

# Er Solsystemet stabilt?

Af Jens Olaf Pepke Pedersen, DTU Space

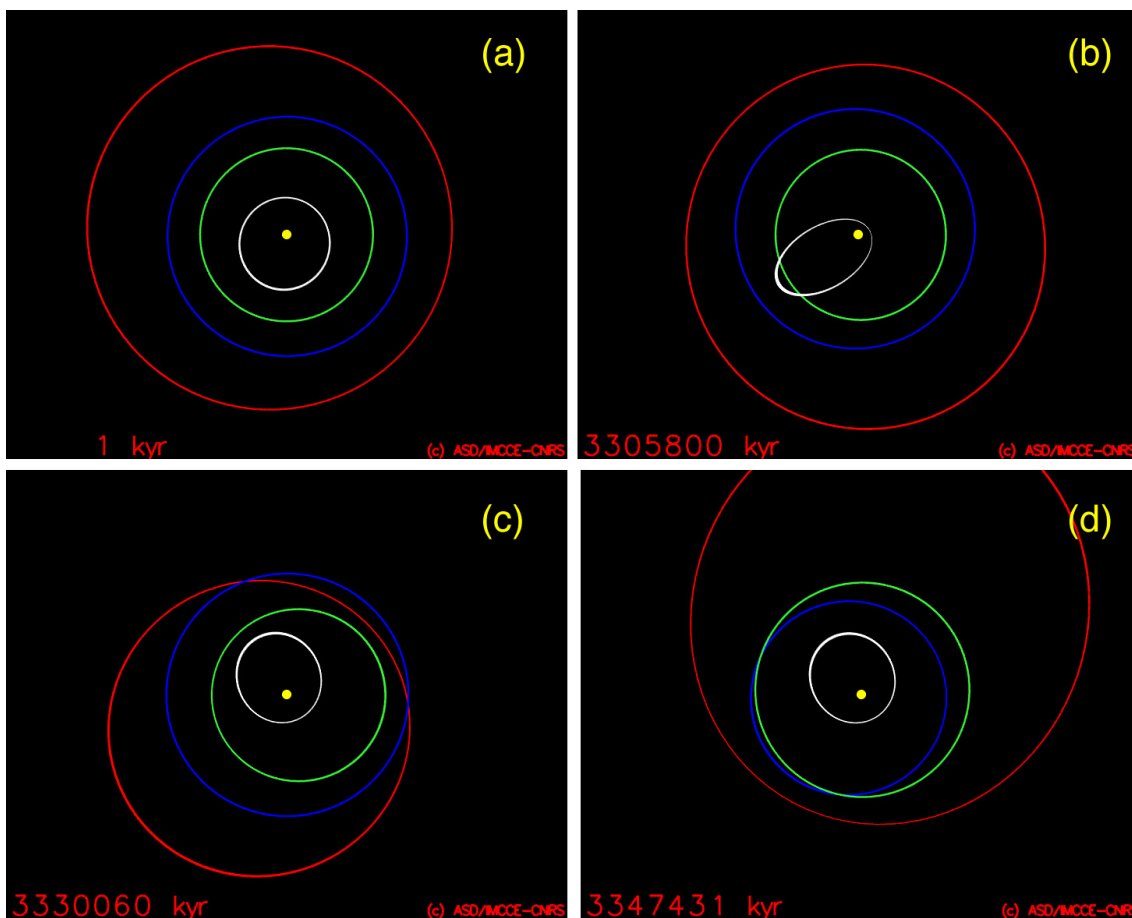
Solsystemet ser ud til at have eksisteret stabilt i 4,5 milliarder år, og vi havde nok ikke været her, hvis det ikke havde været tilfældet. Men der er ingen garanti for, at det også holder sig stabilt de næste 4,5 milliarder år.

Efter at Isaac Newton (1643-1727) havde fundet sine love for bevægelse og gravitation og anvendt dem på at bestemme planeternes bevægelse omkring Solen, overvejede han, om Solsystemet var stabilt. Solsystemets forskellige planeter vil jo udøve små, periodiske variationer på hinanden, og han mente, at det kunne ødelægge hele systemets stabilitet. Det var i øvrigt netop på grund af Neptuns perturbation af Uranus' bane, at man opdagede planeten i 1846. Newtons løsning på problemet var derfor, at Gud med mellemrum nødvendigvis måtte justere på planetbevægelserne. Denne tilgang synes nok noget utraditionel i dag, og det var den såmænd også på Newtons samtid, hvor Gottfried Leibniz (1646-1716) var noget utilfreds med tanken om at Guds konstruktion af Solsystemet var så elendig, at han måtte redde systemet fra kollaps.

Problemet har optaget fysikere siden da, og flere har også "bevist", at systemet var stabilt, men alle beviserne byggede på approximationer, som ikke var fuldstændigt præcise og derfor heller ikke formelt beviste stabili-

teten. Når det var nødvendigt med approksimationer skyldtes det, at man ikke kunne finde analytiske løsninger for planetbevægelserne, og allerede i slutningen af 1800-tallet viste Henri Poincaré (1854-1912), at analytiske løsninger slet ikke eksisterer, hvis der er tre eller flere planeter i systemet.

