

## Nr. 6-2007 Grundstoffernes historie

Fag: Fysik A/B/C

Udarbejdet af: Michael Bjerring Christiansen, Århus Statsgymnasium, november 2008

### Spørgsmål til artiklen

1. Hvilket grundstof, mente Hans Bethe, var det eneste, der kunne dannes ved fusion af brint i stjerner?
2. Hvorfor er figuren over fordelingen af grundstoffer savtakket?
3. Hvorfor er grundstofferne lithium (Li), beryllium (Be) og Bor (B) relativt sjældne grundstoffer?
4. Hvorfor kan en stjerne kun danne grundstoffer op til jern i fusionsprocesser, og hvordan spredes disse grundstoffer ud i universet?
5. Hvad er massefylden i centrum af en rød kæmpestjerne på dens sidste levedag.
6. Hvordan dannes grundstoffer med større atomnummer end jern, og hvor formoder man det sker?

### Uddybende opgaver og spørgsmål

7. Brug svarene fra nogle af de foregående spørgsmål til at udfylde skemaet herunder. (Bemærk, at den primære kilde til universets indhold af helium er selve Big Bang. De heliummængder der sidenhen er dannet i stjerner udgør selv i dag kun en lille procentdel af universets samlede indhold af helium.)

Grundstof	H, He, Li, Be, B	C, N, ... Fe, Co, Ni	Atomnummer over 28
Primær dannelseskilde			

8. Tabellen herunder viser fordelingen efter masse af de hyppigst forekommende grundstoffer i et menneske, der vejer 70kg. Beregn hvor stor en procentdel af grundstofferne i et menneske, der er dannet efter hver af de primære dannelseskilder fra skemaet herover.

Grundstof	O	C	H	N	Ca	P	K	S	Na	Cl	Mg	Fe	F
Masse i kg	43	16	7	1,8	1,0	0,78	0,14	0,14	0,1	0,095	0,019	0,0042	0,0026

Grundstof	Zn	Si	Rb	Sr	Br	Pb	Cu
Masse i kg	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$0,68 \cdot 10^{-3}$	$0,32 \cdot 10^{-3}$	$0,26 \cdot 10^{-3}$	$0,12 \cdot 10^{-3}$	$0,072 \cdot 10^{-3}$

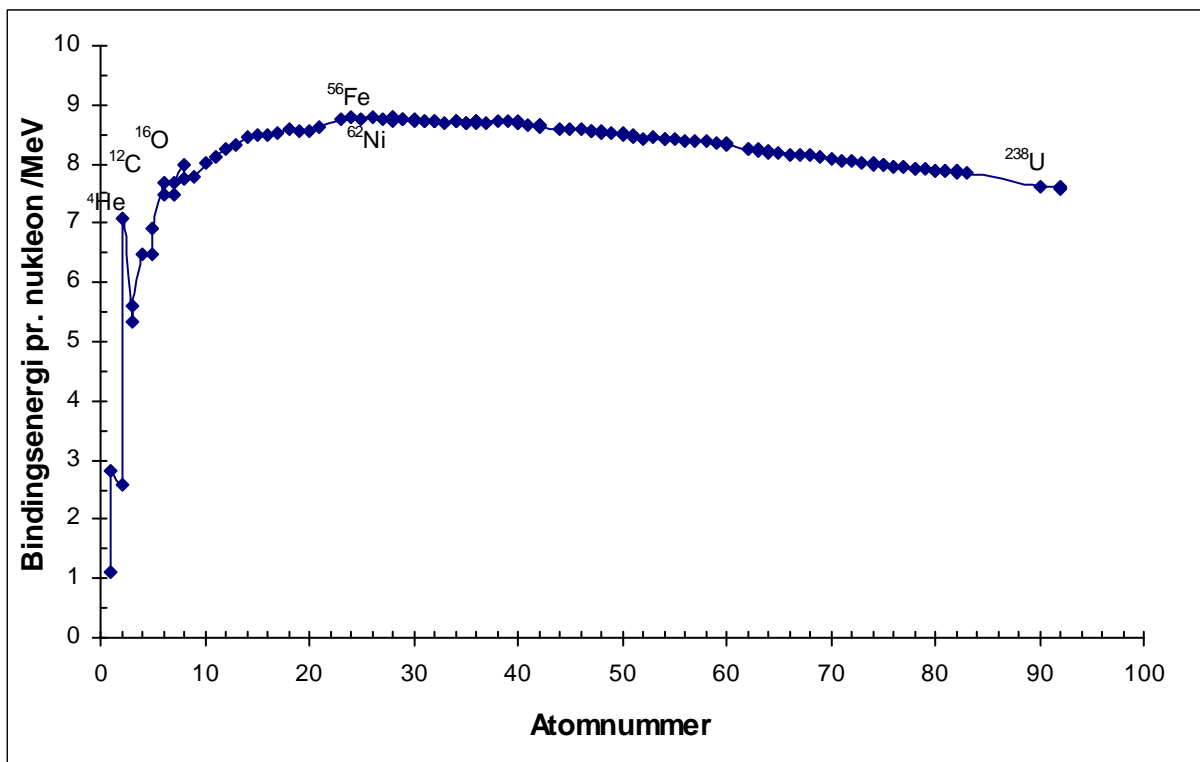
(Ref.: [http://web2.airmail.net/uthman/elements\\_of\\_body.html](http://web2.airmail.net/uthman/elements_of_body.html))

