

Søg på *double ball drop* og indsæt et billede

**Opgave 1.**

En bold kastes med farten 5 m/s mod et tog der bevæger sig med farten 10 m/s. Hvorfor returnerer bolden med farten 25 m/s?

## 3. Model af satellit mod Saturn, hvor satellit og Saturn bevæger sig på samme linje.

Teoretisk model.

*Forenklinger.* - Satellit og planet bevæger sig i på en linje. - Da planeten er meget tungere end satellitten, antages planetens fart uændret under slyngturen

*Satellit mod planet, der ligger stille.*

Satellitten får forøget sin fart på vej mod planeten på grund af tyngdekraften og farten aftager tilsvarende på vej væk, så farten er uændret efter slyngturen.

**Eksempel 3.** *Satellit sendes bagom planet i bevægelse.*

1. *Set fra solen før slyngturen.*

En satellit bevæger sig farten 20 km/s ind mod Saturn, der bevæger sig mod satellitten med farten 10 km/s.

1. *Set fra Saturn.*

Satellitten nærmer sig med farten 30 km/s og forlader derfor også Saturn med farten 30 km/s.

1. *Set fra Solen efter slyngturen.*

Når satellitten har været rundt om Saturn fjerner den sig fra Saturn med farten 30 km/s, men Saturn bevæger sig med 10 km/s i forhold til solen, så satellitten fjerner sig med 40 km/s i forhold til solen. Det ser ud som om satellitten får tilført energi uden at Saturn mister energi, den får altså ’noget for ingenting’.

**Hvor får satellitten den ekstra energi fra?**

Den energi satellitten får svarer til den energi planeten mister, men da planeten er meget tung i forhold til satellitten, ændrer planeten ikke farten mærkbart. Så det er ikke *something from nothing*

**Opgave 2.**

Hvor stor bliver satellittetens fart efter slyngturen, hvis dens fart før er15 km/s

**Eksempel 4.** *Satellit sendes foran planet i bevægelse.*

1. *Set fra solen før slyngturen.*

En satellit bevæger sig med farten 20 km/s, og Saturn bevæger sig med farten 10 km/s. Satellit og Saturn bevæger sig i samme retning.

1. *Set fra Saturn.*

Satellitten nærmer sig Saturn med farten 10 km/s, og forlader derfor også Saturn med farten 10 km/s.

1. *Set fra Solen efter slyngturen.*

Når satellitten har været rundt om Saturn fjerner den sig fra Saturn med farten 10 km/s, men Saturn bevæger sig med 10 km/s i forhold til solen, så satellitten ligger stille i forhold til solen

**Opgave 3***.*

Hvor stor bliver satellittetens fart efter slyngturen, hvis dens fart før er 15 km/s

## 4. Andre eksempler på *slingshot effekten*

**Hvorfor bliver pumpen varm, når man pumper cyklen?**

Når man presser cykelpumpens stempel ind opvarmes luften inde i pumpen, fordi molekylerne får mere fart på ved sammenstødet med stemplet. Hvis et molekyle er på vej ud mod stemplet med farten 500 m/s, mens stemplet er på vej ind med farten er 1 m/s, så returnerer molekylet med farten 502 m/s. Hvis stemplet er på vej ud, returneres molekylet med farten 498 m/s, og luften inde i pumpen afkøles. *Et molekyle får tilført mere energi, når stemplet presset indad og det afgiver, når stempet hives ud.*

**Luftmodstand som en slingshot-effekt.**

*Sammenstød med luftens molekyler bremser bilen.*

Når en bil kører gennem luften, bliver den ramt af molekyler både forfra og bagfra; men molekylerne der rammer forfra, afgiver mere energi til at bremse bilen, end den får tilført af molekylerne, der rammer bagfra.

*Bold ind mod bilens forende.*

En tennisbold skydes ind med farten 10 m/s mod en bil, der nærmer sig med farten 5 m/s. Bolden returneres med 20 m/s.

*Bold ind mod bilens bagende.*

En bold skydes ind med farten 10 m/s mod en bil, der fjerner sig med farten 5 m/s. Bolden ligger stille efter stødet.

*Bolde mod bilens for og bagende bremser bilen.*

Bolden mod forsiden afgiver mere energi til at bremse bilen, end bolden mod bagsiden afgiver for at accelerere bilen

Søg på slingshot of *ball and train slingshot effect* og indsæt et billede

**Pelton turbine.**

En Pelton turbine består af mange skeformede blade, der er placeret på et hjul. En tynd vandstråle sprøjts ned i hjulene hvorved vandstrålens bevægelsesenergi overføres til hjulet. Hvis turbinen drejer med en fart, der er halvt så stor som vandet, vil vandet miste al sin energi, og ligge stille efter kontakten med turbinens skovlhjul. Søg på *Pelton turbine* og indsæt et billede

**Hvordan kan man bruge slingshoteffekten til hastighedsmåling**.

Hvis man sender ultralyd eller radarbølger mod en bil, vil den reflekteres med en større energi, men da både lyd og lys ikke ændrer fart, er det frekvensen der ændres. Det resulterer i en højere frekvens, hvis bilen er på vej mod senderen og en lavere frekvens, hvis der er på vej væk. Bilens fart kan så findes ud fra frekvensændringen. *Dopplereffekten kan opfattes som en slingshot-effekt.*