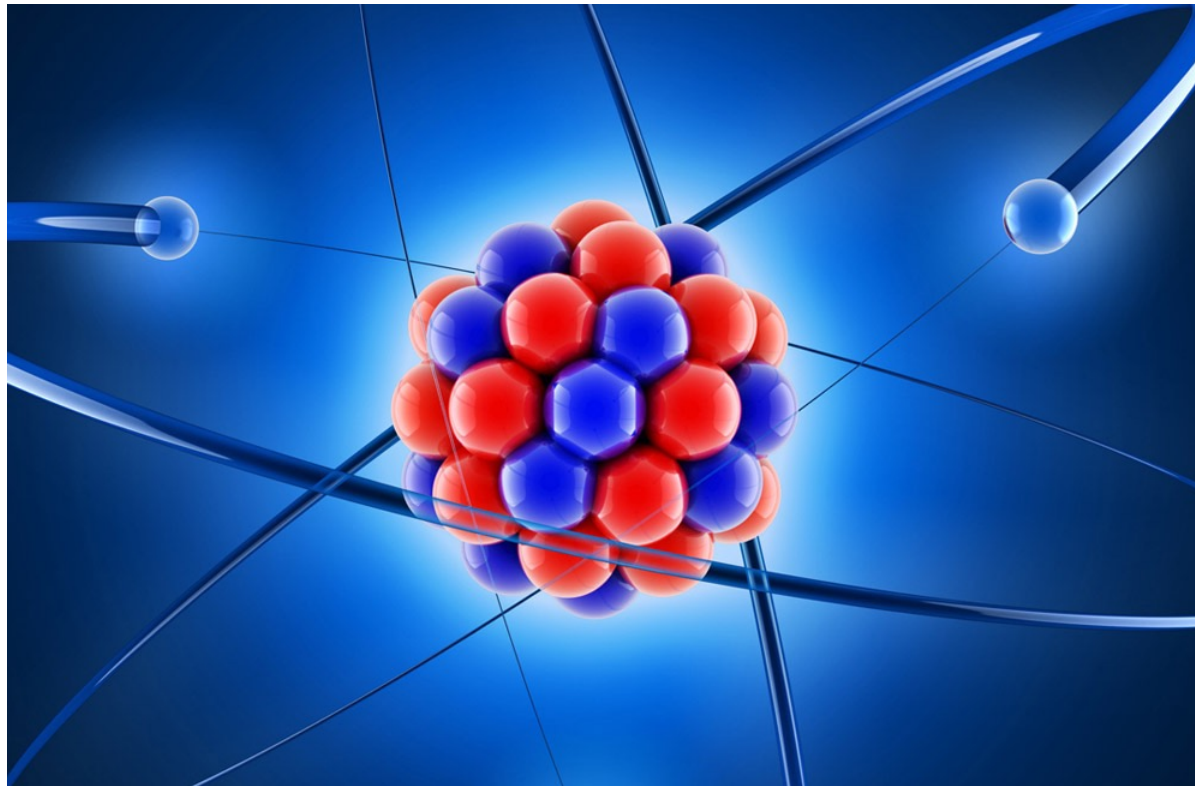


# Kärnfysik

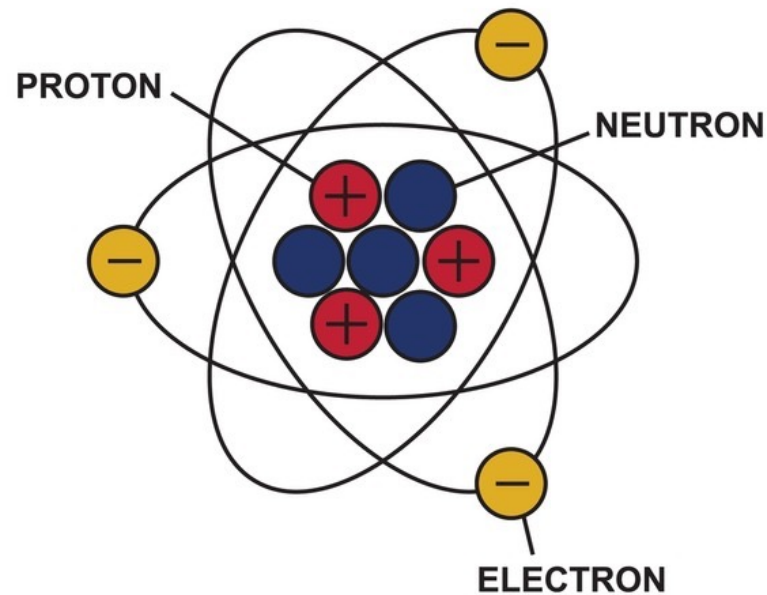
Kärnfysiken behandlar materiens minsta beståndsdelar vilket gett upphov till ny teknik och uppfinningar inom en rad områden som exempelvis medicin, material och energiframställning.



