

Tentamen Relativitetsteori

9.00 – 14.00 , 24/8 2019

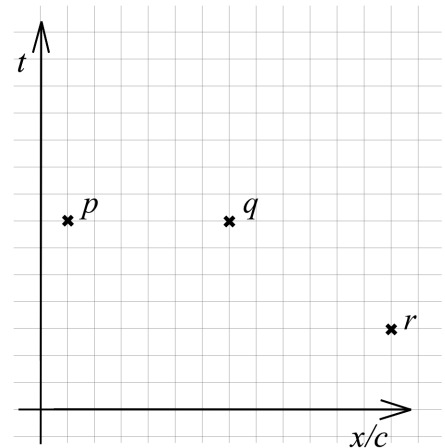
Hjälpmedel: Miniräknare, linjal och bifogad formelsamling.

Observera: Samtliga svar ska lämnas på dessa frågepapper. Det framgår ur respektive uppgift när en fullständig lösning eller ett resonemang ska presenteras, och när endast ett svar krävs.

Maxpoäng är 45 p. För godkänt krävs minst 20 p.

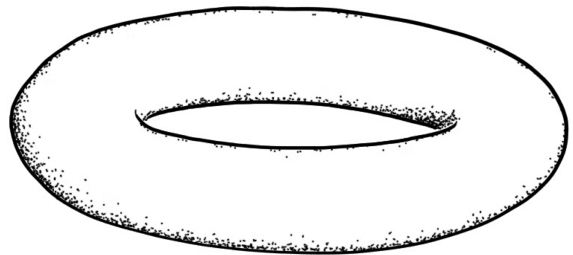
1. Diagrammet visar tre händelser p , q och r .

- (a) Rita in världslinjen för en inertialobservatör som passerar genom händelse q och som ser (dvs. nås av information om) händelserna p och r samtidigt. Rita även in relevanta hjälplinjer. (2 p)
- (b) I vilken ordning *anser* observatören att händelserna p , q och r äger rum? Använd rutnätet och rita in relevanta hjälplinjer. (2 p)



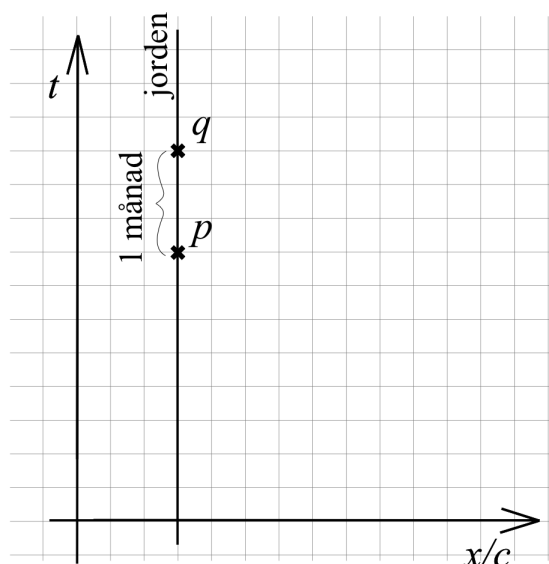
2. Figuren föreställer en så kallad torus.

- (a) Markera de områden på torusens yta som har positiv respektive negativ krökning! (2 p)



- (b) Beskriv *två olika* metoder för att skilja mellan positivt och negativt krökta ytor, och som inte kräver att man kan föreställa sig någon tredje dimension! (2 p)

3. Efter en mycket lång rymdexpedition är du nu på väg hem till jorden. Du färdas mot jorden med den konstanta farten $2c/3$. För att förbereda dem där hemma på din ankomst planerar du att skicka ett radiomeddelande till jorden. Du vill att meddelandet ska nå fram (händelse p i diagrammet) 1 månad före din egen ankomst (händelse q i diagrammet), så att dina vänner på jorden har gott om tid på sig att förbereda välkomstceremonin.



- (a) Rita in världslinjer för ditt rymdskepp respektive radiomeddelandet i diagrammet. (Använd rutnätet!) (2 p)

- (b) Hur lång tid – enligt din tid ombord på rymdskeppet – innan du når jorden ska du skicka iväg meddelandet? (Använd rutnätet!) (2 p)

4. Ge korta svar på följande frågor! (5 p)

- (a) Ge exempel på ett system som räknas som inertialsystem enligt den allmänna relativitetsteorin, men som inte är det enligt Newtonsk fysik!

- (b) Om ett enskilt föremål (eller ett isolerat system) har massa m , vad är då det *minsta* möjliga värdet på dess totala energi?

- (c) Vad menas med en *invariant* storhet?

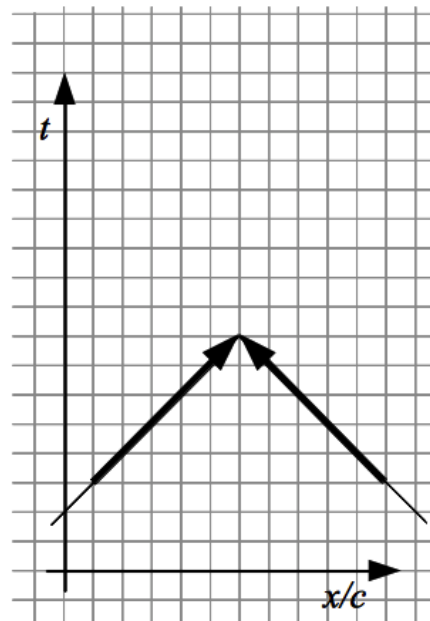
- (d) Vilket problem råkar man ut för om man försöker tillverka en negativt krökt yta från ett pappersark med krökning noll?