## Magiske kerner

Fra kemi ved vi, at atomer med otte elektroner i den yderste skal er særligt stabile. For atomkerner gælder noget tilsvarende. Det viser sig, at atomkerner, som indeholder 2, 8, 20, 28, 50, 82, eller 126 protoner og/eller neutroner *kan* være særligt stabile. Denne serie af tal kaldes magiske kernetal. Hvis både antallet af neutroner og antallet af protoner i kernen er magiske tal, siges kernen at være dobbelt magisk.

Helium-4 isotopen ( ${}^4_2\text{He}$ ) er det simpleste eksempel på en dobbelt magisk kerne, idet den indeholder to protoner *og* to neutroner, hvilket gør  ${}^4_2\text{He}$  til en exceptionel stabil atomkerne sammenlignet med andre atomkerner med et lavt massetal (se figuren).

Tin-132 isotopen er også dobbelt magisk, idet den indeholder 50 protoner og 82 neutroner, men den er *ikke* stabil, idet antallet af neutroner er for stort i forhold til antallet af protoner.



Figuren viser bindingsenergien pr. nukleon som funktion af atomnummeret for udvalgte atomkerner. Jern og nikkel atomkernerne er de mest stabile, da bindingsenergien er højest for disse kerner.

- Find de andre fire stabile dobbelt magiske atomkerner ud over helium-4.
- Undersøg, hvilken atomkerne der faktisk er den mest stabile. Du kan for eksempel bruge: [http://www.einstein-online.info/en/spotlights/binding\\_energy/binding\\_energy/index.txt](http://www.einstein-online.info/en/spotlights/binding_energy/binding_energy/index.txt) eller en databog.

**11.** Tabellen herunder viser bindingsenergiene for en række ilt isotoper. Den kan vi bruge til at undersøge, hvor meget mere stabil ilt-16 isotopen er end forventet, fordi det er en dobbelt magisk kerne. Afsæt punkterne i et koordinatsystem med nukleontallet ud ad 1. akse og bindingsenergien pr. nukleon op ad 2. akse.

