

SATELLITTER OG SATELLITTBANER

Hva er egentlig satellitter og hvordan er dette med baner?



Kort om aktiviteten

Satellitter har blitt en viktig del av hverdagen for oss mennesker. Det er kanskje ikke noe vi går og tenker på til vanlig, men dersom vi skulle miste kontakten med satellittene, ville det skapt store problemer i hverdagen til veldig mange. Hva er egentlig satellitter og hvordan kan vi være så avhengige av dem?

Når det skal sendes opp nye satellitter, eller de blir gamle og «dør», er det mye som må være på plass. Denne aktiviteten forsøker å gi et bilde på alle disse tingene.

Innhold

Kort om aktiviteten	2
Teoridel	3
Kunstige satellitter	3
Satellittbaner	4
Lav jordbane	4
Medium jordbane	4
Geostasjonær bane	4
Polar bane	4
Ellipsebaner	5
Lagrangepunkter	6
Romsøppel	8
Aktivitet 1: Hva er en ellipsebane	9
Aktivitet 2: Satellittbane	11
Aktivitet 3: Baneberegninger	12
Aktivitet 4: Design og lag en satellittmodell	14
Lærerveiledning	15
Forklaringer og løsninger på oppgaver	15
Læringsmål	17
Kilder	18
Lisensiering:	18

Teoridel

Når vi snakker om satellitter tenker vi vanligvis på de menneskeskapte maskinene som går i bane rundt jorda vår, og andre steder. Men tenker vi noen gang over hva satellitter er og hvorfor vi har dem?

Definisjonen på ordet satellitt er «**et legeme som beveger seg i bane rundt et himmellegeme**». Det sier oss ikke så mye, så vi må dele det opp litt mer. Vi snakker derfor om naturlige satellitter og om kunstige satellitter. Jorda har kun en naturlig satellitt, månen. Andre planeter i solsystemet har også naturlige satellitter, noen flere enn andre. Gasskjempen Jupiter har f.eks. 79 måner (som er bekreftet). Alle planetene er også satellitter siden de går rundt sola.

Vi skal i denne oppgaven likevel fokusere mest på de kunstige satellittene, selv om mye av dette selvfølgelig også er gjeldene for naturlige satellitter.

BILDE

Kunstige satellitter

Den første menneskeskapte satellitten som ble sendt opp var **Sputnik 1** i 1957, av det som den gang het Sovjetunionen. Sputnik 1 var ikke spesielt stor og veide kun 83,6 kg. Det eneste instrumentet om bord var en radiosender. Selv om satellitten var liten, var dette likevel stort historisk sett da det viste at det var mulig å sende noe opp i bane rundt jorda. I tillegg satte det fart i romkappløpet mellom Sovjetunionen og USA, siden amerikanerne likte dårlig at de ikke var først ute.

2. april 1961 var også en historisk dag da Jurij Gagarin ble det første menneske til å gå i bane rundt jorda. Hele romferden varte i 108 minutter og han rakk å gå nesten en runde rundt jorda.

NASA sendte opp den første kommunikasjonssatellitten i 1962. Denne satellitten ga verden den aller første TV-overføringen. Den europeiske romorganisasjonen, ESA, sendte opp sin første satellitt i 1979. Hensikten med denne satellitten var å lage et kart over Melkeveien. Siden den gang har det blitt mange flere satellitter, og i 2018 var det omtrent 4900 satellitter i bane rundt jorda og det blir bare flere og flere. Også Norge har satellitter i bane rundt jorda.

I dag har vi gjort oss avhengige av satellitter. Og de fleste av oss bruker nok satellitter nesten hver dag uten at vi tenker over det. Satellitter brukes til navigasjon, klima- og jordobservasjon, telekommunikasjon og mye mer. Vi har også mennesker som er i bane rundt jorda vår, om bord på den internasjonale romstasjonen (ISS). Astronautene som bor og jobber på romstasjonen, gjør ulike eksperimenter utført i mikrogravitasjon. ISS går i en bane bare 350–400 km over jorda.

Satellittbaner

Satellittene går i ulike baner avhengige av hva som er formålet med satellitten. En satellitt kan gå i bane alt fra 200–40 000 km fra jorda, og vi kan dele banene opp etter høyden over jordoverflaten eller hvordan de beveger seg rundt jorda.

Lav jordbane

Lav jordbane regnes fra 160–2000 km. Det er sjeldent satellitter befinner seg lavere enn 300 km da atmosfæren i lavere områder fortsatt vil være tykk nok til at den påvirker satellitten. Vi finner svært mange satellitter i lav jordbane. De fleste er kommunikasjonssatellitter eller satellitter som brukes til jordobservasjon. Her finner vi også ISS som befinner seg i ca 400 km høyde.

Det er svært få astronauter som har vært utenfor Lav jordbane. Astronautene om bord i Apollo 8 (1962) var de første som var lengre unna da de ble de første til å gå i bane rundt månen. Ikke siden 1972, da de siste astronautene landet på månen (Apollo 17), har mennesker oppholdt seg utenfor lav jordbane.

Medium jordbane

Medium høy bane regnes opp til 35 000 km. I medium jordbane finner vi blant annet mange navigasjonssatellitter. Som navnet tilsier, brukes disse til blant annet GPS og andre navigasjonssystemer.