- (e) Nämn *två* egenskaper hos ljusets hastighet i vakuum, som är unika för just denna hastighet!

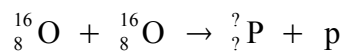
5. Stella planerar en långresa ut i rymden – hon vill komma så långt bort från jorden som möjligt. Hennes rymdskepp kan komma upp i farten $0,9c$ och rymdskeppets förråd kan lastas med mat för högst 5 års resa. Hur långt bort från jorden kan Stella maximalt komma (sett ur jordens system) innan hon måste vända hemåt, om hon ska hinna hem innan förråden sinar? Rita ett rumtidsdiagram och förklara hur du resonerar! (4 p)
6. Betrakta två klockor A och B . Klocka A ligger stilla på marken, medan klocka B skjuts vertikalt upp från marken, och så småningom landar igen bredvid klocka A . Vilken av klockorna har tickat fram längst tid under B :s luftfärd, och varför? Förklara hur svaret är en konsekvens av ekvivalensprincipen och rumtidsgeometrin i den speciella relativitetsteorin! (Poäng ges för förklaringens korrekthet, tydlighet och relevans.) (4 p)

7. Två fotoner med samma energi E kommer farande rakt mot varandra, kolliderar, och bildar därvid två nya partiklar med samma massa m (en elektron och en positron) som far iväg åt var sitt håll med farten $3c/5$. Diagrammet till höger visar världslinjer och världsvektorer för de båda fotonerna.

- Rita in världslinjerna för de två partiklarna som bildas med korrekta lutningar. (1 p)
- Rita in de båda partiklarnas världsvektorer samt systemets totala världsvektor. Det ska tydligt framgå varför du ritar som du gör. (2 p)
- Hur stor är fotonernas energi E uttryckt i de skapade partiklarnas massa m ? (2 p)

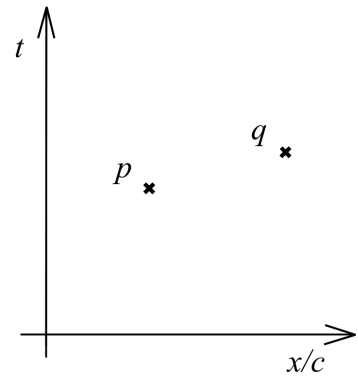


8. Inuti stora stjärnor sker många typer av kärnreaktioner. En av dem är när två syrekärnor (O) smälter samman och bildar en fosforkärna (P) och en proton (p):



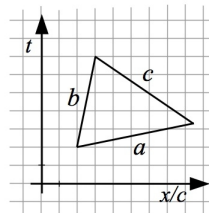
- Vilket atomnummer har fosfor? (1 p)
- Vilket masstal har fosforkärnan i processen? (1 p)
- Ange för var och en av följande storheter om de är mindre, oförändrade eller större i produkten (reaktionens högerled) än i utgångsmaterialet (reaktionens vänsterled). (Helt rätt ger 2 p; tre rätt ger 1 p; annars 0 p)
 - Den totala rörelsemängden
 - Den totala energin
 - Summan av partiklarnas enskilda massor
 - Den kinetiska energin

9. Markera i diagrammet de punkter som tillhör det förflutna till både p och q ! (2 p)



10. Ange för vart och ett av följande påståenden om det är korrekt eller felaktigt. (Rätt svar ger 1 p. Fel svar ger -1 p. Inget svar ger 0 p. Uppgiften som helhet kan dock inte ge negativ poäng.) (9 p)

- | | | |
|---|-------------------------------|------------------------------|
| (a) Om observatörerna A och B rör sig i motsatt riktning, båda med fart v , så är den fart varmed A anser att B rör sig större än $2v$. | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (b) Galileo använde sig av relativitetsprincipen för att argumentera för det geocentriska planetsystemet. | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (c) Om man är en myra och vandrar rakt fram på en yta med krökning noll, så kan det hända att man efter en stund kommer tillbaka till den punkt där man startade. | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (d) En inertialobservatör ser alla händelser längs en och samma samtidighetslinje samtidigt. | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (e) En foton totala energi är densamma som dess rörelseenergi. | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (f) Den som faller in i ett svart hål dör alltid av tidvattenkrafter innan händelsehorisonten passerats. | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (g) Rumtidsavståndet mellan två ljuslikt separerade händelser är noll. | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (h) 1 ljusekund är längre än 100 000 km. | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (i) Sambandet mellan de tre markerade rumtidsavstånden är $c^2 = a^2 - b^2$. | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |



Liten formelsamling

Skillnad i samtidighet: $T = \frac{vL}{c^2}$

Tidsdilatation: $T' = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Längdkontraktion: $L' = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

Hastighetsaddition: $w = \frac{v \pm u}{1 \pm \frac{vu}{c^2}}$

Viloenergi: $E_0 = m c^2$

Total energi: $E = \frac{m c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Rörelseenergi: $K = E - E_0$

Rörelsemängd: $p = \frac{m v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Tidsskillnad för accelererande klockor: $T = \frac{L a}{c^2} t_{acc}$