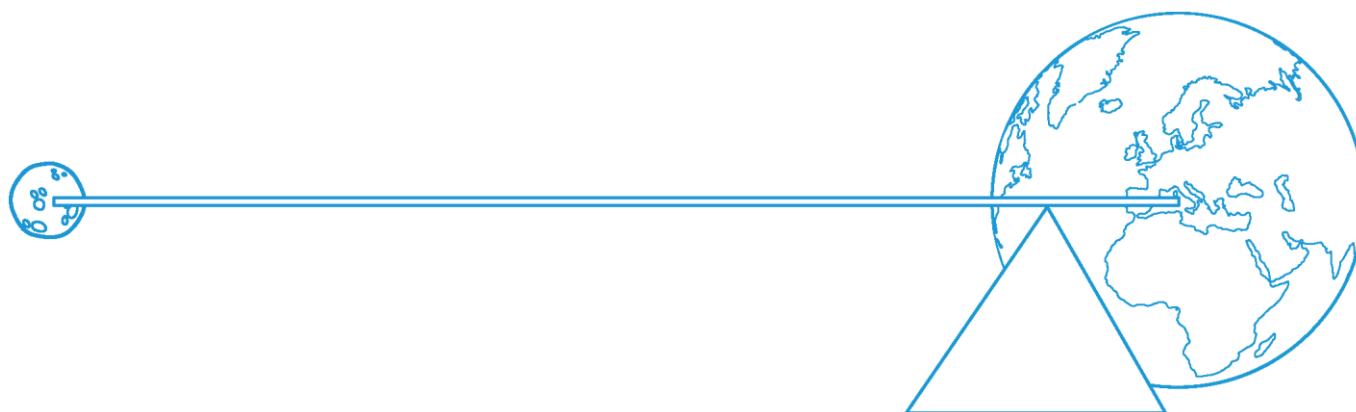


# Oppeja avaruudesta

## → JÄRJESTELMÄN MASSAKESKIPISTE

Kiertoradat ja massakeskipiste





## **Lyhyesti**

**sivu 3**

## **Tehtävä – Järjestelmän massakeskipiste**

sivu 4

Keskustelu

sivu 7

Päätelmät

sivu 8

## **Tehtäväpaperi**

sivu 9

## **Liitteet**

**sivu 11**

Tennispallojen valmistelu

sivu 11

Johdettu keskustelu

sivu 13

Sanasto

sivu 18

Linkkejä

sivu 19

## → JÄRJESTELMÄN MASSAKESKIPISTE

### Kiertoradat ja massakeskipiste

#### Lyhyesti

**Ikäsuositus:** 14–18-vuotiaat

**Tyyppi:** opettajajohtoinen

**Vaikeusaste:** helppo

**Opettajan valmistelu-aika:** 1 tunti  
tarvikkeiden valmisteluun

**Vaadittava aika:** 10–30 minuuttia

**Kustannukset:** keskiuuret (5–25 euroa)

**Sijainti:** ulkona tai suuressa sisätilassa  
(esim. auditorio/liikuntahalli)

**Vaatii seuraavien käyttöä:** tennispallot,  
laakerikuulat

#### Yhteydet opetussuunnitelmaan

##### Fysiikka

- voiman momentti/vääntövaikutus
- massakeskipiste
- planeetan/satelliitin kiertorata
- Doppler-ilmiö
- pyörimisliike

##### Matematiikka

- voiman momentti/vääntövaikutus
- massakeskipiste
- pyörimisliike

##### Tähtitiede

- planeetan/satelliitin kiertorata
- Doppler-ilmiö
- kaksoistähdet
- eksoplaneettojen etsiminen

#### Esittely

Tässä tehtävässä esitellään massakeskipisteen käsite voiman vääntövaikutuksen ja pyörivän järjestelmän avulla ja esitellään, miten toisiaan kiertävät avaruuden kappaleet liikkuvat. Tämän jälkeen oppilaat lujittavat ymmärrystään laskemalla massakeskipisteen annetuissa tähtitieteeseen liittyvissä yhteyksissä.

#### Oppilailta vaaditut ennakkotiedot

1. Voiman momentin/vääntövaikutuksen käsite.
2. Doppler-vaikutuksen soveltaminen elektromagneettiseen spektriin.

#### Oppimistavoitteet

1. Tehtävä opettaa massakeskipisteistä, ja sen jälkeen oppilaat ymmärtävät, että painovoimalla sidotussa kahden tai useamman kappaleen järjestelmässä kaikki kappaleet kiertävät yhteisen massakeskipisteen ympärillä.
2. Oppilaat oppivat laskemaan kahden kappaleen järjestelmän massakeskipisteen voiman momentin avulla.
3. Oppilaat soveltavat fysiikan käsitteitä useisiin tähtitieteen tilanteisiin, oppivat kaksoistähtijärjestelmistä, planeetta-kuujärjestelmistä ja aurinkokunnan ulkopuolisista planeetoista.

#### Tarvitset myös



↑ Barycentric balls -video (VP07a, englanniksi).

Barycentric balls in space -video (VP07b, englanniksi). Ks. Linkit-osio.

## Järjestelmän massakeskipiste

Kun tarkastellaan Aurinkoa kiertävien planeettojen kiertoratoja, emoplaneettaansa kiertäviä kuita tai Maata tai muuta taivaankappaletta kiertäviä avaruusaluksia, on helppo olettaa, että vain yksi kappale (massaltaan pienempi) liikkuu ja toinen pysyy paikoillaan. Newtonin kolmannen lain eli voiman ja vastavoiman lain mukaan:

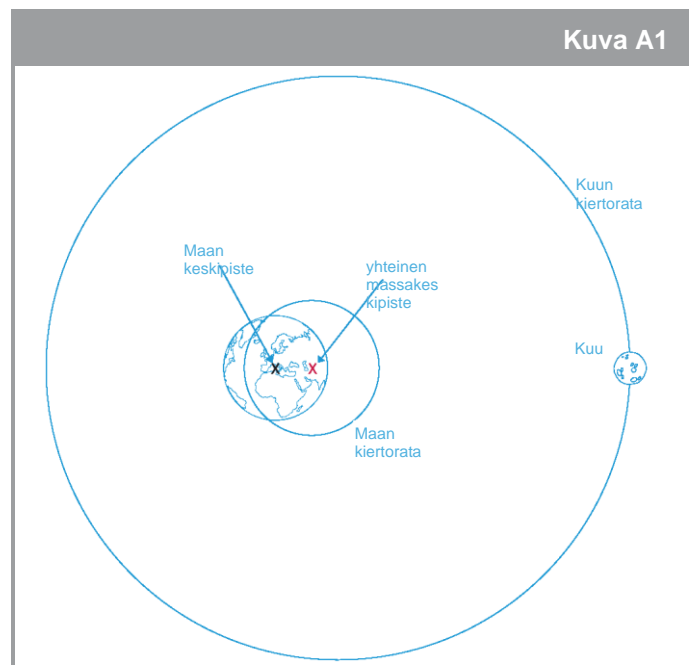
*”jos kappale A vaikuttaa kappaleeseen B jollakin voimalla, niin kappale B vaikuttaa kappaleeseen A yhtä suurella, mutta vastakkaissuuntaisella voimalla”.*

Tämä tarkoittaa, että molemmat kappaleet vaikuttavat toisiinsa samalla vetovoimalla, ja voimat vaikuttavat molempien kappaleiden liikeratoihin.