## Atomen

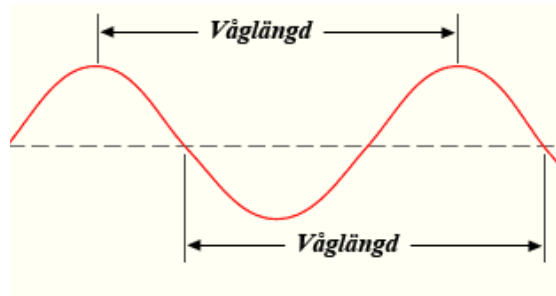
Atomen består av en positivt laddad kärna och negativt laddade elektroner i omloppsbanor runt kärnan. Kärnan består i sin tur av positivt laddade protoner och oladdade neutroner. Man har senare upptäckt att dessa i sin tur består av ännu mindre partiklar.

Observera att kärnans storlek är mycket mycket liten i förhållande till elektronernas omloppsbanor. I bilden nedan är alltså kärnan kraftigt uppförstorad.



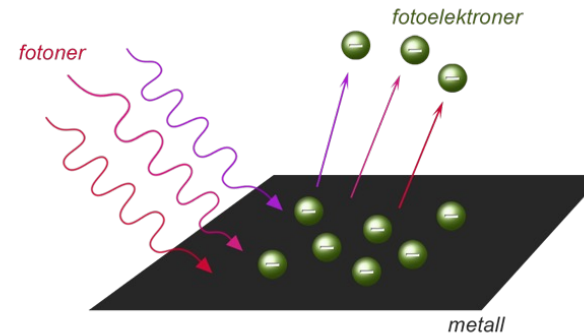
## Ljuset – Både vågrörelse och ström av partiklar samtidigt

Man har också kunnat visa att ljus både kan betraktas som en vågrörelse och som en ström av partiklar s k fotoner.



Ljushastigheten = produkten av frekvensen och våglängden.

$$c = f \cdot \lambda$$



Energien hos en foton är proportionell mot ljusets frekvens.

$$E = h \cdot f$$

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad (\text{Plancks konstant})$$

- \*) Den fotoelektriska effekten utnyttjas ex v i en ljusdiod som genererar ström när den utsätts för ström.
- \*) Einstein tilldelades Nobelpriset i fysik 1921 för beskrivningen av den fotoelektriska effekten.

## Den universella massenheten

Att jobba med kg eller gram som massenheter för atomer blir lätt opraktiskt. Man har därför infört den universella massenheten  $u$  där:

$$1u = 1.66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

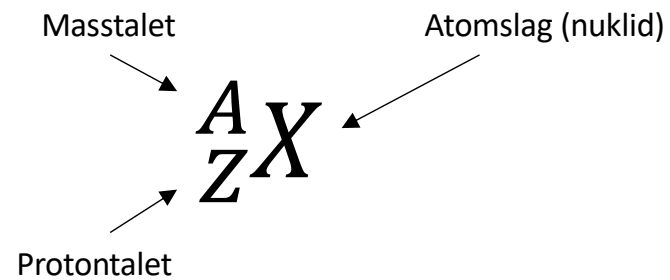
Massenhet  $1 u$  motsvarar  $1/12$  av kolatomen  $^{12}\text{C}$ .