Geostasjonær bane

Geosynkrone baner er baner der satellittene bruker like lang tid på å gå rundt jorda som jorda bruker på en rotasjon rundt seg selv, altså nesten 24 timer (23 timer 56 minutter og 4 sekund for å være nøyaktig). Dersom den geosynkrone banen er en sirkulær bane rundt ekvator kalles det en **Geostasjonær bane**. En slik satellitt vil kunne være over ett bestemt sted på jorda til enhver tid. Det finnes mange kommunikasjonssatellitter og meteorologiske satellitter i slike baner. For å kunne oppnå en geostasjonær bane må satellitten være i 35 000–42 000 km høyde.

Polar bane

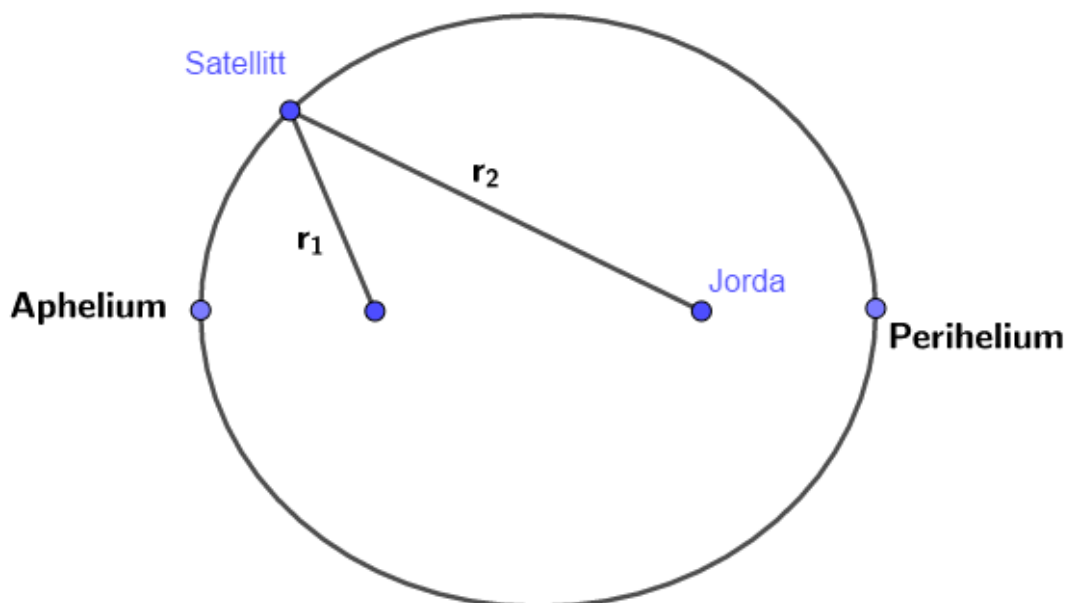
Polare baner er baner der satellitten går i bane over polene og på den måten vil satellitten kunne «se» store deler av jordoverflaten etter flere omløp. Derfor er det

mange såkalte jordobservasjonssatellitter som går i den type bane, fordi disse satellittene brukes for å overvåke klimaet vårt. Satellittene i polare baner går i lav jordbane.

Ellipsebaner

Planetene i bane rundt sola er også satellitter. På 1600-tallet kom den tyske astronomen og matematikeren, Johannes Kepler, fram til det som kalles «Keplers lover», der han beskriver planetenes baner rundt sola. Han fant blant annet ut at planetenes bane rundt sola er ellipser og ikke sirkulære. På den tiden var det bare månen (naturlig satellitt) som gikk i bane rundt jorda, men også denne har en ellipsebane. På det nærmeste er månen 362 570 km unna jorda, og når den er lengst vekk i sin bane er den 405 410 km unna jorda. Mange av de kunstige satellittene som vi har i dag går også i ellipser, selv om mange av banene er nært sirkulære.

I en sirkelbane er det like langt fra sentrum til et hvert sted på sirkelperiferien. Denne avstanden er definert som radius, r .