Tämä tarkoittaa, että jos tarkastelemme kahden kappaleen järjestelmää, esimerkiksi Maata ja Kuuta, Kuu ei kierrä Maata vaan sekä Maa että Kuu kiertävät yhteistä pistettä avaruudessa. Pistettä, jonka ympärillä ne kiertävät, kutsutaan järjestelmän **yhteiseksi massakeskipisteeksi\***.

Jos yhden kappaleen massa on paljon suurempi kuin toisen, kuten Maan ja Kuun (tai Maata kiertävän keinotekoisien satelliittien) tapauksessa, suurempimassaisen kappaleen (Maan) kiertoliike ei välttämättä ole selvästi havaittavissa. Tämä johtuu siitä, että massakeskipiste on paljon lähempänä Maan keskustaa kuin Kuun tai satelliittien keskustaa. Kuvassa A1 esitetään Maan ja Kuun järjestelmä.

Sama pätee koko aurinkokuntaan. Auringon massan osuus on noin 99,85 % koko aurinkokunnan massasta. Aurinkokunnan massakeskipiste on siis lähellä Auringon keskustaa, ja siksi Auringon kiertoliike massakeskipisteen ympärillä on todettavissa vain erittäin tarkkoilla havainnoilla.



↑ Kaaviokuva Maan ja Kuun järjestelmästä. Kuva ei ole mittakaavassa, vaan sen on tarkoitus havainnollistaa yhteisen massakeskipisteen sijaintia sekä Maan ja Kuun kiertoratoja sen ympärillä. Yhteinen massakeskipiste sijaitsee noin 4 650 kilometrin päässä Maan keskipisteestä, kun taas Maan säde on hieman alle 6 400 kilometriä. Yhteinen massakeskipiste on noin 80 kertaa kauempana Kuun keskustasta kuin Maan keskustasta.

\* **Yhteinen massakeskipiste:** järjestelmän massojen keskipiste.

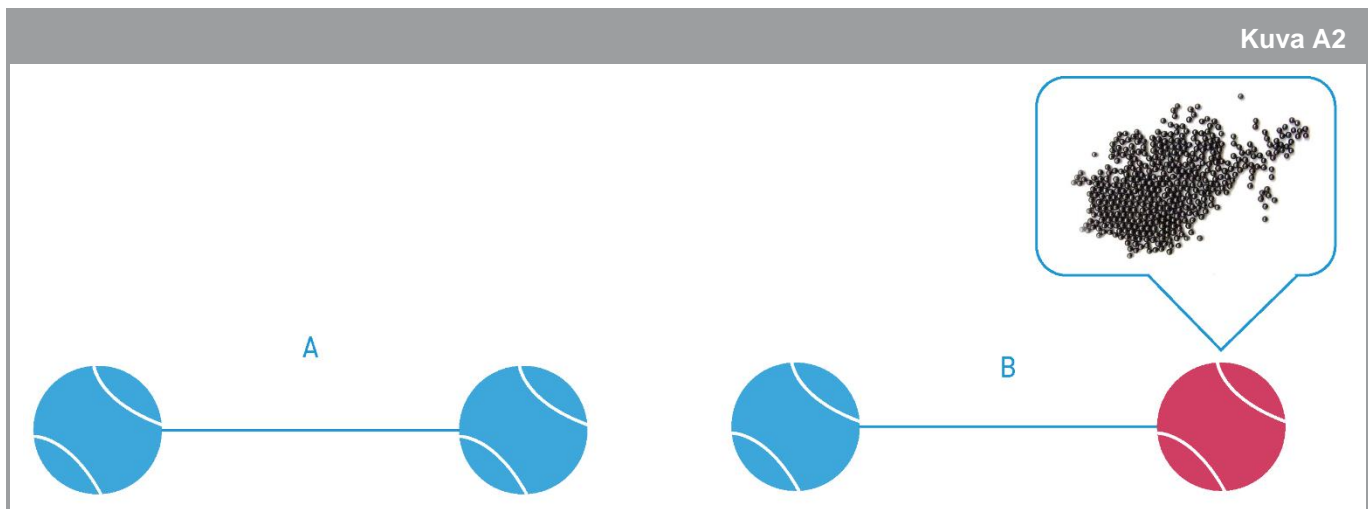
**Massakeskipiste:** kappaleen tai järjestelmän kohta, jossa kappaleeseen vaikuttavien voimien resultantti on nolla. Kappale on tasapainossa missä asennossa tahansa, jos se tuetaan massakeskipisteestä.

Tässä esittelyssä osoitetaan kahden valmiiksi kootun tennispalloparin avulla, miten kahden kappaleen järjestelmän massakeskipisteen paikka muuttuu, jos järjestelmän kappaleiden massa muuttuu. Ensimmäisen parin palloilla on sama massa. Toisen parin tennispalloista yksi täytetään kolikoilla tai laakerikuulilla sen massan lisäämiseksi.

## Tarvikkeet

Ohjeet tennispallojen valmisteluun löytyvät liitteestä.

- Pari samanpainoisia tennispalloja, jotka on yhdistetty narulla
- Pari eripainoisia tennispalloja, jotka on yhdistetty narulla



↑ A) Pari yhtä painavia (tyhjiä) tennispalloja.