	Massa	Laddning
Proton	$m_p = 1.00728 u$	$+e$
Neutron	$m_n = 1.00866 u$	$0$
Elektron	$m_e = 0.00055 u$	$-e$

$e$  = elementarladdningen  $1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

## Atombeteckningar

Samtliga grundämnen finns systematiskt organiserade i det periodiska systemet.



Z = antalet protoner

A = antalet nukleoner (protoner och neutroner)

N = A – Z = antalet neutroner

Ex. Kväveatomen  ${}^{14}_7N$  har Z = 7 protoner och N = 7 neutroner. Sammantaget har den A = 14 nukleoner.

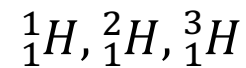
# Det periodiska systemet

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1	<b>H</b> Väte 1,008	Atomic Tecken Namn Vikt		<b>C</b> Fast	Metall						Halvmetall	Icke-metall								2 <b>He</b> Helium 4,0026
2	3 <b>Li</b> Litium 6,94	4 <b>Be</b> Beryllium 9,0122		<b>Hg</b> Flytande	Alkalisk jordartsmetall		Lantanoider	Aktinoider	Övergångsmetall	Ovrig metall	Icke-metaller	Ädelgas	5 <b>B</b> Bor 10,81	6 <b>C</b> Kol 12,011	7 <b>N</b> Kväve 14,007	8 <b>O</b> Syre 15,999	9 <b>F</b> Fluor 18,998	10 <b>Ne</b> Neon 20,180		
3	11 <b>Na</b> Natrium 22,990	12 <b>Mg</b> Magnesium 24,305		<b>H</b> Gasformig									13 <b>Al</b> Aluminium 26,982	14 <b>Si</b> Kisel 28,085	15 <b>P</b> Fosfor 30,974	16 <b>S</b> Svavel 32,06	17 <b>Cl</b> Klor 35,45	18 <b>Ar</b> Argon 39,948		
4	19 <b>K</b> Kalium 39,098	20 <b>Ca</b> Kalcium 40,078	21 <b>Sc</b> Skandium 44,956	22 <b>Ti</b> Titan 47,867	23 <b>V</b> Vanadin 50,942	24 <b>Cr</b> Krom 51,996	25 <b>Mn</b> Mangan 54,938	26 <b>Fe</b> Järn 55,845	27 <b>Co</b> Kobolt 58,933	28 <b>Ni</b> Nickel 58,693	29 <b>Cu</b> Koppar 63,546	30 <b>Zn</b> Zink 65,38	31 <b>Ga</b> Gallium 69,723	32 <b>Ge</b> Germanium 72,630	33 <b>As</b> Arsenik 74,922	34 <b>Se</b> Selen 78,971	35 <b>Br</b> Brom 79,904	36 <b>Kr</b> Krypton 83,798		
5	37 <b>Rb</b> Rubidium 85,468	38 <b>Sr</b> Strontium 87,62	39 <b>Y</b> Yttrium 88,906	40 <b>Zr</b> Zirkonium 91,224	41 <b>Nb</b> Niob 92,906	42 <b>Mo</b> Molybden 95,95	43 <b>Tc</b> Teknetium (98)	44 <b>Ru</b> Rutenium 101,07	45 <b>Rh</b> Rodium 102,91	46 <b>Pd</b> Palladium 106,42	47 <b>Ag</b> Silver 107,87	48 <b>Cd</b> Kadmium 112,41	49 <b>In</b> Indium 114,82	50 <b>Sn</b> Tenn 118,71	51 <b>Sb</b> Antimon 121,76	52 <b>Te</b> Tellur 127,60	53 <b>I</b> Jod 126,90	54 <b>Xe</b> Xenon 131,29		
