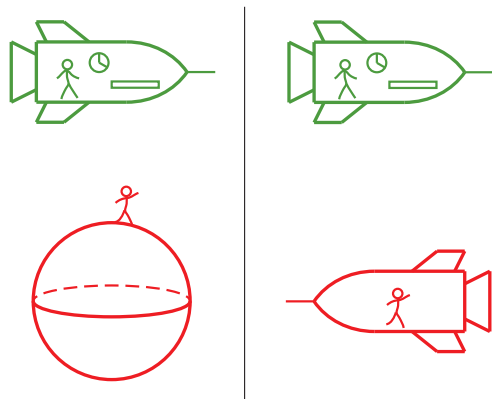


12 Speciell relativitetsteori



Målsättningar

Ämnesplanen säger att undervisningen i kursen ska behandla följande:

Orientering om Einsteins beskrivning av rörelse vid höga hastigheter: Einsteins postulat, tidsdilatation och relativistisk energi.

Kärnenergi: ..., massa-energiekvivalensen, ...

Detta innebär att du ska

- ... förstå begreppet relativ hastighet,
- ... känna till de två postulater som den speciella relativitetsteorin är baserad på,
- ... kunna lösa problem som involverar tidsdilatation och längdkontraktion,
- ... kunna använda den relativistiska formeln för rörelseenergi,
- ... känna till vad massa-energiekvivalensen innebär,
- ... kunna beräkna ett föremåls viloenenergi.

Innehåll

[1] Ett **referenssystem** kan sägas vara ett koordinatsystem som är i vila i förhållande till något referensföremål. När man pratar om referenssystem menar man dock ofta själva referensföremålet. Hittills har vi nästan uteslutande använt jorden som referenssystem när

vi beskrivit rörelse. (Varje gång vi infört en koordinataxel för att beskriva ett föremåls läge har vi alltså infört ett referenssystem.) Man är dock fri att välja sitt referenssystem som man vill.

Men om två referenssystem befinner sig i **relativ rörelse**, det vill säga rör sig i förhållande till varandra, kommer hastigheten för ett föremål i mätt det ena referenssystemet att vara olik hastigheten mätt i det andra referenssystemet. Om till exempel en person går bakåt i en buss som rör sig i förhållande till jorden kommer personens hastighet i förhållande till bussen att vara olik hastigheten i förhållande till jorden.

Referenssystem som inte accelererar kallas **tröghets-system** eller **inertialsystem**. Eftersom jorden rör sig i en cirkelbana runt solen, och därmed accelererar (hastigheten ändrar hela tiden riktning), så är jorden egentligen inget tröghetssystem. Men i många sammanhang kan jorden förenklat betraktas som ett tröghetssystem.

Boken: s. 379–380.

Bra uppgifter: 12.01, 12.02.

[2] År 1905 lade Albert Einstein grunden för det som kom att kallas **speciell relativitetsteori**. Det visade sig att den klassiska mekaniken egentligen bara är korrekt för föremål som rör sig mycket långsammare än ljusfarten c (som i vakuum är $2,99792458 \cdot 10^8$ m/s).

Einstein utgick från två **postulat** (alla tröghetssystem är likvärdiga och ljusets fart är densamma för alla observatörer). Ur dessa postulater följde logiskt ett antal slutsatser som har visat sig överensstämma med mätningar. Därför håller den speciella relativitetsteorin för sann ("sann" betyder här "stämmer med experiment"), även om flera av slutsatserna är ointuitiva.¹

En viktig slutsats är att begreppet **samtidighet** är relativt. Händelser som är samtidiga i ett referenssystem är inte nödvändigtvis samtidiga i ett annat.

Boken: s. 380–384.

Bra uppgifter: DiF-1.