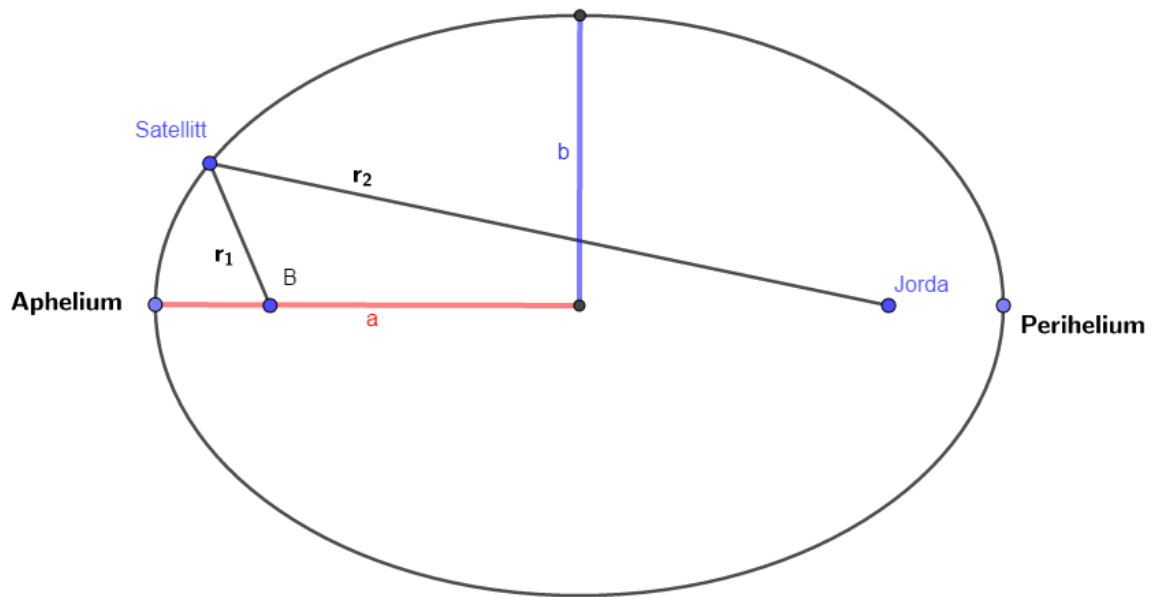


Figur 1: Ellipsebane. Illustrasjon: Andøya Space Education

En ellipse kan se ut som en slags mer eller mindre flatttrykt sirkel og man har to punkter som kalles brennpunkter eller fokuspunkter. For satellitter som går i bane rundt jorda, vil jorda være i et av fokuspunktene. Summen av avstandene fra satellitten og inn til hvert av fokuspunktene vil være konstant. Og det er det som er den matematiske definisjonen på en ellipse, og matematisk kan vi skrive det slik:

$$r_1 + r_2 = \text{konstant}$$

Vi kan også beskrive det som at lengden på veien fra det ene fokuspunktet til det andre fokuspunktet via satellitten vil være konstant. Noen ellipser er mer «flattrykt» enn andre. Vi har et mål for dette som kalles eksentrisitet, **e**. Matematisk er det forholdet til avstanden mellom de to brennpunktene og lengden **2a** (a = store halve akse), altså fra Aphelium til Perihelium (se figur 2).



Figur 2: Viser de ulike navnene i en ellipsebane. Aphelium er punktet som er lengst unna i ellipsebanen, mens Perihelium er punktet der satellitten er nærmest i sin bane. a = store halve akse, b = lille halve akse. Illustrasjon: Andøya Space Education

Eksentrisitet:

$$e = \frac{r_a - r_p}{r_a + r_p} = \frac{r_a - r_p}{2a}$$

Satellitter som går i lave baner må ha en høyere hastighet enn satellitter i høyere baner. Det betyr også at satellitter i ellipsebener har ulik hastighet etter hvor de er i sin bane.

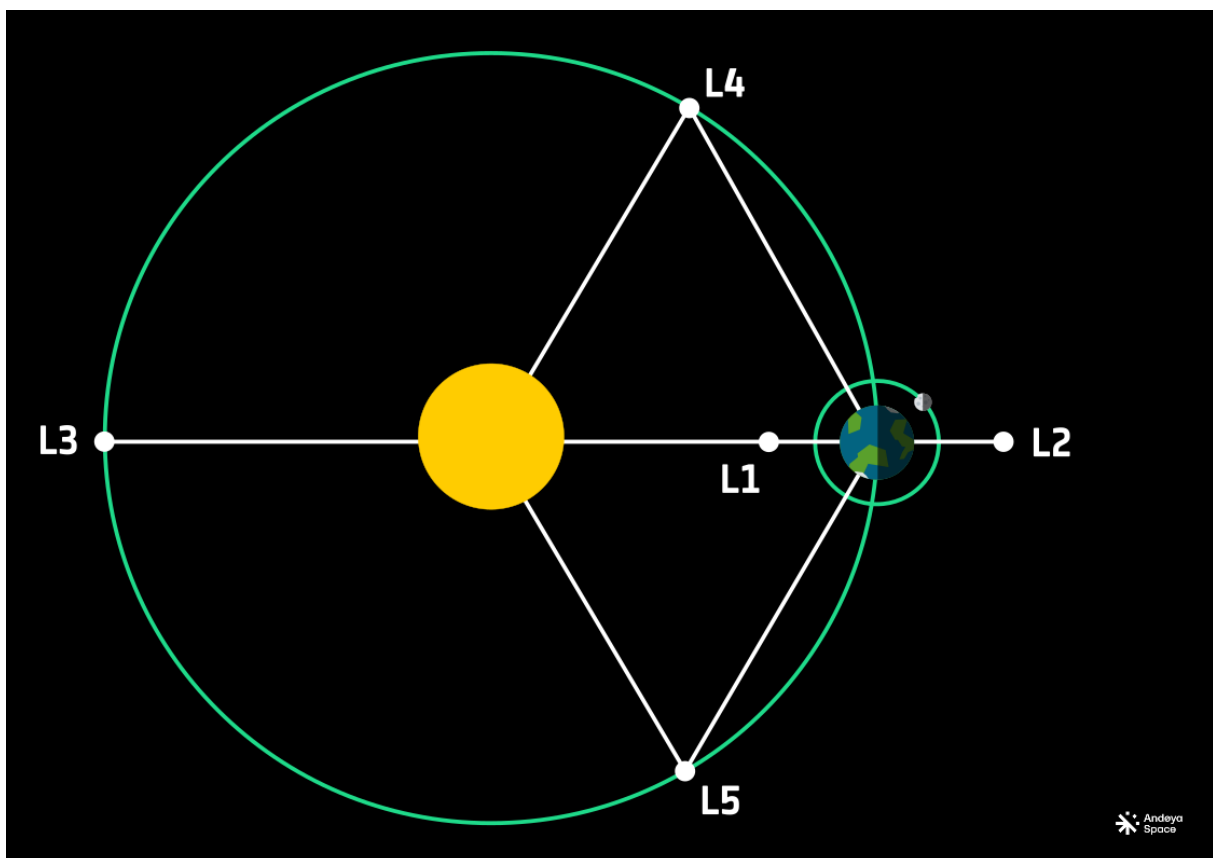
Lagrangepunkter

Det finnes noen punkter i rommet i forbindelse med jordas bane rundt sola, der kreftene som virker mellom de to himmellegemene er i likevekt. Disse punktene kalles lagrangepunktene (se figur 2). Lagrangepunkter finner vi i forbindelse med alle

systemer der et legeme går i bane rundt ett annet legeme, massen til de to legemene vil påvirke hvor punktene er.