6	55 <b>Cs</b> Cesium 132,91	56 <b>Ba</b> Barium 137,33	57-71	72 <b>Hf</b> Hafnium 178,49	73 <b>Ta</b> Tantal 180,95	74 <b>W</b> Volfram 183,84	75 <b>Re</b> Rhenium 186,21	76 <b>Os</b> Osmium 190,23	77 <b>Ir</b> Iridium 192,22	78 <b>Pt</b> Platina 195,08	79 <b>Au</b> Guld 196,97	80 <b>Hg</b> Kvikksilver 200,59	81 <b>Tl</b> Tallium 204,38	82 <b>Pb</b> Bly 207,2	83 <b>Bi</b> Vismut 208,98	84 <b>Po</b> Polonium (209)	85 <b>At</b> Astat (210)	86 <b>Rn</b> Radon (222)		
7	87 <b>Fr</b> Francium (223)	88 <b>Ra</b> Radium (226)	89-103	104 <b>Rf</b> Rutherfordium (267)	105 <b>Db</b> Dubnium (268)	106 <b>Sg</b> Seaborgium (269)	107 <b>Bh</b> Bohrium (270)	108 <b>Hs</b> Hassium (277)	109 <b>Mt</b> Meitnerium (278)	110 <b>Ds</b> Darmstadtium (281)	111 <b>Rg</b> Röntgenium (282)	112 <b>Cn</b> Copernicium (285)	113 <b>Nh</b> Nihonium (286)	114 <b>Fl</b> Flerovium (289)	115 <b>Mc</b> Moskovium (290)	116 <b>Lv</b> Livermorium (293)	117 <b>Ts</b> Tennes (294)	118 <b>Og</b> Oganesson (294)		
Atommassor inom parentes är ämnets vanligaste eller stabilaste isotop.																				
			6	57 <b>La</b> Lantan 138,91	58 <b>Ce</b> Cerium 140,12	59 <b>Pr</b> Praseodym 140,91	60 <b>Nd</b> Neodym 144,24	61 <b>Pm</b> Prometium (145)	62 <b>Sm</b> Samarium 150,36	63 <b>Eu</b> Europium 151,96	64 <b>Gd</b> Gadolinium 157,25	65 <b>Tb</b> Terbium 158,93	66 <b>Dy</b> Dysprosium 162,50	67 <b>Ho</b> Holmium 164,93	68 <b>Er</b> Erbium 167,26	69 <b>Tm</b> Thulium 168,93	70 <b>Yb</b> Ytterbium 173,05	71 <b>Lu</b> Lutetium 174,97		
			7	89 <b>Ac</b> Aktinium (227)	90 <b>Th</b> Torium 232,04	91 <b>Pa</b> Protaktinium 231,04	92 <b>U</b> Uran 238,03	93 <b>Np</b> Neptunium (237)	94 <b>Pu</b> Plutonium (244)	95 <b>Am</b> Americium (243)	96 <b>Cm</b> Curium (247)	97 <b>Bk</b> Berkelium (247)	98 <b>Cf</b> Californium (251)	99 <b>Es</b> Einsteinium (252)	100 <b>Fm</b> Fermium (257)	101 <b>Md</b> Mendelevium (258)	102 <b>No</b> Nobelium (259)	103 <b>Lr</b> Lawrencium (266)		

