

# Tentamen Relativitetsteori

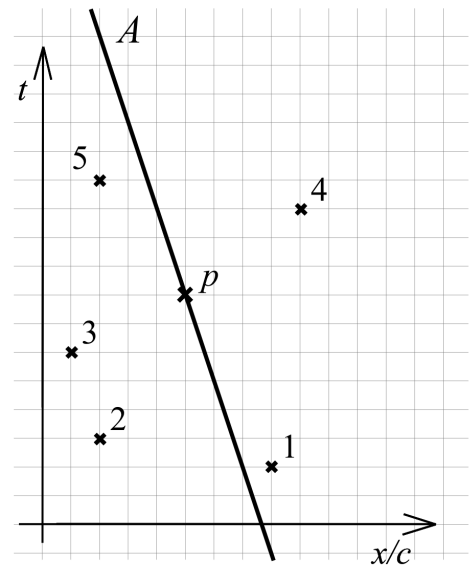
9.00 – 14.00 , 27/7 2019

**Hjälpmedel:** Miniräknare, linjal och bifogad formelsamling.

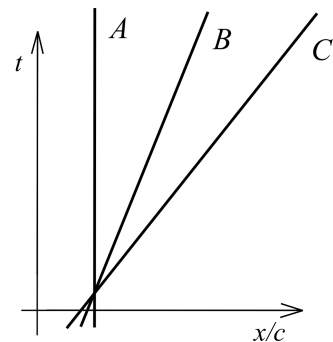
**Observera: Samtliga svar ska lämnas på dessa frågepapper.** Det framgår ur respektive uppgift när en fullständig lösning eller ett resonemang ska presenteras, och när endast ett svar krävs.

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

1. Diagrammet visar en observatör  $A$  och händelserna 1, 2, 3, 4, 5 och  $p$ .
  - (a) Ange i vilken ordning som händelserna 1, 2, 3, 4 och 5 inträffar enligt  $A$ . Använd rutnätet och rita ut relevanta hjälplinjer. (2 p)
  - (b) Vilken eller vilka av händelserna 1, 2, 3, 4 och 5 har  $A$  kunnat se före händelse  $p$ ? Rita ut relevanta hjälplinjer. (1 p)
  - (c) Vilken eller vilka av händelserna 1, 2, 3, 4 och 5 har  $A$  ännu möjlighet att påverka i  $p$ ? Rita ut relevanta hjälplinjer. (1 p)



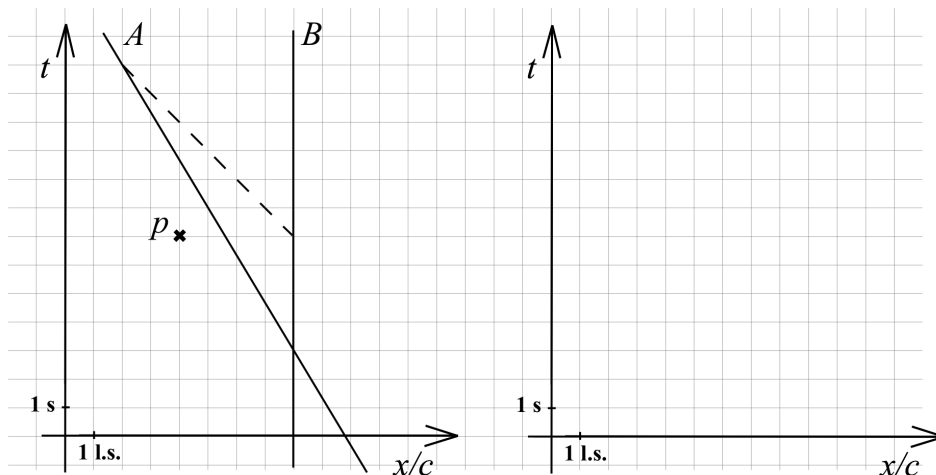
2. Observatör  $A$  befinner sig i vila, observatör  $B$  rör sig med farten  $0,4c$  åt höger och observatör  $C$  rör sig med farten  $0,8c$  åt höger. Observatörerna har varsin klocka med sig. Vilken av de tre klockorna  $A$ ,  $B$  och  $C$  går *långsammast* enligt
  - (a) observatör  $A$ ?
  - (b) observatör  $B$ ?
  - (c) observatör  $C$ ?



(Inga motiveringar behövs i deluppgifterna (a), (b) och (c). Alla rätt 2 p; annars 0 p.)

- (d) Med vilken fart rör sig  $A$  respektive  $B$  enligt observatör  $C$ ? (Ge en kort motivering eller uträkning.) (2 p)

3. Rumtidsdiagrammet till vänster visar världslinjerna för två observatörer  $A$  och  $B$ , en ljussignal som  $B$  sänder till  $A$ , samt en händelse  $p$ . Diagrammet är ritat ur observatör  $B$ 's perspektiv, där  $B$  själv befinner sig i vila medan  $A$  färdas åt vänster med farten  $0,6c$ . Konstruera till höger  $A$ 's diagram över samma situation. Diagrammet ska alltså innehålla  $A$  själv (som här är i vila),  $B$ , ljuspulsen och händelse  $p$ . Använd rutnätet och var noga med att de inbördes rumtidsavstånden blir desamma som i  $B$ 's diagram. (Origos position i förhållande till objekten i diagrammet är dock oviktig.) (Ingen motivering behövs, men rita tydligt, gärna med hjälplinjer!) (3 p)