Her skal vi kun konsentrere oss om jorda og sola. Tre av lagrangepunktene ligger, som man kan se i figuren, på linje med jorda og sola. L1, ligger mellom jorda og sola, men siden sola har så mye større masse enn jorda ligger punktet nærmere jorda. Avstanden fra jorda til L1 er 1,5 millioner km (1 % av AU). Dette punktet egner seg godt for solobservasjon da man her alltid kan være vendt mot sola uten forstyrrelser fra jorda, og det er også her man finner satellitten SOHO. I samme avstand på andre siden av jorda har vi L2. Dette punktet er også utenfor månens bane rundt jorda og egner seg godt for observasjon av universet og vi kan her finne Planck-teleskopet. James Webb Space Telescope befinner seg i L2. På solas motsatte side (omtrent i jordbane) finner vi L3. Her har vi ingen satellitter, da kommunikasjon med dem vil være vanskelig.

Til slutt har vi de to punktene L4 og L5, som ligger foran og bak jorda i banen. Og disse punktene er meget stabile. Alle planeter i bane rundt sola har slike punkter, og i 1956 oppdaget en polsk astronom at det samlet seg ekstra masse støv i bane rundt disse punktene. En del asteroider i solsystemet vårt går i slike baner – disse kalles Trojanske objekter.



Figur 3: Lagrangepunktene. Punkter der krefter er i likevekt. L1 er omtrent 1,5 millioner km fra jorda (1% av AU). Illustrasjon: Andøya Space Education

Romsøppel

I flere tiår har vi nå sendt opp satellitter i bane rundt jorda. Det har blitt enormt mange satellitter der oppe og vi drar stor nytte av dem, faktisk kunne vi i det moderne samfunn ikke unnvært dem. Dessverre byr alle satellittene også på et stort problem, og derfor har ordet **romsøppel** vokst fram som et viktig begrep de senere år.

Romsøppel er i hovedsak rakettrester, satellittrester og deler og døde satellitter som ikke lenger er i bruk, som går i bane rundt jorda. Siden verdensrommet er så stort skulle man kanskje tro at det var plass nok, men dette er faktisk et problem verdens ulike romorganisasjoner tar på alvor.

Hvorfor er dette et stort problem? Jo fordi romsøppel er en fare for satellitter som er i bruk. Dersom en satellitt blir truffet av selv en liten bit med romsøppel kan dette gjøre stor skade fordi det får store hastigheter i rommet. Vi må heller ikke glemme at vi har mennesker om bord på ISS, som også er i stor fare dersom romstasjonen skulle bli truffet. Astronautene har faktisk en evakueringsplan dersom det skulle være fare for en slik kollisjon.

Så hva gjør verdens romorganisasjoner for å løse problemet?

En ting som gjøres er å kartlegge og «følge» romsøppel. En utfordring med dette er at de mindre delene kan være vanskeligere å følge. I tillegg jobbes det med ulike typer teknologi for å fjerne romsøppel, som for eksempel å fange vrakrestene med en harpun for så å kontrollere det inn i atmosfæren, slik at det brenner opp på turen ned.

- Les mer om teknologitestning på dette området her:

<https://www.romsenter.no/laer-om-rommet/baerekraft-i-rommet>

En annen ting man gjør er å sørge for at gamle satellitter (døde satellitter) ikke skal gå i veien for de som er i bruk og dette gjøres på to måter. Enten tas satellitten ned på jorda. Noen satellitter vil da brenne opp i atmosfæren, de som ikke gjør det (eller evt rester) kontrolleres til å lande steder der de ikke skal være til skade for mennesker (ofte i havet). Den andre måten å unngå problemet på er å ta døde satellitter over i såkalte kirkegårdsbaner, baner som ikke brukes av aktive satellitter.

Sannheten er likevel at vi i dag ikke har en god nok løsning på dette økende problemet. Romsøppel står derfor også på agendaen til Space Situational Awareness (SSA), som er et ESA drevet program for å kartlegge risikoer/trusler fra og i verdensrommet. De har derfor et eget ESA *Space Debris Office*.

- Du kan lese mer om SSA her:

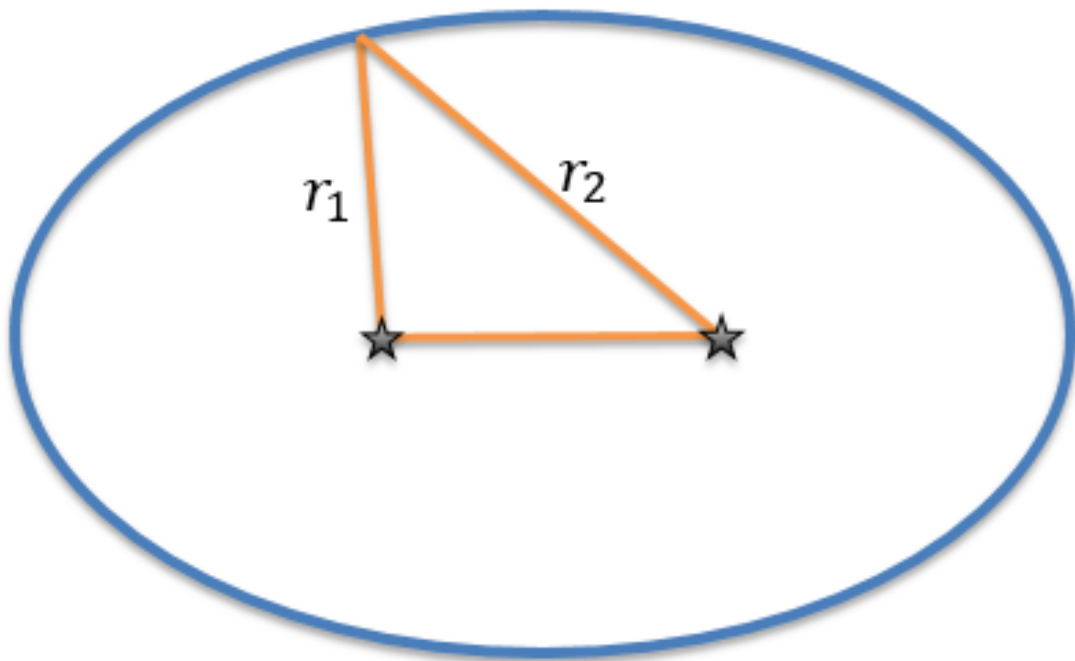
https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Ground_Systems_Engineering/ESA_Space_Debris_Office

- https://www.esa.int/About_Us/ESAC/Space_Situational_Awareness_-_SSA

Aktivitet 1: Hva er en ellipsebane

Satellitter går i ellipsebaner (akkurat som planetene går i ellipsebaner rundt sola). Noen mer eksentriske enn andre. Men hva er egentlig en ellipse og hvordan tegner man en ellipse? Denne aktiviteten er ment for å gi elevene en litt bedre forståelse av hva en ellipse er.

Mange elever kan tegne en sirkel ved hjelp av en passer, men det finnes en enkel måte å tegne en ellipse på også.



Figur 4: Ellipsebane. Illustrasjon: Andøya Space Education

Som innledning, be først elevene om å tegne en sirkel og forklare hva som kjennetegner den.

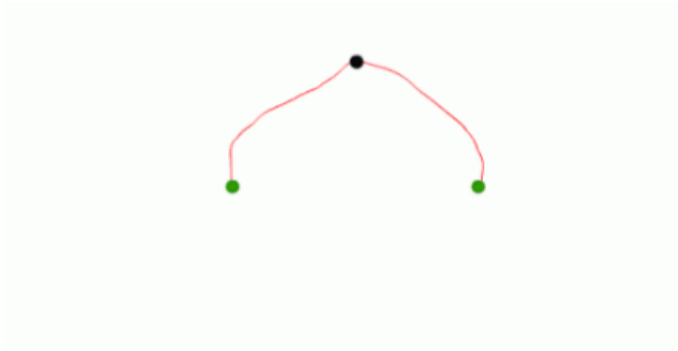
Gå deretter videre til å be elevene tegne ellipser.

Dere trenger

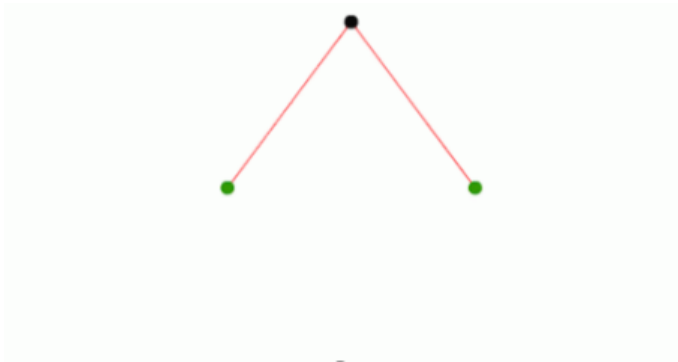
- To nåler/stifter
- Blyant
- Lang tråd
- Tegneark

Del ut nåler og tråd til hver elev og la alle elevene først få prøve seg på å tegne ellipser ved å følge fremgangsmåten.

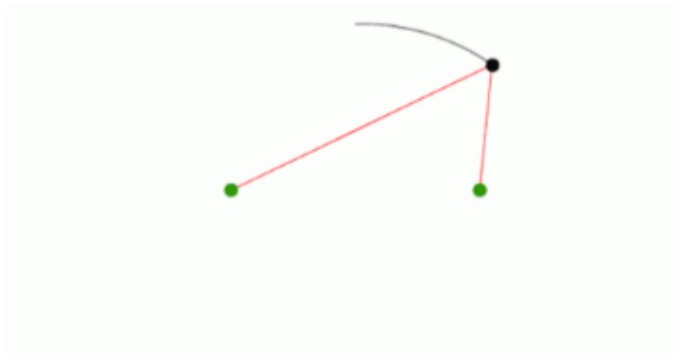
Fremgangsmåte: Fest to nåler i de to fokuspunktene (markert med stjerne på bildet), avstanden mellom punktene er ikke så viktig.



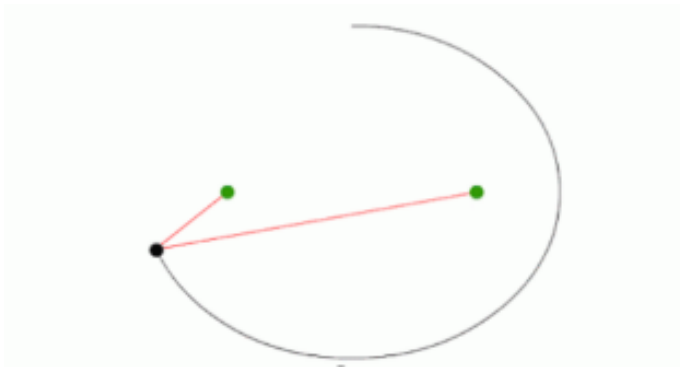
Fest tråden rundt begge nålene. La tråden gå rundt blyanten og stram tråden. Du vil nå få en ellipse.