## Isotoper

Ur det periodiska systemet kan man bl a utläsa antalet protoner samt det genomsnittliga masstalet för ämnets alla isotoper. Ett atomslag kan ha olika antal neutroner och dessa benämnes då som olika isotoper av ett och samma ämne.

Exempelvis har väte följande tre isotoper:

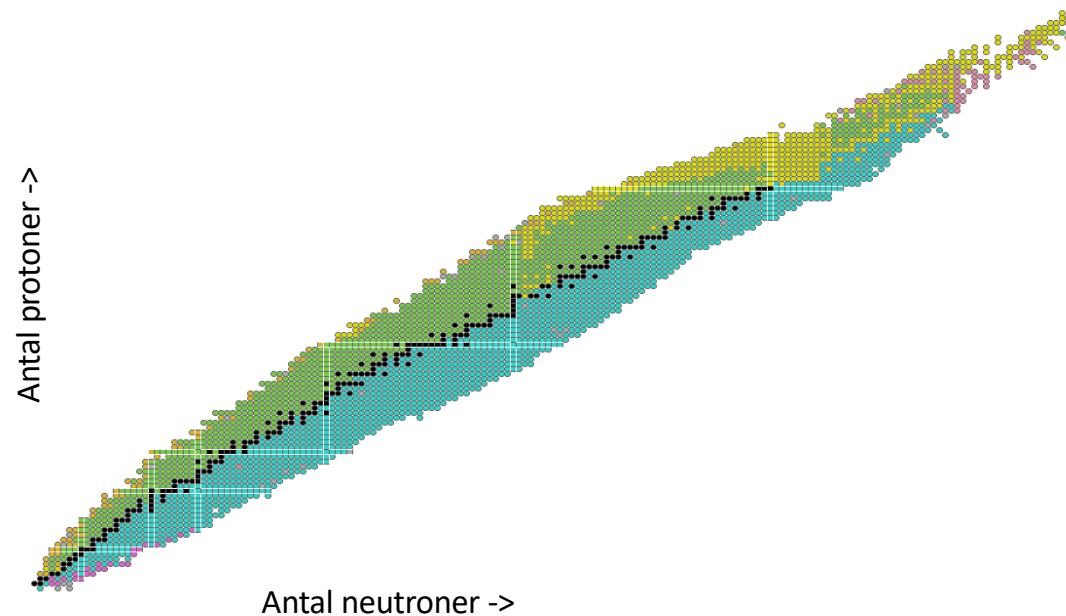


Isotopen  ${}^2_1\text{H}$  kallas Deuterium och betecknas ibland som D. Om vi i vanligt vatten byter ut H mot D får vi så kallat tungt vatten  $D_2O$  som används i kärnreaktorer för att de inte lika lätt som vanligt vatten absorberar fria neutroner.

Isotopen  ${}^3_1\text{H}$  kallas Tritium och används också i kärntekniska sammanhang.

## Nuklidkarta

Nuklidkartan innehåller alla grundämnes olika isotoper rangordnade utefter antal protoner på ena axeln och antalet neutroner på andra axeln.



Då nuklidkartan innehåller väldigt mycket information kan det vara praktiskt att använda en digital variant. En sådan finns på <https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>

## Nuklidkarta, forts

Ur nuklidkartan kan man exempelvis utläsa atommassan för en specifik nuklid (isotop).

Exemplet nedan visar att blynukliden  $^{204}_{82}\text{Pb}$  har atommassan  $m_{\text{Pb-204}} = 203.973043 \text{ u}$ .



## Nuklidtabell

Ett alternativ till nuklidkarta är att använda en nuklidtabell.

Bilden nedan visar ett utdrag ur den tabell som finns i N&K:s formelsamling sid 86-89