4. Vilka av följande objekt rör sig på en *tidslik geodet*? Sätt kryss där så är fallet! (Alla rätt 2 p; annars 0 p)
- Ljus på väg från solen till jorden
  - Halleys komet
  - En flygplan som färdas med konstant fart längs jordens ekvator
  - En fisk som ligger stilla på sjöbotten
  - En GPS-satellit
  - En bomullstuss som faller i vakuum
  - En foton fångad i bana kring ett svart hål
  - En sten som faller in genom händelsehorisonten för ett svart hål.
5. Förklara kortfattat men tydligt hur det följer ur ekvivalensprincipen att ljusets väg böjer av i gravitationsfält! (3 p)

6. Du planerar en resa till stjärnan Sirius 8,6 ljusår från jorden. Du tänker ge dig iväg precis efter din 30-årsdag, och vill hinna hem igen lagom till din 40-årsdag. Vilken fart måste du hålla, och hur lång tid kommer att ha förflutit hemma på jorden när du återvänder? Rita ett rumtidsdiagram och förklara hur du resonerar. Och glöm inte att besvara båda frågorna! (4 p)

7. Ge korta svar på följande frågor. (5 p)

(a) Vad kallas den kärnprocess som används i ett kärnkraftverk för att utvinna energi?

(b) Skriv ner beteckningen för den atomkärna som består av två protoner och en neutron!

(c) En urankärna av den vanligaste isotopen har atomnummer 92 och masstal 238. Ungefär hur mycket väger 1 mol uranatomer?

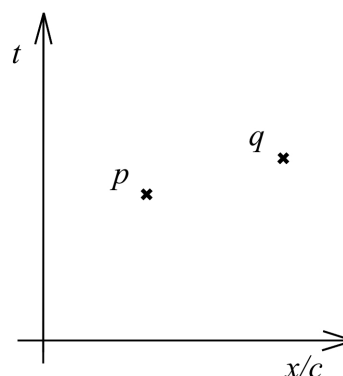
(d) Varför krävs det högre temperatur för att slå samman kolkärnor till tyngre kärnor än för att slå samman vätekärnor till tyngre kärnor?

(e) Vilken är den huvudsakliga funktionen hos en moderatör i ett kärnkraftverk?

8. Antag att vi har en yta med konstant krökning. Vid vilken typ av krökning (positiv, noll eller negativ) är följande geometriska konstruktioner på ytan möjliga? Fler än ett alternativ kan vara ett möjligt svar. (Alla rätt ger 4 p; fyra rätt ger 3 p; tre rätt ger 2 p; annars 0 p)

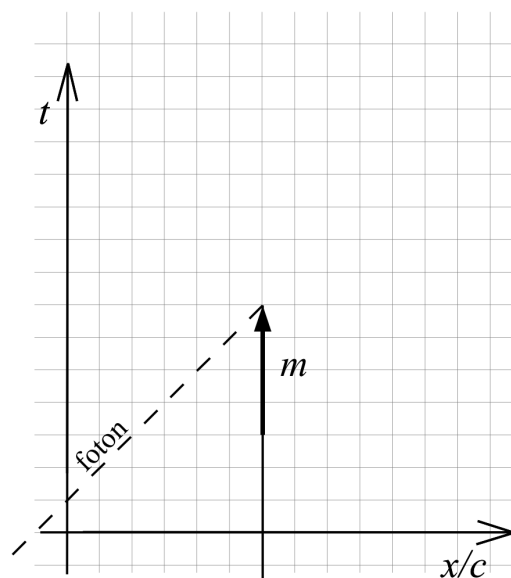
	positiv	noll	negativ
(a) En cirkel med radie 5 cm och omkrets 35 cm.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(b) Två olika stora trianglar med samma vinkelsumma.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(c) Två geodeter som, oavsett hur långa man gör dem, skär varandra i en enda punkt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(d) En triangel vars alla vinklar är räta.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(e) En kvadrat med sidan 2 cm och arean 5 cm <sup>2</sup> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Markera i diagrammet de punkter som tillhör framtiden till  $p$ , men varken framtiden eller det förflutna till  $q$ ! (2 p)



10. En partikel med massa  $m$  befinner sig i vila, när den träffas av en foton med en energi lika stor som partikelns viloenenergi. Partikeln absorberar fotonen fullständigt. I diagrammet visas världslinje och världsvektor för partikeln innan den absorberar fotonen, samt fotonens världslinje.

- (a) Rita in fotonens världsvektor i diagrammet! (1 p)
- (b) Rita in världslinje och världsvektor för partikeln efter att den absorberat fotonen. Det ska framgå varför du ritar som du gör. (2 p)



- (c) Vilken är partikelns fart efter att den absorberat fotonen? (1 p)

- (d) Vad är massan hos partikeln efter att den absorberat fotonen, uttryckt i dess ursprungliga massa  $m$ ? (2 p)

11. 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.) (8 p)

- |   |                               |                              |
|---|-------------------------------|------------------------------|
| (a) Michelson och Morley ville med sitt berömda experiment fastställa jordens fart i förhållande till etern.                                | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (b) I vissa material är ljushastigheten större än $c$ .   | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (c) Du färdas med konstant hastighet genom rymden. Klockorna i rymdskeppets för går snabbare än de i aktern.                                | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (d) Den som har passerat händelsehorisonten för ett svart hål kan inte längre ta emot några signaler från världen utanför det svarta hålet. | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (e) En partikel med massa $m$ som rör sig med farten $0,8c$ har en rörelsemängd som är större än $0,8mc$ .                                  | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (f) Två fotoner (ljuspartiklar) med samma rörelsemängd har också samma totala energi.   | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (g) När vår sol har brunnit färdigt kommer den att explodera i en supernova och bilda en neutronstjärna.                                    | <input type="checkbox"/> Rätt | <input type="checkbox"/> Fel |
| (h) Om man tittar på en klocka som rör sig mot en med hög fart ser klockan ut att gå för fort.  | <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:  $T = \frac{L a}{c^2} t_{acc}$