Nordisk Astrobiologi

Anja C. Andersen og Axel Brandenburg, NORDITA

Astrobiologi er en forholdsvis ny disciplin inden for astrofysik og dækker hele det område af astronomien som støder op mod biologi, biokemi, biofysik og visse områder af geologi og geofysik.

I år 2000 blev der dannet et europæisk netværk under navnet "The European Exo/Astrobiology Network Association" (EANA) [1], og i år 2002 fulgte Finland og Sverige så efter med "The Swedish Astrobiology Network" (SWAN) [2], og "The Finnish Astrobiology Network" (FAN) [3].

I år har NORDITA haft astrobiologi som ét af de nordiske projekter instituttet påbegynder jævnligt. Det har resulteret i to nordiske møder. Det første 2 1/2 dags møde blev holdt i København i januar med titlen "Astrobiological problems for physicists", hvor der udover fysikere også deltog biologer, geologer m.m. Mødet kunne delvis følges live på nettet og samtlige talks kan ses (eller genses) på NORDITAS webside [4].

Figur 1. Axel Brandenburg under mødet i København.

I starten af august blev det andet nordiske møde afholdt i forbindelse med det årlige FAN møde på Tourla Observatoriet i Finland, også herfra er samtlige talks tilgængelige via nettet [5].

Figur 2. Anja Andersen under det finske møde.

Næste møde vil blive afholdt 13.-15. januar i København på NORDITA/NBI og har titlen "Astrobiology and Origins of Life".

Deltagelse er åben for alle og tilmelding sker på [6]:

www.nordita.dk/conference/AstroBio2005/

Vi håber på at se mange af jer!

Litteratur

[1] www.graz-astrobiology.oeaw.ac.at/eana.html
[2] www.astrobiologi.nu
[3] users.utu.fi/hlehto/fan/
[4] www.nordita.dk/conference/AstroBio2004/
[5] www.nordita.dk/conference/AstroBio2004B/
[6] www.nordita.dk/conference/AstroBio2005/

Opgave-hjørnet - Relativistisk tyngdepunktsflytning

Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter

Her bringes løsning og kommentar til opgaven fra forrige nummer samt en ny opgave. I sidste nummer af KVANT blev denne breddeopgave fra RUC (fra vintereksamen 2002, nr. 18 i rækken af KVANT) bragt:

18. Relativistisk tyngdepunktsflytning.

En pistolkugle affyres fra en pistol fastgjort på den ene endevæg af en kasse og stoppes i en klods på den anden endevæg. Kassen er anbragt på et vandret, glat underlag. Flytter kassen sig? Begrund svaret.

Max Born opstillede et "Gedankenexperiment", hvor pistolen er erstattet med en lyskilde og klodsen med en absorber. Ved at benytte relationen mellem energi og impuls for elektromagnetisk stråling (som leveres af den elektromagnetiske feltteori) og reglen om bevarelse af tyngdepunktsimpulsen for et isoleret system, kan man nemt nå frem til Einsteins energi-masse-ækvivalensrelation ($E = mc^2$). Eftervis dette.

Løsning

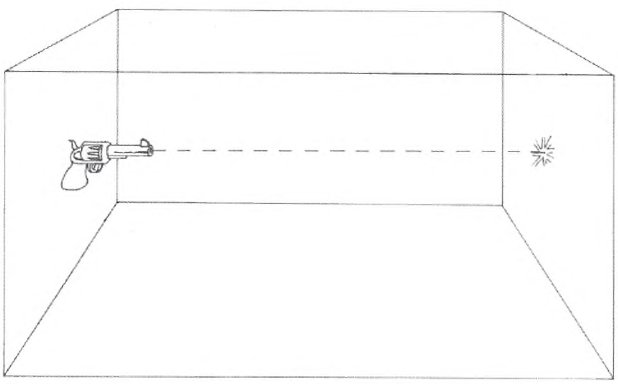
Kaldes pistolkuglens masse for m, kassens masse for M og kassens længde for L, flytter kassen sig afstanden x, givet ved:

$$M \cdot x = m \cdot (L - x) \quad (1)$$

idet tyngdepunktet for systemet kasse + pistolkugle ligger fast, fordi der ikke er ydre kraftpåvirkninger på systemet. I den tid pistolkuglen bevæger sig fra kassens ene endevæg til den anden, flytter kassen sig altså på grund af rekylen fra affyringen af pistolkuglen afstanden:

$$x = m/(M + m) \cdot L \quad (2)$$

Herefter står kassen igen stille på grund af opbremsningen medens pistolkuglen stoppes af klodsen.