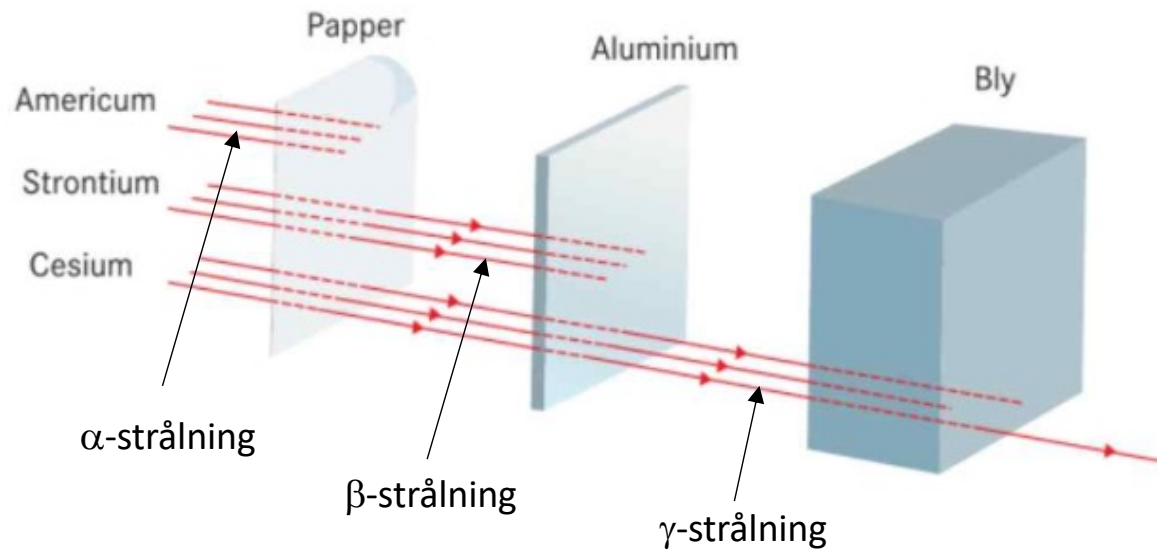
### Några nuklider

Nuklidmassan är hela den neutrala atomens massa.

Ämne	Z	Symbol	A	Nuklidmassa u	Rel före %	Radioaktiv nuklid	
						Typ av sönderfall	Halveringstid
elektron		e		0,00054858			
proton		p		1,007276			
neutron		n		1,008665		$\beta^-$	10,3 min
väte	1	H	1	1,007825	99,9885		
			2	2,014102	0,0115		
			3	3,016049		$\beta^-$	12,3 år
Helium	2	He	3	3,016029	0,00013		
			4	4,002603	99,99987		
litium	3	Li	6	6,015122	7,6		
			7	7,016003	92,4		
beryllium	4	Be	8	8,005305		$\alpha$	70 as
			9	9,012183	100		
bor	5	B	10	10,012937	19,9		
			11	11,009305	80,1		
kol	6	C	12	12,00000000	98,93		
			13	13,00335	1,07		
			14	14,00324		$\beta^-$	$5,7 \cdot 10^3$ år
kväve	7	N	13	13,00574		$\beta^+$	10 min
			14	14,00307	99,64		
syre	8	O	15	15,00011	0,36		
			14	14,00860		$\beta^+$	71 s
			16	15,99491	99,76		
			17	16,99913	0,04		
			18	17,99916	0,20		
			19	19,00358		$\beta^-$	27 s

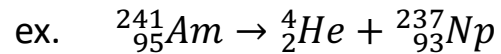
## Radioaktivt sönderfall och strålning

Vissa atomkärnor är instabila och kan omvandlas till andra lättare kärnor med lägre energitillstånd. Sådana instabila kärnor sägs vara radioaktiva. Eftersom energin bevaras frigörs energi vid omvandlingen till strålning. Vi kommer här att behandla alfa-, beta- och gammastrålning.



## $\alpha$ -strålning

Vid alfastrålning bildas heliumkärnor med två protoner och två neutroner. Alfastrålning är relativt svag och kan inte penetrera ett papper eller huden. Notera att det totala antalet nukleoner förblir detsamma efter reaktionen.



## $\beta$ -strålning

Vid betastrålning omvandlas en neutron till en proton ( $\beta^-$ ) eller vice versa ( $\beta^+$ ). Vid omvandlingen skapas också elektron eller positron samt en liten lätt partikel som kallas antineutrino eller neutrino. Betastrålning har större genomträngningsförmåga än alfastrålning och kan tränga igenom vissa metaller.



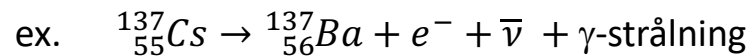
\*) Partiklarna antineutrino och neutrino betecknas  $\bar{\nu}$  respektive  $\nu$

\*) Partikeln positron har samma massa som en elektron men med positiv elektronladdning och betecknas  $e^+$ .