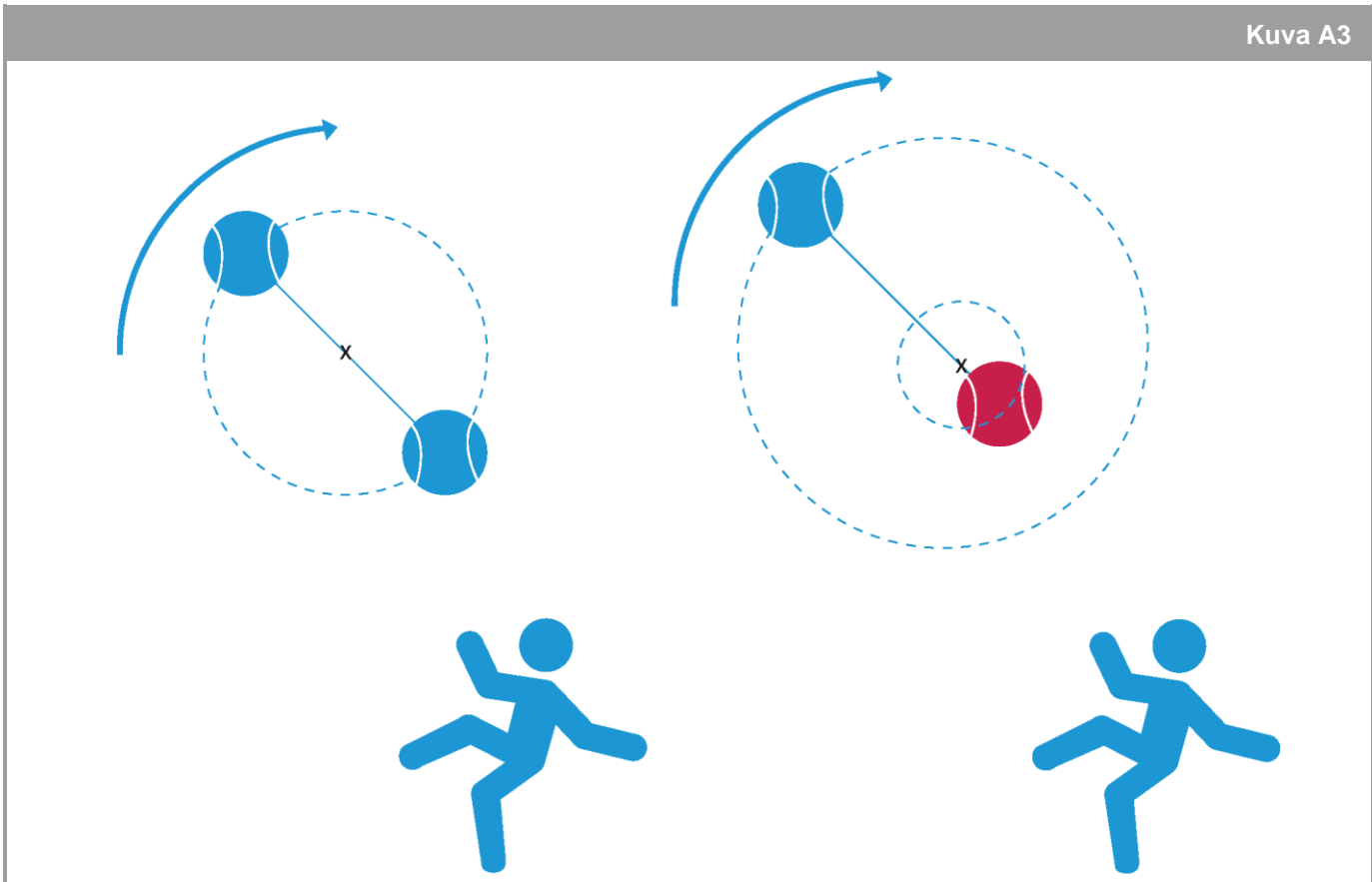
B) Pari eripainoisia tennispalloja: yksi tennispalloista on täytetty laakerikuulilla, kohopainoilla tai kolikoilla, ja se on värjätty, jotta se on helppo erottaa muista.

## Ohjeet

Katso oheinen englanninkielinen video: Teach with space - barycentric balls | VP07a.

1. Pitele samanmassaisia tennispalloja niin, että toinen palloista on kädessäsi ja toinen roikkuu sen alla.
2. Heilauta palloja muutaman kerran kerätäksesi vauhtia ja vapauta sitten kädessäsi oleva pallo.
3. Pallot seuraavat liikeratojaan, jolloin ne molemmat pyörivät järjestelmänsä massakeskipisteen ympäri. Samanpainoisten pallojen muodostaman järjestelmän massakeskipiste on narun keskipiste (kuva A3).
4. Toista eripainoisilla palloilla. Voit pitää kumpaa vain palloa kädessäsi. Anna toisen taas roikkua sen alla. Kun eripainoiset pallot vapautetaan, raskaamman pallon kiertorata massakeskipisteen ympärillä on selvästi pienempi kuin kevyemmän pallon eli massakeskipiste on lähempänä raskaampaa palloa (kuva A3). Mitä suurempi ero massojen välillä on, sitä lähempänä raskaampaa tennispalloa massakeskipiste on.

Kuva A3



↑ Vasemmalla: Samanpainoisten tennispallojen massakeskipiste sijaitsee järjestelmän keskellä eli keskellä narua X-kirjaimella merkityssä kohdassa. Molemmat tennispallot lentävät samalla radalla (katkoviiva). Oikealla: Eripainoisten tennispallojen massakeskipiste (merkitty X:llä) sijaitsee paljon lähempänä punaiseksi väritettyä painavampaa, täytettyä palloa. Tämä näkyy siten, että painavampi pallo kiertää lentäessään paljon pienempää rataa, kun taas kevyempi pallo kiertää suurempaa rataa.

## Turvallisuus

- Tämä esittely tulee tehdä ulkona tai suuressa sisätilassa, kuten auditoriossa tai liikuntasalissa.
- Oppilaiden tulee pysytellä kauempana.
- Opettajan tulee harjoitella pallojen heittämistä ennen tehtävän esittämistä oppilaiden edessä.
- Ennen jokaista esittelyä tarkista huolellisesti, että kaikki solmut ovat tiukasti kiinni ja että painavamman pallon täyttämiseen käytetty reikä on suljettu hyvin.

## Keskustelu

Kun olet suorittanut esittelyn, keskustele oppilaiden kanssa siitä, mitä he havaitsivat. Alla on ehdotettu kysymyksiä, joista keskustella.

Näihin kysymyksiin perustuva johdettu keskustelu, jossa keskitytään tehtävän avaruusyhteyteen, on esitetty liitteessä.

Materiaaleissa on myös oppilaiden tehtäväpaperi, jonka laskutehtävät liittyvät avaruuteen. Tätä voi käyttää tarvittaessa.

Keskustelun tavoitteena on opettaa oppilaille seuraavat keskeiset asiat:

- Kahden tai useamman kohteen järjestelmässä on yhteinen massakeskipiste, jonka ympärillä kaikki kohteet kiertävät.
- Massakeskipisteen sijainti riippuu kohteiden massoista. Kahden samanmassaisen kohteen massakeskipiste sijaitsee järjestelmän geometrisessä keskipisteessä. Jos massat eroavat toisistaan, yhteinen massakeskipiste on lähempänä massiivisemmän kohteen massakeskipistettä.
- Oppilaiden pitäisi pystyä laskemaan kahden kappaleen järjestelmän massakeskipisteen paikka voiman momenttien avulla.
- Massakeskipisteen ymmärtäminen on tärkeää avaruuskontekstissa, sillä sitä sovelletaan esimerkiksi tähtiä kiertävien, muutoin havaitsemattomissa olevien planeettojen löytämiseen sekä oman aurinkokuntamme kappaleiden luokitteluun planeetoiksi, kuiksi tai kaksoisplaneetoiksi.

### Esimerkkikysymyksiä:

- **Miten järjestelmän yhteinen massakeskipiste löydetään?**
- **Miten tähtitieteilijät löytävät avaruuden kaukaisten järjestelmien, kuten kaksoistähtijärjestelmien tai muiden tähtien ympärillä kiertävien planeettojen, yhteisen massakeskipisteen?**
- **Miten yhteistä massakeskipistettä käytetään erottamaan toisistaan planeetta, jolla on luonnollinen kiertolainen (kuu), ja kaksi planeettaa, jotka kiertävät yhteistä massakeskipistettä (kaksoisplaneetta)?**
- **Onko Pluto oikeastaan kaksoiskääpiöplaneetta?**
- **Mitä tapahtuu kaksoistähtijärjestelmissä, joissa kaksi hyvin massiivista kappaletta kiertää toisiaan lähellä?**