Tegn så rundt punktene mens du hele tiden holder tråden stram.



Hvordan ellipsen vil se ut avhenger av avstanden mellom nålene og lengden på tråden.



La deretter elevene gå sammen i par. Og la dem igjen tegne ellipser, men nå ved å gå gjennom punkt A–D.

- Begge elever har samme avstand mellom nålene, men ulik lengde på tråden. Tegn ellipser som forklart over. Sammenlign de to ellipsene.
- Elevene har lik lengde på tråden, men ulik avstand mellom nålene. Tegn ellipser som forklart over. Sammenlign de to ellipsene.
- La elevene diskutere hva de ser.
- Hva skjer dersom de to fokuspunktene nærmer seg hverandre?

Avslutt med en oppsummering av hva gruppene fant ut i felleskap.

Aktivitet 2: Satellittbane

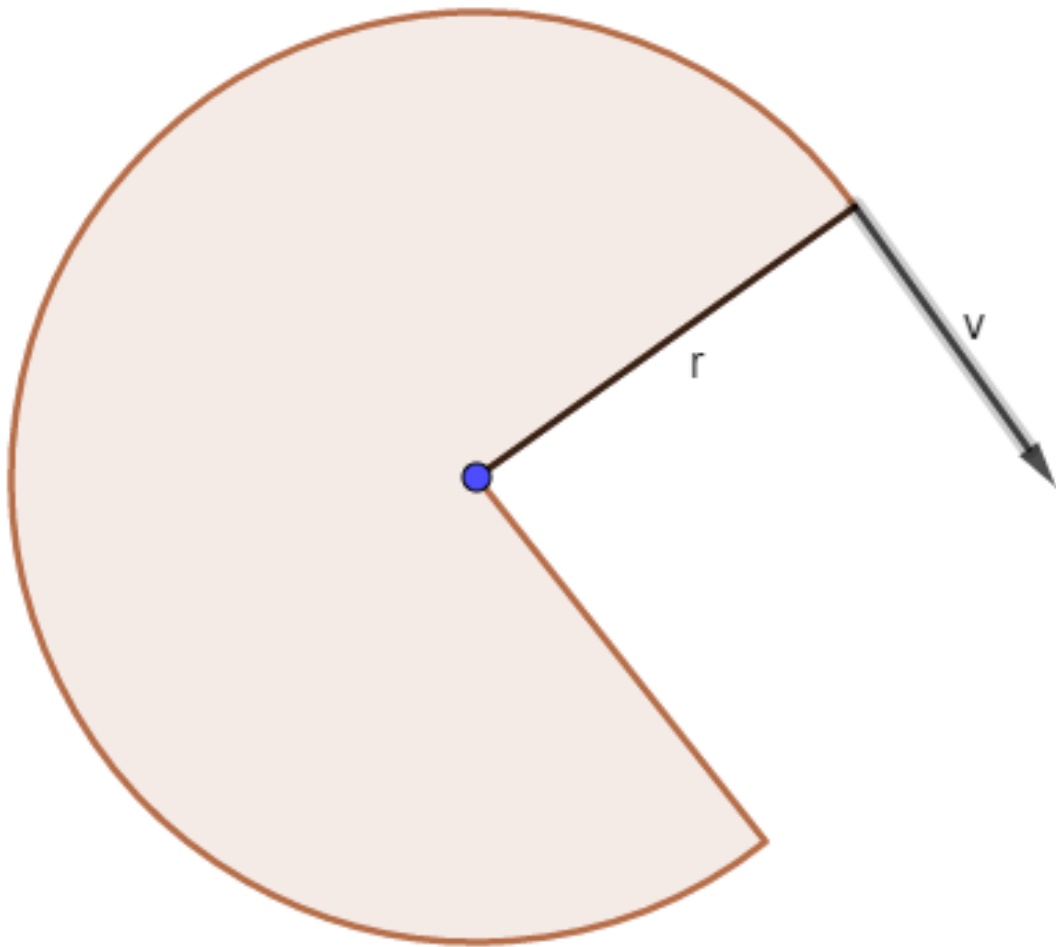
I denne oppgaven skal elevene få se litt på sammenhengen mellom hastighet og gravitasjon.

Dere trenger

- Papptallerken
- Saks
- Kule (klinkekule eller lignende)

La først kulen gå i bane rundt på tallerkenen. La elevene forklare hvorfor kulen går som den gjør. Klipp deretter ut en sektor fra tallerkenen (ca $\frac{1}{4}$ av tallerkenen). La kulen igjen «gå i bane» rundt på tallerkenen. Observer hva som skjer med kulen når den kommer til punktet der man har klipt ut av tallerkenen. PS! Det er viktig at tallerkenen ligger på et flatt underlag.

- Hvilken retning gikk kulen i?
- Hvordan vil du beskrive hastigheten til kulen?
- Hva har dette å gjøre med satellitter i bane?