Figur 1. Pistolen i kassen. Tegning: Kaj Ove Roland.

I Max Borns Gedankenexperiment (Max Born: Moderne Physik. Berlin 1933. Side 36) udsendes et lyssignal, dvs. elektromagnetisk strålingsenergi, E, fra lyskilden på kassens ene endevæg. Al strålingsenergien, E, absorberes siden i absorberen på kassens anden endevæg. I tidsrummet mellem lysudsendelse og lysabsorption bevæger kassen sig. Da lyssignalets impuls ifølge den elektromagnetiske feltteori er givet ved $P = E/c$, er farten, v, som kassen bevæger sig med, på grund af impulsbevarelsen for systemet kasse + lyssignal givet ved:

$$E/c = M \cdot v \quad (3)$$

Max Born forestiller sig så, at lyskilden og absorberen i kassen er ens apparater, der kan befinde sig i en anspændt eller en udløst tilstand. Ved lysudsendelsen overgår apparatet fra den anspændte tilstand til den udløste tilstand. Og ved absorptionen overgår apparatet fra den udløste tilstand til den anspændte tilstand. Vi kan derfor efter lyssignalets flytning af energi fra den ene endevæg til den anden og kassens samtidige flytning i modsat retning genetablere udgangssituationen inden i kassen, hvis vi inde i kassen foretager en ombytning af de to apparater. Og hvis apparaterne vejer det samme i deres anslåede tilstand og deres udløste tilstand, kan det ske uden at kassen bevæger sig, således at den eneste forskel på situationen før lysudsendelsen og situationen efter ombytningen af apparaterne er, at kassen er flyttet et stykke. Øvelsen kan så gentages et vilkårligt antal gange, hvorved vi indefra kan flytte kassen, som det passer os, uden at kassen er påvirket af ydre kræfter. For at undgå denne absurditet er vi derfor nødt til at regne med, at der i tankeeksperimentet udover energien E også er flyttet en vis masse m fra det ene apparat til det andet. Altså at apparatet i den anspændte tilstand har en masse, der er m større end massen af apparatet i den udløste tilstand. Så vil kassen nemlig flytte sig tilbage svarende til (2), når vi ombytter de to apparater.

Udover således kvalitativt at kunne benyttes til at indse nødvendigheden af, at energioverførslen følges af en masseoverførsel, kan tankeeksperimentet også benyttes til at udregne, hvor stor denne masseoverførsel er. Den tid lyssignalet er om at bevæge sig fra den ene endevæg til den anden er $(L - x)/c$. Da kassen i det samme tidsrum bevæger sig afstanden x med farten v, har vi:

$$(L - x)/c = x/v \quad (4)$$

Da massen m skal have en størrelse, så tyngdepunktet af vores isolerede system ligger fast, skal (1) gælde for den. Sammenholdes (1) og (4) fås:

$$v/c = m/M \quad (5)$$

Sammenholdes dette igen med (3) fås:

$$E = m \cdot c^2, \quad (6)$$

som var det, der ifølge opgaven, skulle eftervises.

Kommentar

Ved besvarelsen af opgaven har jeg i det væsentlige refereret Max Born. Herved er besvarelsen blevet mere udpenslet end det, der kunne forventes af de studerendes eksamensbesvarelser. Opgaven skyldes ikke mig, men min kollega Bent Jørgensen (og altså Max Born). Da jeg, som den på RUC der skulle gennemse det pågældende opgavesæt for Bent forud for eksamen, regnede på opgaven, generede den mig. Einsteins fundamentale energi-masse-ækvivalensrelation fremkommer jo ud fra tilnærmede beregninger. Og hvis der regnes eksakt og relativistisk opstår der tilsyneladende problemer. Så kan det ikke være (6) vi skal nå frem til, da noget af hvileenergien mc^2 ved lysudsendelsen går til kassens rekylenergi. Den eksakte energibevarelsesligning må være:

$$E = mc^2 - Mc^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} - 1 \right) \quad (7)$$

Den elektromagnetiske strålingsenergi E er lidt mindre end mc^2. Men indsættes (5) i den eksakte udgave af impulsbevarelsesligningen (3):

$$E/c = \frac{M \cdot v}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \tag{8}$$

fås:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-(v/c)^2}}, \tag{9}$$

altså at E i modstrid med (7) er større end mc^2!!! Et eller andet er ravruskende galt. Hvad? En opgave for læseren inden der læses videre? Modstriden fremkommer ved kombinationen af ligningerne (1), (4), (7) og (8). I hvilken af dem ligger fejlen? Det var min kollega Jeppe Dyre, som ledte mig på sporet af, at fejlen ligger i ligning (1). Max Borns grundantagelse om at tyngdepunktet ikke flytter sig i vores isolerede system er kun rigtig til samme orden af de små størrelser m/M og v/c som ligning (3) og ligning (6) er det. Det helt grundlæggende i den klassiske mekanik, at tyngdepunktet i et hvilende system ikke kan sætte sig i bevægelse uden ydre påvirkninger, gælder ikke relativistisk. I den klassiske mekanik kan det fastholdte tyngdepunkt udledes fra impulsbevarelsen for et isoleret system, fordi masserne af systemets bestanddele ikke afhænger af tiden. Men den forudsætning holder ikke relativistisk.

