

1. Vad menas med
 - (a) ljuskonen
 - (b) framtiden
 - (c) det förflutnatill en punkt p ?
2. Hur skulle man, *utan* att använda begreppet ljuskonen, kunna karaktärisera de händelser som varken tillhör framtiden eller det förflutna till en given händelse p i rumtiden?
3. Varför krävs det högre temperatur för att helium ska undergå fusion, än för att väte ska göra det?
4. Hur bildas
 - (a) en vit dvärg?
 - (b) en neutronstjärna?
 - (c) ett svart hål?
5. Förklara vad som menas med
 - (a) händelsehorisonten
 - (b) singularitetenför ett svart hål.
6. Hur skulle du kommentera följande fråga:
”Hur skulle det kännas att befinna sig till hälften nedsänkt i ett svart hål, alltså med huvudet utanför händelsehorisonten, men med fötterna innanför? Eftersom ingenting kan komma ut ur det svarta hålet, borde man väl då inte kunna känna sina fötter, eller?”

Svar till instuderingsfrågor 10

– finns på nästa sida!

1.
 - (a) Ljuskonen till en punkt p i rumtiden består av alla ljuslika linjer som passerar genom punkten p . I ett rumtidsdiagram med två rumsdimensioner och en tidsdimension ser ljuskonen ut som två koner som sitter ihop i spetsarna (så att den undre konen är rättvänd och den övre upp-och-ner), med punkten p där spetsarna möts.
 - (b) Framtiden till p är alla punkter i rumtiden som ligger innanför den övre delen av ljuskonen i p . Det är alla händelser som potentiellt kan påverkas av det som händer i p .
 - (c) Det förflutna till p är alla punkter i rumtiden som ligger innanför den nedre delen av ljuskonen. Det är alla händelser som potentiellt kan ha påverkat det som händer i p .

2. De händelser som varken tillhör framtiden eller det förflutna till p , är de händelser som kan vara samtidigt med p enligt någon observatör. Det innebär även att olika observatörer kommer att vara oeniga om huruvida dessa händelser inträffar före eller efter p . Vi kan också säga att detta är de punkter i rumtiden som inte kan ha något direkt kausalt samband med p . Dvs. de kan inte ha orsakat det som händer i p och p kan inte orsaka vad som händer i dem.

3. För att två kärnor ska smälta samman måste de komma så nära varandra att "den starka kraften" mellan deras nukleoner kan hålla ihop dem. Eftersom alla kärnor är positivt laddade, och repellerar varandra, krävs att de har mycket höga hastigheter för att de ska kunna komma så nära varandra: temperaturen måste vara hög. Ju tyngre kärnorna är, desto mer positivt laddade är de, och desto högre hastigheter krävs för att övervinna repulsionen mellan dem.

4.
 - (a) Efter att en stjärna av ungefär solens storlek brunnit klart faller den samman till en mycket kompakt materiek lump där atomerna ligger tätt packade, och som sedan bara kallnar. Detta är en vit dvärg.
 - (b) När en stjärna betydligt större än solen har brunnit klart imploderar den i en våldsam supernova. Vid denna slungas en hel del av stjärnans material ut i rymden. Men om det som blir kvar efter explosionen har en massa större än cirka en och en halv gånger solens, så kan denna materia inte bilda en vit dvärg. Då bildas istället ett ännu kompaktare tillstånd, en neutronstjärna. Denna består av tätt packade neutroner.
 - (c) En neutronstjärna som är tyngre än cirka 2,5 gånger solens massa kan inte stå emot det gravitationella trycket från sin egen massa. Så om resten efter supernovan är större än så blir kollapsen fullständig – ett svart hål bildas.

5.
 - (a) Händelsehorisonten är gränsen till det område vid ett svart hål från vilket inte ens ljus kan ta sig ut. Händelsehorisonten består av de ljuslika linjer som precis *inte* faller in i singulariteten, men inte heller lyckas fly bort från den. Det är dock bara en "tänkt" yta: den syns inte, och ingenting särskilt händer när den passeras.
 - (b) Singulariteten är den punkt i det svarta hålets inre till vilket materia i den ursprungliga stjärnan kollapsat, och som därför har oändlig täthet. Man bör undvika att säga att singulariteten ligger i det svarta hålets centrum; för någon som trillat in i det svarta hålet ligger den snarare i framtiden.

6. Händelsehorisonten består av ljuslika linjer. Därför *kan* man inte befinna sig precis vid den, mer än man kan färdas tillsammans med en ljuspuls. Med andra ord: händelsehorisonten kommer alltid passera en med ljusets hastighet. *Om* man kunde sväva med fötterna nedsänkta i det svarta hålet skulle det kännas precis på samma sätt som att färdas med ljusets hastighet, eftersom det är precis vad man skulle göra i så fall.