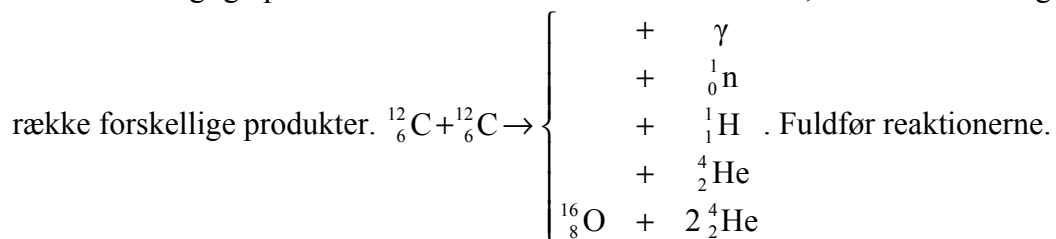
Bemærk, at ilt isotoper med et ulige antal neutroner generelt har lidt lavere bindingsenergi end ilt isotoper med et lige antal neutroner. (Dette gælder helt generelt for atomkerner.) Lægges en blød kurve mellem isotoperne 12, 14, 18, 20 og 22 ser man at ilt-16 ligger over denne bløde kurve. Den ekstra bindingsenergi ilt-16 har i forhold til denne kurve skyldes, at den er dobbelt magisk. Den bløde kurve kan findes ved at fitte et 4. grads polynomium til ovennævnte fem ilt isotoper. Find forskriften for 4. grads polynomiet (sørg for at få tilstrækkeligt med betydende cifre med!) og beregn den forventede bindingsenergi for ilt-16 ud fra denne forskrift. Beregn derpå forskellen mellem den reelle bindingsenergi og den forventede bindingsenergi for ilt-16.

Ilt isotop	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$E_{\text{bind. pr. nukleon}}$ i MeV	4,879	5,812	7,052	7,464	7,976	7,751	7,767	7,566	7,569	7,389	7,365

I de følgende spørgsmål tages udgangspunkt i tabellen over stjerners forbrændingsstadier.

**12.** Den første vigtige fusionsproces efter fusion af brint, er den såkaldte triple-alfa proces, hvor tre helium-4 kerner fusionerer til kulstof-12. Opskriv fusionsreaktionen mellem to helium-4 kerner og forklar hvorfor denne reaktion ikke sker. I forbindelse med triple-alfa processen sker der yderligere en reaktion, hvor ilt-16 dannes. Den står lidt kryptisk skrevet som  $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$ , hvilket betyder  $^{12}\text{C} + ^4\text{He} \rightarrow ^{16}\text{O} + \gamma$

**13.** Den anden vigtige proces er fusionen af to kulstof-12 kerner, hvor der er mulighed for at få en



**14.** Den tredje vigtige proces, som danner endnu tungere kerner er fusionen af to ilt-16 kerner. Også her dannes en række forskellige produkter. Opskriv de mulige reaktioner idet biprodukterne er nøjagtig de samme som ved kulstof reaktionen, altså  $\gamma$ ,  $^1_0\text{n}$  og så videre.

**15.** Den sidste vigtige række af reaktioner, der leder frem til dannelsen af jern og nikkel, starter med følgende reaktion  $^{28}_{14}\text{Si} + ^4_2\text{He} \rightleftharpoons ^{32}_{16}\text{S} + \gamma$  - i kompakt form skrives reaktionen  $^{28}\text{Si}(\alpha,\gamma)^{32}\text{S}$ .

Bemærk, at reaktionen går begge veje men er forskudt mod højre. Svovl-32 kan på samme måde som silicium-28 fusionere med en helium-4 kerne ( $\alpha$ -partikel) og danne en argon-36 kerne samt en gammafoton. Reaktionen mod venstre sikrer en fortsat tilstedeværelse af helium-4 kerner, som kan fusionere med nye tungere atomkerner. Færdiggør reaktionskæden op til nikkel-56

skrevet i kompakt form:  $^{28}\text{Si}(\alpha,\gamma)^{32}\text{S}(\alpha,\gamma)^{36}\text{Ar}(\alpha,\gamma)\dots \dots(\alpha,\gamma)^{56}\text{Ni}$ . Hvor lang tid er stjernen om at færdiggøre disse reaktioner?

- 16.** Ud over denne kæde af processer sker der også reaktioner med løsslåede protoner og neutroner, ligesom eventuelle radioaktive kerner, der dannes, kan henfalde. Undersøg, hvilke af de i denne kæde dannede atomkerner, der er radioaktive.  
 (Den præcise sammensætning af grundstoffer i stjernens centrale dele afhænger både af temperaturen og den tid, der er til rådighed. I praksis viser det sig ved at der primært dannes jern og ikke nikkel i stjernens centrale dele, mens der omkring jernkernen er en skallignende struktur af forskellige grundstoffer som vist på en figur i artiklen.)
- 17.** Forklar forskellen mellem r-processen og s-processen i dannelsen af grundstoffer tungere end jern og nikkel.
- 18.** Tag udgangspunkt i bly-208 samt et kernekort og vis at s-processen er i stand til at danne bismuth men *ikke* tungere grundstoffer som thorium og uran.
- 19.** Tag på tilsvarende vis udgangspunkt i jern-52 og vis at s-processen godt kan danne stabile jern og nikkel isotoper.