## → JOHTOPÄÄTÖKSET

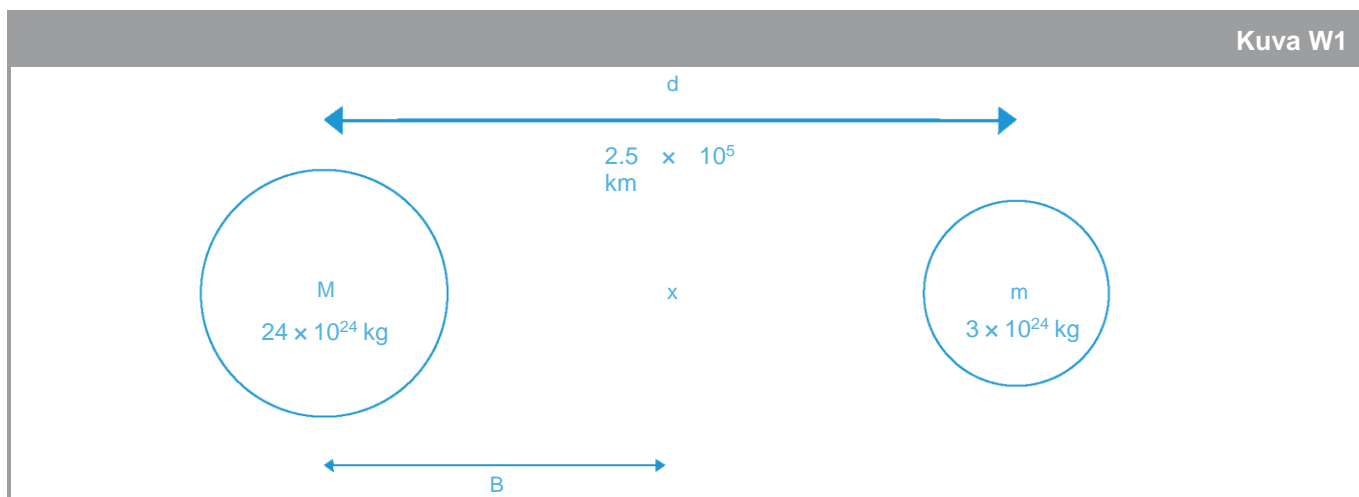
Tässä tehtävässä tutkitaan kahta fysiikan ja mekaniikan avainkäsitettä, massakeskipistettä ja voiman momenttia, yksinkertaisen mutta tehokkaan demonstraation avulla. Tehtävä herättelee ja aktivoi oppilaiden mielikuvitusta asettamalla nämä käsitteet avaruuden, kuiden, kaksoisplaneettojen ja tähtien kiertoratojen kontekstiin.



## Massakeskipisteet avaruudessa

### Kysymykset

1. Laske kuvassa W1 esitetyn massakeskipisteen etäisyys kappaleiden M ja m keskipisteisiin.



2. a) Kuun massa on  $0,0123 M_E$  (jossa  $M_E$  on Maan massa) ja etäisyys Maan keskipisteestä Kuun keskipisteeseen on  $384\,000 \text{ km}$ . Maan säde on  $6,37 \times 10^3 \text{ km}$ . Osoita, että Maa ja Kuu ovat planeetta-kuu-järjestelmä.
- b) Alla on joitakin tietoja Plutosta ja sen suurimmasta kuusta Kharonista, jotka on otettu NASA:n *Lunar and Planetary Science* -tietosivuilta:

Pluton massa	$1,31 \times 10^{22} \text{ kg}$
Pluton säde	$1\,195 \text{ km}$
Kharonin massa	$1,62 \times 10^{21} \text{ kg}$
Keskipisteiden välinen etäisyys	$19\,600 \text{ km}$

Osoita, ovatko Pluto ja Kharon planeetta-kuu-järjestelmä vai kaksoisplaneettajärjestelmä.

3. Auringon halkaisija on  $1,4$  miljoonaa kilometriä ja Jupiterin säde on  $140\,000$  kilometriä. Auringon ja Jupiterin välinen etäisyys on keskimäärin  $778$  miljoonaa kilometriä. Auringon massa on noin  $1\,000$  kertaa Jupiterin massa. Laske Aurinko-Jupiter-järjestelmän massakeskipisteen sijainti. Mitä huomaat?

4. *Teach with space - barycentric balls in space* | VP07b -videossa ESA:n astronautti Samantha Cristoforetti esittelee yhteisen massakeskipisteiden periaatetta painovoimattomuudessa kansainvälisellä avaruusasemalla (ISS).

Ensimmäisessä havaintoesittelyssä Samantha yhdistää kaksi pesäpalloa neulepuikolla. Pallojen massa on sama, joten massakeskipiste sijaitsee niiden muodostaman järjestelmän geometrisessä keskustassa eli neulepuikon keskellä. Kun Samantha kohdistaa voimaa yhteen palloista, järjestelmä pyörii massakeskipisteen ympäri. Seuraavaksi Samantha kohdistaa voimaa massakeskipisteeseen, jolloin koko järjestelmä liikkuu, mutta ei pyöri.

Toisessa havaintoesittelyssä Samantha korvaa toisen palloista samankokoisella mutta eri massaisella pallolla. Kun Samantha kohdistaa voimaa uuteen palloon, järjestelmä pyörii yhteisen massakeskipisteensä ympäri, joka ei ole enää järjestelmän geometrisessa keskustassa. Kuten aiemminkin, kun Samantha kohdistaa voiman massakeskipisteeseen, järjestelmä liikkuu, mutta ei enää pyöri.

Pesäpallon massa on 0,145 kg, neulepuikon pituus on 0,3 m ja massakeskipisteen sijainti on yksi neljännes ensimmäisen pesäpallon keskikohdan ja toisen pallon keskikohdan välisestä etäisyydestä. Mikä on toisen pallon massa? Kumman kappaleen massa on suurempi?