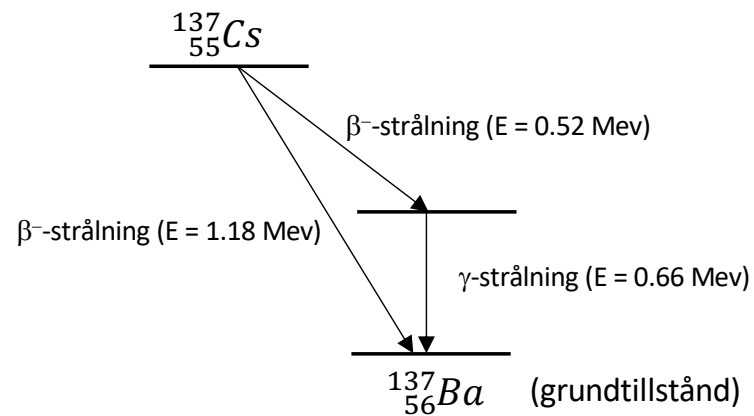
## $\gamma$ -strålning

Vid vissa alfa- eller betasönderfall erhålls överskottsenergi där denna energin sänds ut som en ström av fotoner (s k  $\gamma$ -stråle). Gammastrålningen i sig innebär ingen förändring av antalet protoner och neutroner.

Vissa isotoper kan ha flera energinivåer. Exemplet nedan visar ett  $\beta^-$  - sönderfall där Cesium sänder ut beta-strålning till två olika energinivåer av Barium. Sker sönderfallet direkt till Bariums grundtillstånd avges ingen gamma-strålning. Gammastrålning är starkt genomträngande.



### Sönderfallsschema:



## Massdefekt och bindningsenergi

Om man summerar massan av alla protoner, neutroner och elektroner var för sig får man ett värde som är större än atomens verkliga massa. Skillnaden kallas massdefekt  $\Delta m$  motsvarande atomens bindningsenergi.

$$Z \cdot m_p + N \cdot m_n + Z \cdot m_e = m_{\text{nuklid}} + \Delta m$$

Ex. Beräkna massdefekten och bindningsenergin för  ${}^{58}_{28}\text{Ni}$ .

Från en nuklidkarta eller tabellsamlingen fås:

$$m_{\text{nuklid}} = 57.935342 \text{ u} = 57.935342 \cdot 1.66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 9.620395 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

Från tabellsamlingen fås:

$$Z \cdot m_p = 28 \cdot 1.6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 4.68328 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$N \cdot m_n = 30 \cdot 1.6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 5.02470 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$Z \cdot m_e = 28 \cdot 9.1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 0.002551 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$\text{Massdefekten } \Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n + Z \cdot m_e - m_{\text{nuklid}} = 0.090136 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

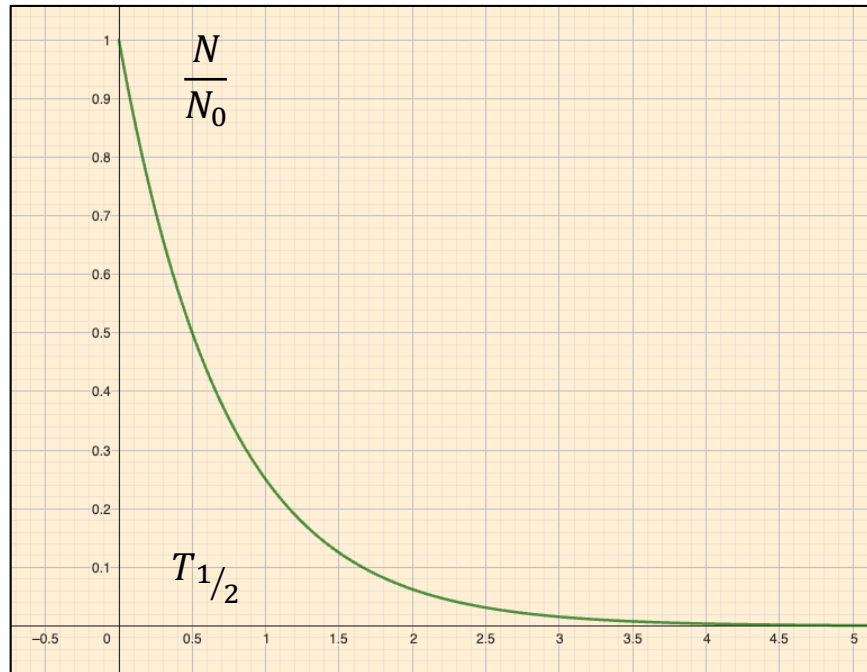
$$\text{Bindningsenergin } E = \Delta m \cdot c^2 = 0.090136 \cdot 10^{-26} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \text{ J} =$$

$$8.11 \cdot 10^{-11} \text{ J} = \frac{8.11 \cdot 10^{-11}}{1.602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 506 \text{ MeV}$$