At der også er nogle overraskende fænomener indenfor Newtons mekanik viste Zhihong (Jeff) Xia i 1992 [1], da han for et system af fem punkt-partikler, som kun vekselvirker ved gravitation, kunne konstruere baner, som giver det resultat, at den ene partikel accelereres uendelig langt væk på endelig tid. Det er naturligvis et ret så bizart resultat, som dog også forudsætter en meget speciel konfiguration af de fem partikler, og "planeterne" skal desuden kunne komme tættere og tættere på hinanden, uden at det kommer til et direkte sammenstød. Det forudsætter derfor også, at partiklerne er punktpartikler, så de kan komme vilkårligt tæt på hinanden, og at vi ikke inddrager relativistiske effekter, så hastigheden kan få lov til at gå mod uendelig.



**Figur 1.** Eksempler på langtidsudviklingen af de terrestriske planeters baner (tiderne er i tusinder år). Merkur (hvid), Venus (grøn), Jorden (blå) og Mars (rød). Fra [3].

Men også i en mere realistisk model for et solsystem viser det sig, at der kan opstå problemer. Med udviklingen af større computere, blev det muligt at lave numeriske integrationer af planeternes baner, og beregningerne viste, at Solsystemet er kaotisk. Hvis vi antager, at to planetbaner ligger tæt ved hinanden, så viste det sig, at deres indbyrdes afstand blev forøget med en faktor 10 efter cirka 10 mio. år. En lille fejl på 15 m i bestemmelsen af Jordens position bliver derfor til en fejl på 150 m efter 10 mio. år, men efter 100 mio. år, hvor fejlen ti-dobles for hver 10 mio. år, er den vokset til  $10^{10} \times 15 \text{ m} = 150 \text{ mio. km}$ , hvilket i praksis gør det umuligt at forudsige planeternes bevægelser på lange tidsskalaer.

Solen vil svulme op til en rød kæmpestjerne om cirka 5 mia. år, så selvom det kun har teoretisk interesse, er det naturligvis interessant at se, hvordan Solsystemet vil opføre sig over dette lange tidsrum. Selvom man ikke kan finde den eksakte løsning, kan man i stedet beregne udviklingen for et stort antal simuleringer.

Den øvelse har Laskar og Gastineau udført i 2009 [2], hvor de benyttede den bedst tilgængelige viden for planetbanerne og beregnede udviklingen over 5 mia. år for 2.500 forskellige begyndelsestilstande. For eksempel er Merkurs halve storakse kendt med en nøjagtighed på nogle få meter, og beregningerne blev nu foretaget for 200 baner, der alle afveg fra hinanden med 3,8 cm.

Det viste sig, at af de 200 simuleringer endte 34 med at Merkur kolliderede med Solen og 86 endte med en kollision mellem Merkur og Venus inden de 5 mia. år var nået. Beregningerne gav også mulige udviklinger, hvor Mars ville kolliderede med Venus efter 1.763 mio. år ligesom Mars ville komme blot 800 km fra Jorden efter 3,3 mia. år. Flere løsninger sendte endda Mars helt ud af Solsystemet.

Figur 1 viser nogle eksempler på langtidsudviklingen af banerne for de terrestriske planeter (tiderne er i tusinder år). Figur 1a viser situationen tæt på i dag. I en procent af simuleringerne endte Merkurs bane med at blive så elliptisk, at den kunne kolliderede med Venus eller Solen inden 5 mia. år (figur 1b), og i et enkelt tilfælde blev Mars' bane så elliptisk, at den ville komme helt tæt på Jorden (figur 1c). Situationen ville i sig selv

være katastrofal for livet på Jorden, og desuden ville den efterfølgende destabilisering af Jordens bane også muliggøre en efterfølgende kollision mellem Jorden og Venus (figur 1d og figur 2).



**Figur 2.** Efter 3,3 mia. år kan Jorden risikere at kolliderede med Venus eller Mars.

Sandsynligheden for et så dramatisk endeligt for Jorden er naturligvis meget lille. Værst ser det ud for Merkur, der har størst risiko for at få ændret sin bane, fordi den er så lille. Men måske bliver planeten reddet af Einsteins generelle relativitetsteori, hvor en berømt effekt betyder, at Merkurs bane præcesserer langsomt. Dermed reduceres risikoen for en resonans mellem Merkur og Jupiter, som er årsagen til de meget elliptiske baner [4].

## Litteratur

- [1] Z. Xia (1992), The existence of noncollision singularities in newtonian systems, *Annals of Mathematics* **135**: 411-468.
- [2] J. Laskar (2012), Is the Solar System stable?, arXiv:1209.5996v1.
- [3] J. Laskar og M. Gastineau (2009), Existence of collisional trajectories of Mercury, Mars and Venus with the Earth, *Nature* **459**, 817-819.
- [4] G. Laughlin (2009), Planetary science: The Solar System's extended shelf life, *Nature* **459**, 781-782.