## → LIITE

### Tennispallojen valmistelu

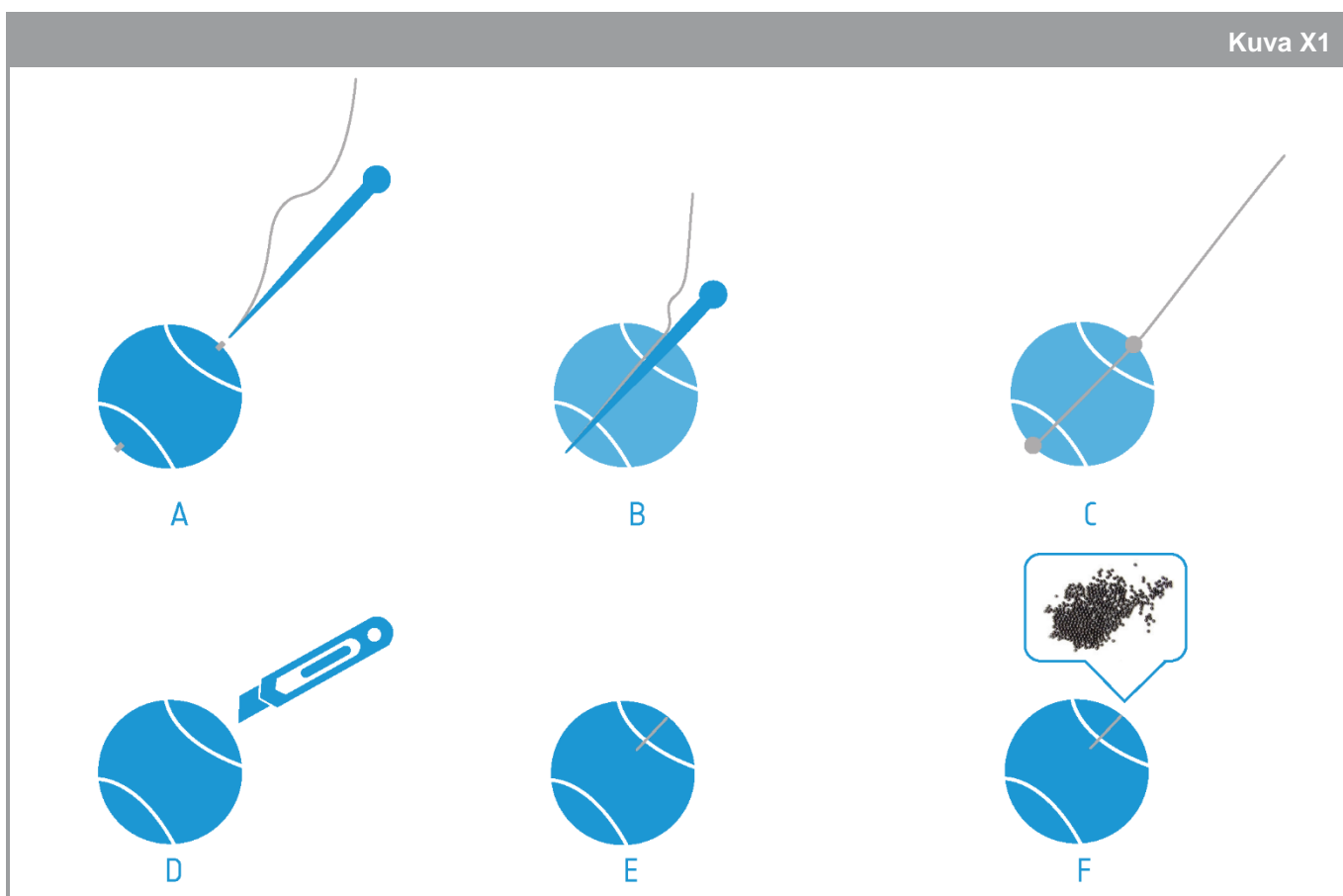
Kummassakin havaintoesityksessä kaksi tennispalloa on yhdistetty vahvalla narulla. Ensimmäisen parin pallot ovat yhtä painavia. Toisessa tennispalloparissa yksi pallo täytetään laakerikuulilla tai kolikoilla, jotta saadaan kaksi erimassaista kappaletta.

### Tarvikkeet

- 4 tennispalloa
- vahvaa narua
- sakset
- tussi
- neulepuikko (tai ruuvimeisseli)
- laakerikuulia/kohopainoja/pieniä kolikoita – tarpeeksi täyttämään yksi tennispallo
- vahvaa liimaa tai vahvaa teippiä
- teippiä
- askarteluveitsi

### Ohjeet

1. Leikkaa noin 60 cm pituinen pätkä narua.
2. Kiinnitä narun toinen pää neulepuikkoon teipillä.
3. Työnnä neulepuikko tennispalloon niin, että se tekee pienen reiän. Työnnä neulepuikko pallon läpi ja tee toinen reikä vastakkaiselle puolelle – voi olla helpointa piirtää kaksi pistettä tennispalloon valmiiksi. Kun neulepuikon kärki puhkaisee pallon vastakkaiselta puolelta, poista teippi ja estä narun karkaaminen kaksoissolmulla (katso kuvat AX1 A–B).
4. Vedä neulepuikko takaisin ulos ensimmäisen reiän läpi ja tee naruun toinen kaksoissolmu. Naru kulkee nyt pallon läpi ja se on kiinnitetty paikoilleen solmuilla kummaltakin puolelta. Vahvista kiinnitystä tarvittaessa liimalla tai vahvalla teipillä (katso kuva AX1 C).
5. Toista vaiheet 1–4 toiselle tennispalolle käyttämällä ensimmäisessä tennispallossa kiinni olevan narun toista päästä. Tennispallojen välissä pitäisi olla noin 40–50 cm narua.
6. Toista vaiheet 1–5 toisella tennispalloparilla. Varmista, että molempien tennispalloparien tennispallojen välissä on suurin piirtein saman verran narua.
7. Valitse toinen tennispallopareista, ja tee pieni viilto toiseen tennispalloon askarteluveitsellä. Täytä tennispallo laakerikuulilla/kohopainoilla/pienillä kolikoilla. Sulje viilto liimalla tai vahvalla teipillä. (Katso kuvat AX1 D–F)
8. Väritä/merkitse täytetty tennispallo tussilla.



↑ Tennispalloparien kokoaminen.

## Johdettu keskustelu

### Miten järjestelmän yhteinen massakeskipiste löydetään?

Jokaisella avaruuden kahden tai useamman kappaleen järjestelmällä on yhteinen massakeskipiste, jota kaikki järjestelmän kappaleet kiertävät.

#### Yksinkertaisin tilanne: kahden kappaleen järjestelmä

Yksinkertaisessa kahden kappaleen järjestelmässä yhteinen massakeskipiste on piste, jota molemmat kappaleet kiertävät. Massakeskipistettä voidaan pitää järjestelmän tasapainopisteenä.

Jos tiedämme kahden kappaleen massat ja niiden välisen etäisyyden, voimme laskea massakeskipisteen sijainnin voiman **momenttien**\* avulla. Aloitetaan ajattelemalla järjestelmää, joka tasapainoilee jonkin tuen päällä, kuten kahta ihmistä kiikkulaudalla. Jos tuki sijaitsee massakeskipisteessä, kummankin puolen momentit kumoaisivat toisensa, jos järjestelmä asetettaisiin kuvitteelliseen ulkoiseen gravitaatiokenttään.

Katsotaan kahden kappaleen järjestelmää kuvassa X2. Kappaleiden massat ovat  $M$  ja  $m$  merkityn mukaisesti ja niiden keskipisteiden välinen etäisyys on  $d$ . Massakeskipiste sijaitsee kappaleiden välissä. Massiivisemmän kappaleen keskipisteen ja massakeskipisteen välinen etäisyys on  $B$ .



↑ Kuvan kaksi kappaletta ( $M$  ja  $m$ ) kiertävät yhteistä massakeskipistettä. Kappaleiden välinen matka on etäisyys  $d$ , ja etäisyys massiivisemmän kappaleen  $M$  keskipisteen ja massakeskipisteen välillä on etäisyys  $B$ .

Massakeskipisteen ympärillä olevat momentit ovat:

Massakeskipisteen ympärillä olevien myötäpäivään suuntautuvien momenttien summa

=

Massakeskipisteen ympärillä olevien vastapäivään suuntautuvien momenttien summa

eli momentit kumoavat toisensa. Siksi kuvassa X2 olevan järjestelmän osalta:

\* **Momentti:** taipumus tuottaa liikettä, erityisesti kiertoliikettä, pisteen tai akselin ympäri.

B = etäisyys yhteisestä massakeskipisteestä kappaleen M keskipisteeseen (metreinä)  
d = kappaleiden massakeskipisteiden välinen etäisyys (metreinä)  
m = pienemmän kappaleen massa (kilogrammina)  
M = suuremman kappaleen massa (kilogrammina)

Siksi:

$$\begin{aligned}M \times B &= m \times (d - B) \\MB &= md - mB \\MB + mB &= md \\B \times (M + m) &= md\end{aligned}$$

Tästä saamme etäisyyden yhteiseen massakeskipisteeseen kappaleen M keskipisteestä:

$$B = md/(M+m)$$

## Miten tähtitieteilijät löytävät avaruuden kaukaisten järjestelmien, kuten kaksoistähtijärjestelmien tai muiden tähtien ympärillä kiertävien planeettojen, yhteisen massakeskipisteen?