### Perspektiverende opgaver og spørgsmål

- 20.** Tabellen herunder viser de mineraler, som kan anvendes til kosttilskud og kun i de mængder, der ligger inden for grænseværdierne.  
 Hvilke af disse grundstoffer har atomnummer over 28 og er dermed kun dannet under særlige omstændigheder i universet? Undersøg, hvilken betydning nogle af disse grundstoffer har for kroppen og diskuter om de eventuelt kan undværes, se fx <http://www.netdoktor.dk/vitaminer/> .

Næringsstof	Minimumsindhold pr. anbefalet daglig dosis	Maksimumsindhold pr. anbefalet daglig dosis
Calcium	250 mg	1,5 g
Phosphor	250 mg	1,5 g
Magnesium	90 mg	600 mg
Jern	4 mg	27 mg
Zink	4 mg	22,5 mg
Kobber	0,5 mg	3 mg
Jod	45 µg	225 µg
Mangan	1 mg	5 mg
Chrom	15 µg	125 µg
Selen	15 µg	125 µg
Molybdæn	45 µg	250 µg

- 21.** For at kunne forstå dannelsen af kulstof i stjerner brugte Hoyle et såkaldt antropisk argument til at forudsige eksistensen af en exciteret tilstand af kulstof-atomkernen. Undersøg på internettet, hvad det antropiske princip går ud på, og hvordan det kan bruges – og misbruges!

### Eksamensopgaver med relevans

Fysik Højt Niveau, Maj-juni 2006, opgave 5, Omvendt tripel-alfa proces

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab* •
  - Se mere på [www.aktuelnaturvidenskab.dk](http://www.aktuelnaturvidenskab.dk) •
- 

## Til læreren

De fleste af opgaverne er forsøgt formuleret, så de kan besvares af elever med fysik C, hvis man i den valgfrie del inddrager lidt kernefysik.

Den kompakte notation for reaktionskæder kan også bruges til beskrivelse af henfaldskæder. Konventionen er normalt, at den primære reaktant og det primære produkt står uden for parenteser, mens alle sekundære reaktanter står uden mellemrum før kommaet og alle sekundære produkter står uden mellemrum efter kommaet.

## Relateret materiale

### Generelt

Ben Mottelson, i *Atomkernens mikro makro verden*, Niels Bohr Institutet, 1971  
Jørgen Christensen-Dalsgaard, *Stellar Structure and Evolution*, 5. udg., 2000

### Kerners bindingsenergier

Søgeord: Einstein nuclear binding

[http://www.einstein-online.info/en/spotlights/binding\\_energy/index.html](http://www.einstein-online.info/en/spotlights/binding_energy/index.html)

### Grundstoffordelingen i mennesker

Søgeord: elements in humans

[http://web2.airmail.net/uthman/elements\\_of\\_body.html](http://web2.airmail.net/uthman/elements_of_body.html)

### Om vitaminer

<http://www.netdoktor.dk/vitaminer/>

<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=7822>

### Resonansen i kulstof

Søgeord: hoyle carbon resonance

<http://www.np.ph.bham.ac.uk/research/anthropic.htm>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Triple-alpha\\_process](http://en.wikipedia.org/wiki/Triple-alpha_process)

### Det antropiske princip

Søgeord: antropisk princip

<http://astrogym.ifa.au.dk/fynbo/2002/1205.2002.html>

<http://users.cybercity.dk/~kam1966/antropi.htm> ligger også under <http://universer.dk/antropi.htm>

For en anden indgangsvinkel(!): <http://www.hedegaard.nu/pdf/Det%20Antropiske%20Princip.pdf>