Figur 5: Sirkelbane med radius r . Her ser man at retningen til hastigheten, v , er vinkelrett på radius, r .
Illustrasjon: Andøya Space Education

Spør elevene hva som gjør at satellittene holder seg i sin bane? Forklar at det er gravitasjon som gjør at de ikke forsvinner vekk fra jorda. Mange vil nok da lure på hvorfor satellittene ikke blir trukket inn mot jorda, men dette er fordi satellittene også har en hastighet. Dette illustreres med forsøket over. Kanten på tallerkenen er «gravitasjonen» som holder kulen på plass. Når du klipper bort litt av tallerkenen, vil det være som om gravitasjonen er borte i akkurat dette området, kulen vil da fortsette i samme hastighet i retning vinkelrett på radius til tallerkenen i dette punktet. Retningen til hastigheten i en bane er alltid vinkelrett på radius.

Aktivitet 3: Baneberegninger

Når man skal sende opp en satellitt er det viktig å vite i hvilken bane den skal gå i. Dette vil selvsagt avhenge av hva slags type satellitt man sender opp – hva den skal brukes til. En geostasjonær satellitt må gå i en bane med høyde mellom 38 000 og 42 000 km, mens navigasjonssatellitt skal gå i en bane på 20 000 km opp. Høyden til

satellittbanen avhenger av hastigheten til satellitten. Jo nærmere satellitten er jorda, jo større hastighet må den ha for å holde seg i bane. Siden satellitter går i ellipsebaner er de ikke like langt unna jorda til enhver tid, og satellitten går raskere når den er nærmere jorda enn når den er lengre unna.

Dere trenger

- Kule
- Snor
- Kalkulator/regneprogram

Bind snoren rundt kulen og snur den rundt så det ser ut som den går i bane. La snoren være lang nok til at dere kan variere lengden. La elevene se hvordan hastigheten må endres for å holde kulen i bane avhengig av hvor lang snoren er.

Oppgave for viderekommende

Resten av denne oppgaven inneholder matematikk som kanskje egner seg best på videregående nivå.

Tiden en satellitt bruker på banen sin, kalles omløpstid. Denne omløpstiden (T) kan regnes ut dersom man vet høyden på satellittbanen (h), radius (R) til planeten den går rundt og massen (M) til planeten. Vi må også vite hva gravitasjonskonstanten (G) er. Vi skal nå bruke formelen under for å regne ut perioden til en satellitt rundt jorda, i dette tilfellet er det radius til jorda (R_e) og massen til jorda (M_e) det er snakk om.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R_e + h)^3}{G \cdot M_e}}$$

$$R_e = 6371 \text{ km}$$

$$M_e = 5,9736 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$$

Siden gravitasjonskonstanten (G) inneholder enheten meter, må elevene huske å omgjøre høyde og radius fra kilometer til meter.

- ISS går i en bane med høyde $h = 350 \text{ km}$. Regn ut omløpstiden til romstasjonen. Hvor mange ganger rekker den rundt jorda på ett døgn?
- En geostasjonær satellitt går i en bane med høyde $h = 35\,800 \text{ km}$. Regn ut omløpstiden til denne satellitten. Hvordan stemmer dette med det du har lært om geostasjonære satellitter?

Aktivitet 4: Design og lag en satellittmodell

La elevene designe og lage egne satellittmodeller. Start med å snakke litt om prosessen ved å produsere satellitter. Spør gjerne elevene om hvor lang tid de tror det tar å lage en satellitt?

I virkeligheten er det enormt mye planlegging som skal til når man skal lage og sende opp en satellitt. Først skal man selvfølgelig designe satellitten med tanke på hva den skal brukes til. Alle deler skal deretter produseres, og dette kan ofte gjøres av ulike produsenter med sine ekspertiseområder – som oftest også på tvers av landegrenser. Deretter er det testing. Mange av delene og systemene må testes for å tåle oppskyting og ikke minst det å være i rommet. Det skal tåle ekstreme temperaturer, høyt trykk, lavt trykk og vakuum, stråling, risting for å nevne noe. Derfor er testing av alt som skal opp i rommet ekstremt viktig. Hos ESA kan dere lese om hvordan de tester Galileo-satellittene (Europas navigasjonssystem).

Videoen under viser en «shake-test» på ESAs eget testsenter i Nederland.

https://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2018/10/Noordwijk_shake

Når all testingen er gjort og satellitten er klar til å sendes opp er det ikke bare å sette i gang med oppskytingen. Satellitten må opp med en rakett som skal klargjøres og det skal nemlig også være rett tidspunkt og den må skytes i rett vinkel for å komme i rett bane.

Dere trenger

- Ark
- Skrivesaker
- Bølgepapp (eller aluminiumsfolie)
- Pappsyylinder, f.eks. dorullkjerne eller Smartiesboks.
- Vattkuler eller isoporkuler
- Lang fyrstikk eller cocktailpinner
- Knapp eller knappeform
- Gullmaling
- Sølv maling
- Ståltråd e.l.
- Lim
- Teip

Denne listen er bare et forslag til ting som kan brukes, her står man selvfølgelig fritt til å bruke hva man ønsker. La elevene få vite hva slags materialer de har tilgjengelig før de begynner på designet sitt.

Planlegging og design

Elevene jobber sammen i par. Her kan man velge å la alle elevene lage en bestemt type satellitt f.eks. satellitter til navigasjonssystemet Galileo. Eller man kan la elevene få fritt spillerom om hva slags satellitt de ønsker å lage. Uansett om alle lager samme

eller det blir opp til hver gruppe, sett av noen minutter slik at det blir bestemt type satellitt og bruk før design-perioden starter.