Tähtitieteen mittakaavassa **kaksoistähti\*** järjestelmän tähtien liikettä niiden massakeskipisteen ympärillä on vaikea havaita. Vaikka tähtien välinen fyysinen etäisyys voi olla useita miljoonia kilometrejä, meidän näkökulmastamme – Maasta ja sen lähiavaruudesta – tarkasteltuna tähtien liike taivaalla on pientä – vain asteen tuhannesosa tai jopa vähemmän.

Kaksoistähtien liikkeitä vieläkin vaikeampaa on havaita sitä pientä huojuntaa, jonka emotähteään kiertävä **eksoplaneetta\*** aiheuttaa, kun emotähti ja planeetta kiertävät yhteistä massakeskipistettään, koska planeetta-tähti-järjestelmässä massakeskipiste on emotähden sisällä. Huojunnan havaitsemiseksi tähtien sijainnit on mitattava erittäin tarkasti ja monta kertaa.

### Tiesitkö?

Joulukuussa 2013 Euroopan avaruusjärjestö laukaisi avaruuteen Gaia-avaruusobservatorion (kuva X3), jonka tehtävänä on kartoittaa tarkasti noin 1,2 miljardin Linnunradan tähden sijainnit ja ominaisuudet. Gaia jatkaa ESA:n aiemman Hipparcos-satelliitin työtä – Hipparcos laukaistiin avaruuteen vuonna 1989 (kuva X4). Neljän toimintavuotensa aikana Hipparcos kartoitti noin 120 000 tähden tarkat sijainnit taivaalla. Hipparcosin tekemät mittaukset mahdollistivat monien kaksoistähtijärjestelmien massakeskipisteen määrittämisen. Joidenkin järjestelmien osalta tulokset eivät vastanneet odotuksia, vaan viittasivat kumppanitähden mahdollisuuteen, joista osan olemassaolo on myöhemmin vahvistettu muilla havainnoilla. Tähtien sijaintien ja liikkeiden tutkimista taivaalla kutsutaan **astrometriaksi\***, mutta se on vain yksi keinoista, joita astronomit käyttävät kumppanitähden tai planeettojen löytämiseen. Toinen keino on etsiä huojuntaa tähden havaitusta valospektristä Doppler-ilmiön avulla – tätä kutsutaan **säteisnopeusmenetelmäksi\***. Lisätietoja näistä ja muista eksoplaneettojen löytämiseen käytetyistä keinoista ja menetelmistä löytyy englanniksi Linkit-osion linkistä *How to find an extrasolar planet*.

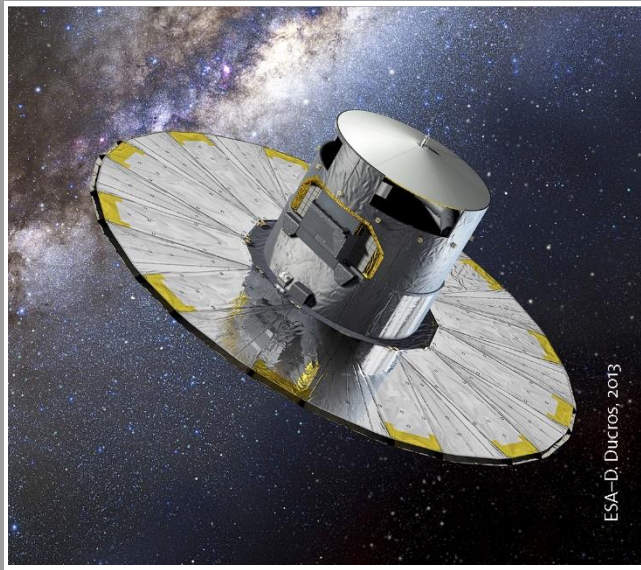
\* **Astrometria:** tähtitieteen haara, joka tutkii taivaankappaleiden tarkkoja paikkoja ja liikkeitä.

**Kaksoistähti:** kahden tähden järjestelmä, jossa tähdet kiertävät yhteisen massakeskipisteen ympärillä.

**Eksoplaneetta:** planeetta, joka kiertää muuta tähteä kuin Aurinkoa.

**Säteisnopeus:** kohteen nopeus kahden kohteen välisen näkösäteen suunnassa.

Kuva X3



↑ Taiteilijan näkemys ESA:n Gaia-satelliitista avaruudessa.

Kuva X4



↑ Hipparcos-satelliitti selvitti kahden miljoonan tähden sijainnit.

## Miten massakeskipisteen avulla voidaan erottaa toisistaan planeetta, jolla on luonnollinen kiertolainen (kuu), ja kaksi planeettaa, jotka kiertävät yhteistä massakeskipistettä (kaksoisplaneetta)?

Järjestelmässä, jossa kaksi kappaletta kiertää toisiaan, yhteinen massakeskipiste on aina lähempänä massiivisemmän kohteen massakeskipistettä. Mitä suurempi järjestelmän kahden kappaleen välinen massaero on, sitä lähempänä yhteinen massakeskipiste on massiivisemmän kohteen massakeskipistettä.

Siksi kahden kappaleen järjestelmässä, jonka kappaleiden massat eroavat merkittävästi toisistaan, yhteinen massakeskipiste sijaitsee massiivisemmän kappaleen sisällä. Siksi näyttää siltä, että kevyempi kappale kiertää raskaampaa. Helppo tapa havainnollistaa tätä on seuraava:

**Planeetta-kuu**-järjestelmässä yhteinen massakeskipiste sijaitsee raskaamman kappaleen (planeetan) sisällä.

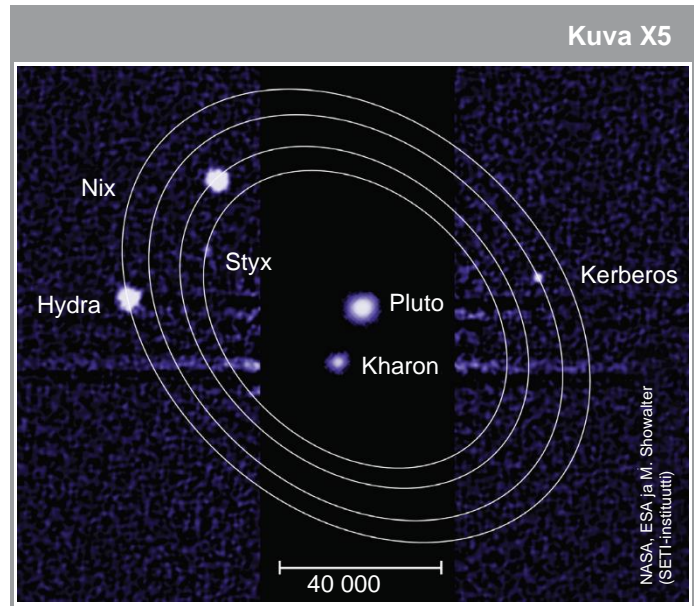
**Kaksoisplaneetta** on järjestelmä, jossa massakeskipiste sijaitsee molempien kappaleiden pintojen ulkopuolella.