Tværtimod at ligge fast flytter tyngdepunktet sig i Max Borns tankeeksperiment, selvom der ikke finder ydre påvirkninger sted af systemet. Og vi kan også finde ud af hvor meget det flytter sig. Ved kombination af ligning (7) og (8) kan v/c findes som funktion af m/M, hvorefter kassens flytning, x, kan findes som funktion af m/M ved indsætning i (4). Ligning (2) viser, når der regnes eksakt, ikke kassens flytning, men tyngdepunktets flytning i forhold til kassen i modsat retning. Ved at trække tyngdepunktets flytning i forhold til kassen fra kassens flytning i forhold til underlaget kan tyngdepunktets flytning i forhold til underlaget efter mellemregninger findes til at have størrelsen:

$$\Delta x_{CM} = \frac{1}{2}\left(\frac{m}{m+M}\right)^2 \cdot L \tag{10}$$

Retningen af tyngdepunktsflytningen er den samme som den lyssignalet bevæger sig i. Kassens flytning i modsat retning finder jeg til at have størrelsen:

$$x = \frac{m}{m+M} \cdot L - \frac{1}{2}\left(\frac{m}{m+M}\right)^2 \cdot L \tag{11}$$

Ved tilsvarende mellemregninger findes den eksakte sammenhæng imellem strålingsenergien, E, og den overførte hvileenergi, mc^2, at være:

$$E = mc^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\frac{m}{m+M}\right) \tag{12}$$

Det er en pudsighed, at Max Born i sin påvisning af $E = mc^2$ betjener sig af en egenskab ved tyngdepunktet, som netop ikke gælder relativistisk. Når det går godt, skyldes det at han regner til laveste betydende orden i de små størrelser v/c og m/M. Og at tyngdepunktet, som det ses af (10), faktisk ligger stille til første orden af m/M.

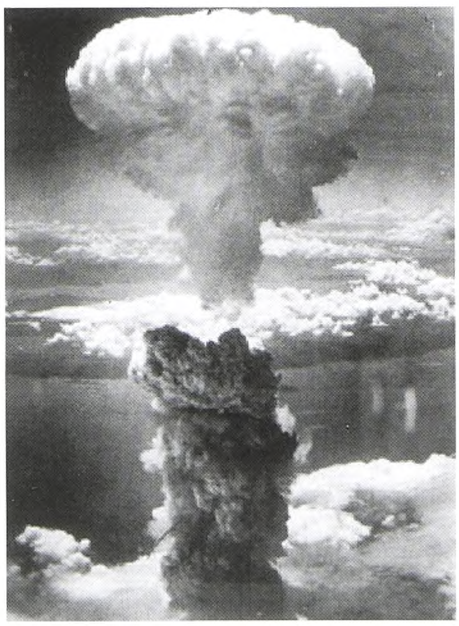
Jeg har ikke hørt andet end at opgaven fungerede tilfredsstillende som eksamensopgave. Og der er åbenbart problemer, der sidenhen kan forfølges i undervisningen. Jeg har også selv stadig problemer med den: Flytter tyngdepunktet afstanden givet ved (10) tilbage til udgangspunktet, hvis der på Born-vis byttes rundt på absorber og emitter efter energioverførslen? Og hvorfor det, hvis det er tilfældet? Hvis det ikke er tilfældet er vi på en ny måde tilbage ved Borns vilkårligt flytbare kasse uden vekselvirkning med omgivelserne. Måske er der blandt KVANTs læsere med et mindre overfladisk forhold til relativitetsteori end mit nogle, der kan rede trådene ud?

Inden næste nummer af KVANT udkommer kan læserne overveje denne breddeopgave (fra den første breddemoduleksamen sommeren 1976):

19. Havebål og brintbomber

Hvad er forholdet mellem typiske temperaturer i brændende havebål og eksploderende brintbomber? Begrund svaret.

Løsning og kommentar bringes i næste nummer.



Figur 2. Brintbombe.