De skal deretter lage en arbeidstegning av satellitten. Her skal alle deler tegnes inn og funksjon forklares. Elevene må også lage en liste over det utstyret de trenger for å lage satellitten før de får starte med å bygge.

Det er jo ikke så lett å få testet, men om ønskelig kan man legge inn oppgave der gruppene må forklare hva slags tester de tenker de burde ha gjort og hvorfor.

Produksjon

Når planleggingsfasen og arbeidstegning er ferdig starter produksjonen. Elevene henter inn det de trenger og starter byggeprosessen.

Bestemme banen: Legg gjerne inn at de må bestemme seg for hva slags bane satellitten skal gå i. Er det en jordobservasjonssatellitt bør den kanskje gå i polarbane. Eller skal de ha den i geostasjonær bane? Også her er det fint om de kan forklare hvorfor.

Etterarbeid

La nå gruppene få presentere sin satellitt og arbeidstegning for resten av klassen der de forklare hva slags satellitt det er, hva de ulike delene gjør og hva slags bane de ønsker den skal gå i.

Heng deretter alle satellittene opp i klasserommet.

Utvidet oppgave

Denne oppgaven kan gjerne utvides til å inneholde økonomi. Sett stykk pris på de ulike delene (gjerne i Euro) og la gruppene få en pott på 1 million Euro. Elevene må nå lage et budsjett i planleggingsfasen sin, og må selvfølgelig holde seg innenfor 1 million Euro.

Lærerveiledning

Forklaringer og løsninger på oppgaver

Aktivitet 1:

Definisjonen på en ellipse er at $r_1 + r_2 = \text{konstant}$. Lengden på tråden vil være $r_1 + r_2$ og siden den er konstant vil vi få en ellipse.

Gruppeoppgaven. Eksentrisiteten på ellipsen vil variere av avstanden mellom fokuspunktene (nålene). Om man holder avstanden mellom fokuspunktene fast, men

endrer lengden på tråden vil man se at jo lengre tråden er jo mindre blir eksentrisiteten. Omvendt kan man se at dersom man holder lengden på tråden konstant, men endrer avstanden mellom fokuspunktene, vil eksentrisiteten endres. Dette kan man også velge å demonstrere i et dynamisk geometriprogram som GeoGebra.

Dersom punktene nærmer seg hverandre, vil eksentrisiteten bli mindre. Dersom punktene til slutt er i samme punkt, vil vi ha en sirkel (eksentrisitet = 0). Dersom man vil kan man også regne ut eksentrisiteten ved å bruke denne formelen:

$$e = \frac{r_a - r_p}{r_a + r_p}$$

Der

r_a = radius til perihel (lengste avstand)

r_p = radius til apogee (korteste avstand)

Aktivitet 3: Løsning

- a) Gjør om radius og høyde til meter

$$R_e = 6371 \text{ km} = 6\,471\,000 \text{ m}$$

$$h = 350 \text{ km} = 350\,000 \text{ m}$$

Vi setter alle tallene inn i formelen for omløpstiden, T

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R_e + h)^3}{G \cdot M_e}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(6371000 + 350000)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,9736 \cdot 10^{24}}} = 5484,66 \text{ s}$$

Gjør om fra sekunder til timer og minutter

$$5484,66 \text{ s} \approx 1 \text{ time } 31 \text{ min}$$

Siden ett døgn er 24 timer eller $24 \cdot 3600 \text{ s}$ får vi at ISS tar

$$\frac{24 \cdot 3600}{5484,66} \approx 15,75$$

Ca 16 ganger i døgnet går ISS rundt jorda.

- b) Vi gjør om høyde til meter: $h = 35\,800 \text{ km} = 35\,800\,000 \text{ m}$ og setter inn i formelen

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(6371000 + 35800000)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,9736 \cdot 10^{24}}} = 86\,202,5\,s$$

Gjør vi om dette til timer og minutter:

86 202,5 s $\approx$ 23 timer 56 minutter 42 sek.

Vi ser at det stemmer godt overens med at geostasjonære satellitter går i bane over ekvator og bruker 1 døgn på en runde. De er dermed «fiksert» over ett punkt på jordoverflaten.

Læringsmål

- Elevene vil lære om hva satellitter er og hvordan de brukes til ulike formål
- Elevene vil lære hva som kjennetegner en ellipsebane og hvordan de kan tegne en ellipse
- Elevene vil lære hvordan man kan gjøre enkle baneberegninger
- Elevene lærer om planleggingsprosesser og å forholde seg til kravspesifikasjoner i en produksjon

Kilder

Figur 1: Ellipsebane. Illustrasjon: Andøya Space Education	5
Figur 2: Viser de ulike navnene i en ellipsebane. Aphelium er punktet som er lengst unna i ellipsebanen, mens Perihelium er punktet der satellitten er nærmest i sin bane. a = store halve akse, b = lille halve akse. Illustrasjon: Andøya Space Education	6
Figur 3: Lagrangepunktene. Punkter der krefter er i likevekt. L1 er omtrent 1.5 millioner km fra jorda (1% av AU). Illustrasjon: Andøya Space Education	7
Figur 4: Ellipsebane. Illustrasjon: Andøya Space Education	9
Figur 5: Sirkelbane med radius r . Her ser man at retningen til hastigheten, v , er vinkelrett på radius, r . Illustrasjon: Andøya Space Education	12

Lisensiering:

Dette verket er lisensiert under en [Creative Commons Navngivelse-IkkeKommersiell-IngenBearbeidelse 4.0 Internasjonal lisens \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Du kan dele dette materialet så lenge du krediterer oss, ikke bruker det kommersielt, og ikke endrer det.