Massakeskipisteen periaatteita sovelletaan kaikkiin kiertäviin järjestelmiin, kuten kaksoistähti- ja monitähtijärjestelmiin, planeettoihin, jotka kiertävät emotähtiään, ja satelliitteihin ja avaruusaluksiin, jotka kiertävät Maata ja muita aurinkokunnan kappaleita.

## Onko Pluto oikeastaan kaksoiskääpiöplaneetta?

Vaikka Pluto alennettiin **kääpiöplaneetaksi**\* vuonna 2006, toistuvat havainnot sen kuista viittaavat siihen, että Pluton järjestelmä voi olla monimutkaisempi. Plutolla on viisi kuuta seuralaisinaan. Yksi kuista, Kharon, on kooltaan ja massaltaan paljon lähempänä Plutoa kuin muut neljä kuuta.

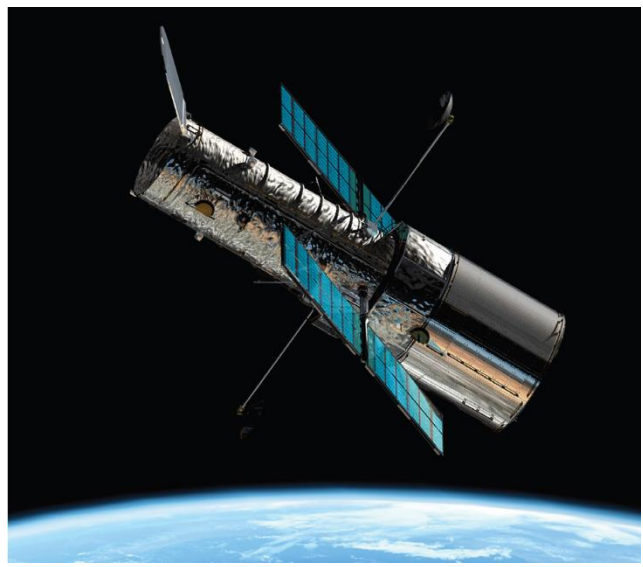
Koko Pluton järjestelmä kiertää yhteistä massakeskipistettä Pluton ja Kharonin välillä sen sijaan, että massakeskipiste sijaitisi Pluton säteen sisällä, kuten voisi odottaa kääpiöplaneetalta, jolla on viisi kuuta. Plutoa ja Kharonia kutsutaan siksi joskus kaksoiskääpiöplaneetoiksi, joita kiertää neljä pienempää kuuta. Kuvassa X5 on Hubble-avaruusteleskoopin kuva Plutosta ja Kharonista sekä niiden neljä pientä kuuta. Neljän pienemmän kuun kiertoradat on liitetty kuvaan. Kuvasta X5 käy selvästi ilmi, että järjestelmän massakeskipiste on Pluton ja Kharonin välissä.



↑ Hubble-avaruusteleskoopin kuva, jossa näkyvät neljä pientä kuuta, jotka kiertävät Pluto- ja Kharon-kaksoiskääpiöplaneettoja. Pienempien kuuden kiertoradat on liitetty kuvaan.

## Tiesitkö?

Hubble-avaruusteleskooppi on ESA:n ja NASA:n yhteinen hanke. Se laukaistiin kiertoradalleen 600 kilometrin korkeuteen vuonna 1990, ja se on yksi suurimmista ja menestyksekkäimmistä avaruusobservatorioista koskaan. Maan ilmakehä on jatkuvasti liikkeessä ja vääristää siksi Maahan avaruudesta saapuvaa valoa, mutta ilmakehän ulkopuolella sijaitsevalta näköalapaikaltaan Hubble on saanut upeita korkean resoluution kuvia tuhansista avaruuden kohteista, kuten planeetoista, kaksoistähtijärjestelmistä, galakseista, avaruussumuista ja tähtienmuodostusalueista. Hubble on kasvattanut merkittävästi ymmärrystämme maailmankaikkeudesta.



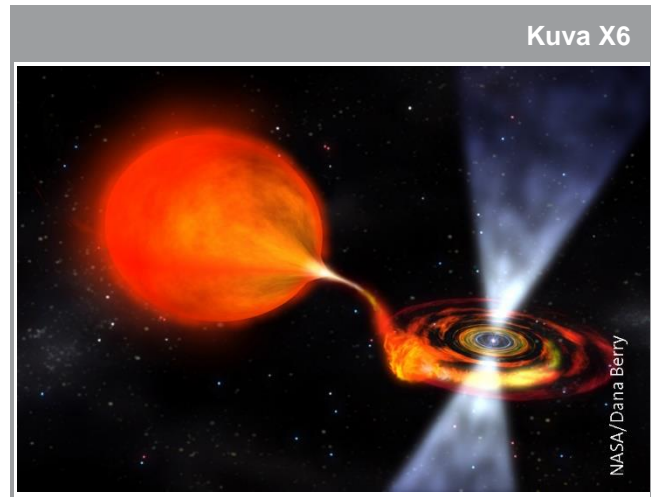
\***Kääpiöplaneetta**: planeettaa massaltaan muistuttava kappale, joka ei ole planeetta eikä luonnollinen kiertolainen. Kääpiöplaneetta on riittävän massiivinen ollakseen muodoltaan suunnilleen pallon muotoinen ja kiertää Aurinkoa omalla kiertoradallaan, mutta ei ole tyhjentänyt kiertorataansa ympäristöä muista kappaleista. Kansainvälinen tähtitieteellinen unioni (IAU) hyväksyi termin 'kääpiöplaneetta' vuonna 2006. Aurinkokunnassa on tällä hetkellä viisi kääpiöplaneetaksi luokiteltua kappaletta – Pluto, Ceres, Haumea, Makemake ja Eris. Ceres sijaitsee asteroidivyöhykkeellä, kun taas loput neljä kääpiöplaneettaa sijaitsevat Neptunuksen kiertoradan tuolla puolen. Uskotaan, että aurinkokunnan jäisistä uloimmista osista saattaa löytyä vielä monia kääpiöplaneettoja.



## Mitä tapahtuu kaksoistähtijärjestelmissä, joissa kaksi hyvin massiivista kappaletta kiertää toisiaan lähellä?

Kaksoistähtijärjestelmä koostuu kahdesta tähdestä, jotka ovat niin lähellä toisiaan, että niiden gravitaatiovuorovaikutukset pakottavat ne kiertämään yhteistä massakeskipistettä. Jos tähdet ovat erittäin lähellä toisiaan, usein niiden välillä siirtyy massaa yhdestä tähdestä toiseen. Kuvassa X6 on taiteilijan näkemys kaksoistähtijärjestelmästä, jossa **neutronitähti\***, joka on tyypiltään **pulsari\***, vetää itseensä massaa lähellä kiertävästä kumppanitähdestään.

Miten tämä massan siirtyminen vaikuttaa järjestelmän yhteiseen massakeskipisteeseen ja siten kaksoistähtijärjestelmän kiertoratoihin? Kun pulsari vetää itseensä enemmän massaa kumppanitähdestä, sen massa kasvaa, kun taas kumppanitähden massa pienenee. Tämä saa massakeskipisteen siirtymään lähemmäs pulsaria. Ajan myötä alkaa näyttämään siltä, että kumppanitähti kiertää pulsaria.



