

1.
 - (a) Atomnumret anger antal protoner i kärnan.
 - (b) Masstalet anger antalet nukleoner i kärnan, dvs. antalet protoner plus antalet neutroner.
 - (c) Olika isotoper av en kärna innehåller olika antal neutroner, men samma antal protoner.

2. Massan per nukleon i alla grundämnens kärnor är *mindre* än både protonens och neutronens massa var för sig.

3. En järnkärna innehåller fler nukleoner än en heliumkärna, vilket gör att en enskild neutron i järn är hårdare bunden (via "den starka kraften") till de andra nukleonerna. Att den är hårdare bunden betyder lägre energi, vilket betyder mindre massa.

4. En guldkärna är inte lika hårt bunden (per nukleon) som en järnatomkärna, eftersom den innehåller fler protoner som ju repellerar varandra elektriskt. Svagare bindning innebär högre energi, vilket betyder större massa.

5. Bindningsenergin för ett system är den energi man måste tillföra för att slita isär systemet. Ju *större* bindningsenergi, desto hårdare är systemet bundet och desto *lägre* är därmed systemets egen energi. Till exempel: en boll som ligger nere i en grop har lägre energi ju djupare gropen är. Bindningsenergin är den energi som krävs för att få upp bollen, och den är förstås större om gropen är djup.

6. **Fission:** klyvning av tunga kärnor (till exempel uran) till lättare.
Fusion: sammanslagning av lätta kärnor (till exempel väte eller helium) till tyngre.
 Likhet mellan fission och fusion: I båda fallen är produkten lättare än utgångsmaterialet, och skillnaden i massa frigörs i form av rörelseenergi.

7. (a) En järnkärna består av 26 protoner och 30 neutroner.

Massan av 26 protoner och 30 neutroner är, så länge de inte sitter ihop,

$$M_{p,n} = 26 \cdot 1,00728 + 30 \cdot 1,00866 \approx 56,45 \text{ u}$$

Förhållandet mellan detta och massan hos en hel järnkärna är

$$\frac{M_{p,n}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{56,45}{55,935}$$

Förhållandet mellan massan hos 1 kg järn sönderplockat i protoner och neutroner, och 1 kg icke sönderplockat järn måste vara detsamma. Massan hos proton och neutronhögen är alltså:

$$1 \text{ kg} \cdot \frac{56,45}{55,935} \approx 1,0092 \text{ kg}$$

Högen av protoner och neutroner väger alltså cirka 9,2 gram mer än det ursprungliga järnet. (Vi har försummat elektronernas massor i räkningen.)

- (b) Den extra massan som blev till när järnet plockades isär (9,2 gram) motsvarar järnets bindningsenergi, vilket är den minsta energimängd som måste ha tillförts för att få isär alla protoner och neutroner:

$$\Delta m c^2 = 0,0092 \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \approx 8,3 \cdot 10^{14} \text{ Joule}$$

8.

- (a) I en enda process förintas massan

$$2m({}_1^2H) - m({}_1^3H) - m({}_1^1H) \approx 0,00487 \text{ u}$$

För att få detta från enheten u till kilogram måste vi dividera med $6,022 \cdot 10^{26}$, och för att få vilken energi det svarar mot ska vi multiplicera med c^2 :

$$\Delta E = \frac{0,00487}{6,022 \cdot 10^{26}} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \approx 7,3 \cdot 10^{-13} \text{ Joule}$$

- (b) Observera att det i varje process går åt *två* stycken deuteriumkärnor, så om vi utgår från en mol deuterium så räcker det bara till *en halv* mol fusionsprocesser. Svaret blir alltså

$$\frac{1}{2} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 7,3 \cdot 10^{-13} \approx 2,2 \cdot 10^{11} \text{ Joule}$$

9. Heliumkärnan har mindre massa än de båda deuteriumkärnorna tillsammans. Det innebär att världsvektorn för heliumkärnan är kortare än två gånger världsvektorn för en deuteriumkärna. Men om du ritat in processen i ett rumtidsdiagram, där den resulterande heliumkärnan befinner sig i vila (diagrammet kommer alltså se ut som ett upp-och-nedvänt Y), så ser du att om deuteriumkärnornas världsvektorer adderas så blir resultatet en ny världsvektor som är *längre* (i rumtidsmening) än två gånger de ursprungliga vektorernas längd. Alltså: för att världsvektorn ska vara bevarad i en dylik process måste resultatet väga *mer* än dubbelt så mycket som en deuteriumkärna, och inte mindre som i fallet med helium. Av denna anledning måste det vid fusionsprocesser *alltid* bildas mer än en reaktionsprodukt (som till exempel i reaktionen i uppgift 8).

10. Rumtidsdiagrammet visar dels de positiva metalljonerna och de negativa elektronerna inuti en sladd, dels världslinjen och samtidigthetslinjen för en elektron som far förbi utanför sladden i motsatt riktning jämfört med elektronerna inuti sladden. Om man studerar samtidigthetslinjen finner man att den passerar fler negativa än positiva världslinjer: enligt elektronen utanför sladden har sladden en negativ nettoladdning. Elektronen repellerar därför sladden. Vi kan byta ut den ensamma elektronen mot en hel sladd med en strömriktning motsatt den i den första sladden. Var och en av elektronerna i båda sladdarna kommer då att uppfatta den andra sladden som negativt laddad, varför sladdarna kommer att repelleras varandra.