[3] **Tidsdilatation**, eller **tidsförlängning**, handlar om att en observatör A alltid mäter en *längre* tid för ett förlopp

¹När du skall ge dig i kast med relativitetsteori, och senare kvantmekanik, så försök om det går att släppa alla förutfattade meningar du har om verkligheten. Tänk på att du i hela ditt liv rört dig med väldigt små farter, du är uppväxt på ett ställe i universum med förhållandevis svagt gravitationsfält och du är betydligt större än vad atomer är. Så om du tycker att relativitetsteorin är konstig beror det på att du sedan födseln aldrig lagt märke till effekterna som den beskriver.

som utspelas i ett referenssystem som rör sig (i förhållande till A), än vad en medföljande observatör B gör. Man kan uttrycka det som att tiden går långsammare för föremål som rör sig.

Boken: s. 385–387.

Bra uppgifter: **12.04**, 12.08.

[4] **Längdkontraktion** handlar om att när en observatör A mäter ett avstånd² i ett referenssystem som rör sig (i förhållande till A), kommer han eller hon alltid att mäta ett *mindre* avstånd än vad en medföljande observatör B gör.³ Notera dock att ett föremål som far förbi med hög fart inte nödvändigtvis *ser* kortare ut än i vila. Hur vi med våra ögon uppfattar ett föremål i rörelse beror på flera faktorer, varav längdkontraktionen bara är en.

Boken: s. 387–389.

Bra uppgifter: **12.05**, 12.06.

[5] Formeln $W_k = \frac{mv^2}{2}$ för rörelseenergi stämmer egentligen bara bra vid låga farter (som tumregel kan vi låta "låga hastigheter" innebära farter mindre än 10 % av ljusfarten). När det går fort behöver vi räkna med det relativistiska uttrycket för **rörelseenergi**. Observera att boken använder E , och inte W , för att beteckna relativistisk energi.

Boken: s. 389–390.

Bra uppgifter: **12.12**, 12.13.

[6] Ytterligare en viktig följd av de två postulaten är att om ett systems totala energi ökar med ΔE så ökar systemets massa med $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$. Ökar eller minskar energin så ökar eller minskar massan. Det är alltså så att **massa och energi** är två sidor av samma mynt.

För att inte hamna snett i tankegångarna behöver man nu (om man inte redan gjort det) överge massa som "mått på mängden materia". Istället bör man se ett föremåls massa som "mått på tröghet", det vill säga "mått på förmågan att motstå hastighetsändringar" (kom ihåg Newtons andra lag, $a = \frac{R}{m}$, som ju säger att ju större massa, desto mindre acceleration för en given kraft).⁴

²Avståndet behöver vara parallellt med rörelseriktningen.

³Hur A behöver göra i praktiken för att utföra en sådan mätning går vi inte in på.

⁴Eftersom ingen skillnad mellan trög och tung massa observerats kan man också se ett föremåls massa som ett mått på hur starkt det påverkas av ett gravitationsfält. (Det är egentligen det som man kallar *trög massa* som figurerar i Newtons andra lag $R = ma$, och *tung massa* som figurerar i sambandet mellan gravitationskraft och gravitationsfältstyrka $F = mg$, men eftersom någon skillnad mellan trög och tung massa aldrig uppmätts pratar man normalt bara om "massa".)

Det visar sig också att ett föremål i vila har en **viloenergi** som är proportionell mot vilomassan,

$$E_0 = m_0c^2,$$

där c är ljusfarten. Resonemanget som leder fram till detta välkända samband är inte trivialt, och ligger en bit utanför gymnasiekursen.

Boken: s. 390–392.

Bra uppgifter: **12.07**, 12.09, 12.11, 12.14, 12.15.

[7] För att lösa ett par av uppgifterna behöver man känna till lite om **antimateria**.

Boken: s. 394–395.

Bra uppgifter: 12.10, 12.16.

Om man vill uppnå riktigt god fysikförståelse så kan det avslutningsvis vara bra att också arbeta igenom följande (gärna tillsammans med kamrater):

Diskutera fysik 2, 4, 5.

Uppskatta fysik 3.

Testa dig i fysik 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.