↑ Taiteilijan näkemys pulsariksi kutsutusta nopeasti pyörivästä tähdestä, joka vetää itseensä massaa kumppanitähdestään. Tiheän pulsarin (oikealla) vahva painovoima vetää materiaalia puoleensa kumppanitähdestä (vasemmalla).

\* **Neutronitähti:** elämänsä lopussa kokoon luhistuneen tähden jäännös. Neutronitähdet ovat erittäin pieniä, mutta niillä on suuri massa ja siksi ne ovat erittäin tiheitä.

**Pulsari:** pyörivä neutronitähti, jolla on vahva magneettikenttä. Pulsarit lähettävät säteilyä, joka voidaan nähdä säännöllisiä välähdyksinä radioaallonpituuksilla, jos säteily on linjassa Maan kanssa.

## Sanasto

**Astrometria:** tähtitieteen haara, joka tutkii taivaankappaleiden tarkkoja paikkoja ja liikkeitä.

**Yhteinen massakeskipiste:** järjestelmän massojen keskipiste.

**Kaksoistähti:** kaksi tähteä, jotka kiertävät yhteisen massakeskipisteen ympärillä.

**Massakeskipiste:** kappaleen tai järjestelmän kohta, jossa kappaleeseen vaikuttavien voimien resultantti on nolla. Kappale on tasapainossa missä asennossa tahansa, jos se tuetaan massakeskipisteestä.

**Kääpiöplaneetta:** planeettaa massaltaan muistuttava kappale, joka ei ole planeetta eikä luonnollinen kiertolainen. Kääpiöplaneetta on riittävän massiivinen ollakseen muodoltaan suunnilleen pallon muotoinen ja kiertää Aurinkoa omalla kiertoradallaan, mutta ei ole tyhjentänyt kiertoratansa ympäristöä muista kappaleista. Kansainvälinen tähtitieteellinen unioni (IAU) hyväksyi termin 'kääpiöplaneetta' vuonna 2006. Aurinkokunnassa on tällä hetkellä viisi kääpiöplaneetaksi luokiteltua kappaletta – Pluto, Ceres, Haumea, Makemake ja Eris. Ceres sijaitsee asteroidivyöhykkeellä, kun taas loput neljä kääpiöplaneettaa sijaitsevat Neptunuksen kiertoradan tuolla puolen. Uskotaan, että aurinkokunnan jäisistä uloimmista osista saattaa löytyä vielä monia kääpiöplaneettoja.

**Eksoplaneetta:** planeetta, joka kiertää muuta tähteä kuin Aurinkoa.

**Momentti:** taipumus tuottaa liikettä, erityisesti kiertoliikettä pisteen tai akselin ympäri.

**Neutronitähti:** elämänsä lopussa kokoon luhistuneen tähden jäännös. Neutronitähdet ovat erittäin pieniä, mutta niillä on suuri massa ja siksi ne ovat erittäin tiheitä.

**Pulsari:** pyörivä neutronitähti, jolla on vahva magneettikenttä. Pulsarit lähettävät säteilyä, joka voidaan nähdä säännöllisiä välähdyksinä radioaallonpituuksilla, jos säteily on linjassa Maan kanssa.

**Säteisnopeus:** kohteen nopeus kahden kohteen välisen näkösäteen suunnassa.

## Linkkejä englanninkielisiin materiaaleihin

### Teach with space (Oppeja avaruudesta) -kokoelma

ESA teach with space - marble-ous ellipses teacher's guide and student activities | P02:  
[esamultimedia.esa.int/docs/edu/Po2\\_Marble-ous\\_ellipses\\_teacher\\_guide.pdf](http://esamultimedia.esa.int/docs/edu/Po2_Marble-ous_ellipses_teacher_guide.pdf)

ESA teach with space - marble-ous ellipses video | VP02:  
[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2014/07/Marble-ous\\_ellipses\\_-\\_classroom\\_demonstration\\_video\\_VP02](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/07/Marble-ous_ellipses_-_classroom_demonstration_video_VP02)

ESA teach with space - cooking a comet video | VP06:  
[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2014/10/Cooking\\_a\\_comet\\_ingredients\\_for\\_life\\_-\\_classroom\\_demonstration\\_video\\_VP06](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/10/Cooking_a_comet_ingredients_for_life_-_classroom_demonstration_video_VP06)

ESA teach with space - barycentric balls video | VP07a:  
[www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2015/04/Barycentric\\_balls\\_-\\_classroom\\_demonstration\\_video\\_VP07a](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2015/04/Barycentric_balls_-_classroom_demonstration_video_VP07a)

ESA teach with space - barycentric balls in space video | VP07b:  
[www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2015/04/Barycentric\\_balls\\_in\\_space\\_-\\_classroom\\_demonstration\\_video\\_VP07b](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2015/04/Barycentric_balls_in_space_-_classroom_demonstration_video_VP07b)

### ESA:n asiaan liittyvät avaruuslennot ja tiedemateriaalit

ESA:n Gaia-satelliitti: [www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Gaia](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Gaia)

Little books of Gaia (seitsemällä EU-kielellä, ei suomeksi):  
[https://www.esa.int/Education/%20Little\\_Books\\_of\\_Gaia](https://www.esa.int/Education/%20Little_Books_of_Gaia)

Gaia iPhone -sovellus: [blogs.esa.int/gaia/2014/09/01/gaia-in-your-pocket-mapping-the-galaxy-with-the-new-gaia-app/](http://blogs.esa.int/gaia/2014/09/01/gaia-in-your-pocket-mapping-the-galaxy-with-the-new-gaia-app/)

Science@ ESA -vodcast: Jakso 6: Charting the Galaxy - from Hipparcos to Gaia:  
[www.esa.int/Education/Teachers\\_Corner/Science\\_ESA\\_Episode\\_6\\_Charting\\_the\\_Galaxy\\_-\\_from\\_Hipparcos\\_to\\_Gaia](http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Science_ESA_Episode_6_Charting_the_Galaxy_-_from_Hipparcos_to_Gaia)

ESA:n Hipparcos-satelliitti:  
[https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Hipparcos\\_overview](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Hipparcos_overview)

Make your own Hipparcos star globe: [www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Create\\_your\\_own\\_Hipparcos\\_star\\_globe2](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Create_your_own_Hipparcos_star_globe2)

ESA:n/NASA:n Hubble-avaruusteleskooppi: [sci.esa.int/hubble/](http://sci.esa.int/hubble/)

How to find an extrasolar planet:  
[https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/How\\_to\\_find\\_an\\_extrasolar\\_planet](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/How_to_find_an_extrasolar_planet)

### NASA:n Lunar and Planetary Science -tietokanta

Etusivu: [nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/)

Planetary factsheets index: [nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planetfact.html](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planetfact.html)

Sun Factsheet: [nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html)

**Oppeja avaruudesta – Järjestelmän massakeskipiste | P07**  
[www.esa.int/education](http://www.esa.int/education)

ESA Education Office ottaa mielellään vastaan kommentteja ja palautetta englanniksi osoitteeseen [teachers@esa.int](mailto:teachers@esa.int)

**ESA Educationin tuottama**  
Tekijänoikeus © Euroopan avaruusjärjestö ESA 2015