## Halveringstid

Radioaktivt sönderfall sker exponentiellt som funktion av tiden. Ett mått som ofta används för att beskriva hur snabbt sönderfallet sker är den så kallade halveringstiden. Halveringstiden är den tid som det tar för det radioaktiva sönderfallet att ha sjunkit till hälften.

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad \text{där} \quad \lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$$



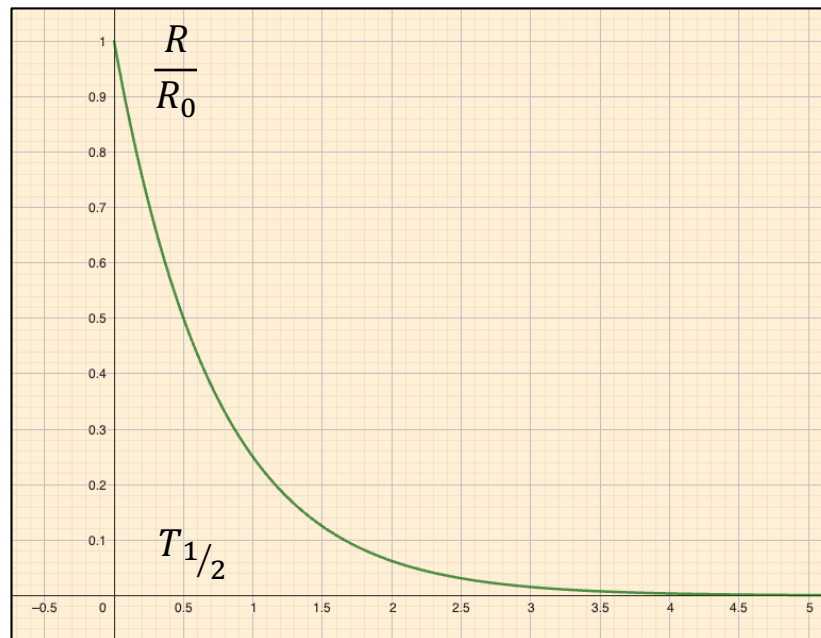
\*)  $\lambda$  kallas sönderfallskonstanten

## Radioaktivitet

Radioaktiviteten  $R$  definieras som antal sönderfall per tidsenhet och mäts i enheten Bq (becquerel).  $R$  är alltså derivatan av  $N$  och kan betecknas som  $R = -N'(t)$ . Radioaktiviteten kan detekteras med en s k Geiger-mätare.

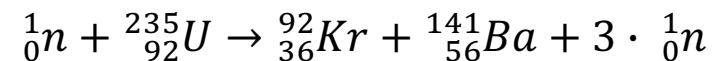
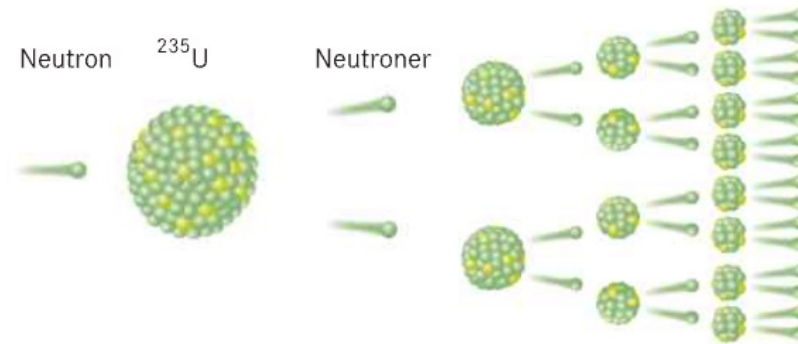
$$R = \lambda \cdot N$$

$$R = R_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad \text{där} \quad \lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$$



## Kärnenergi

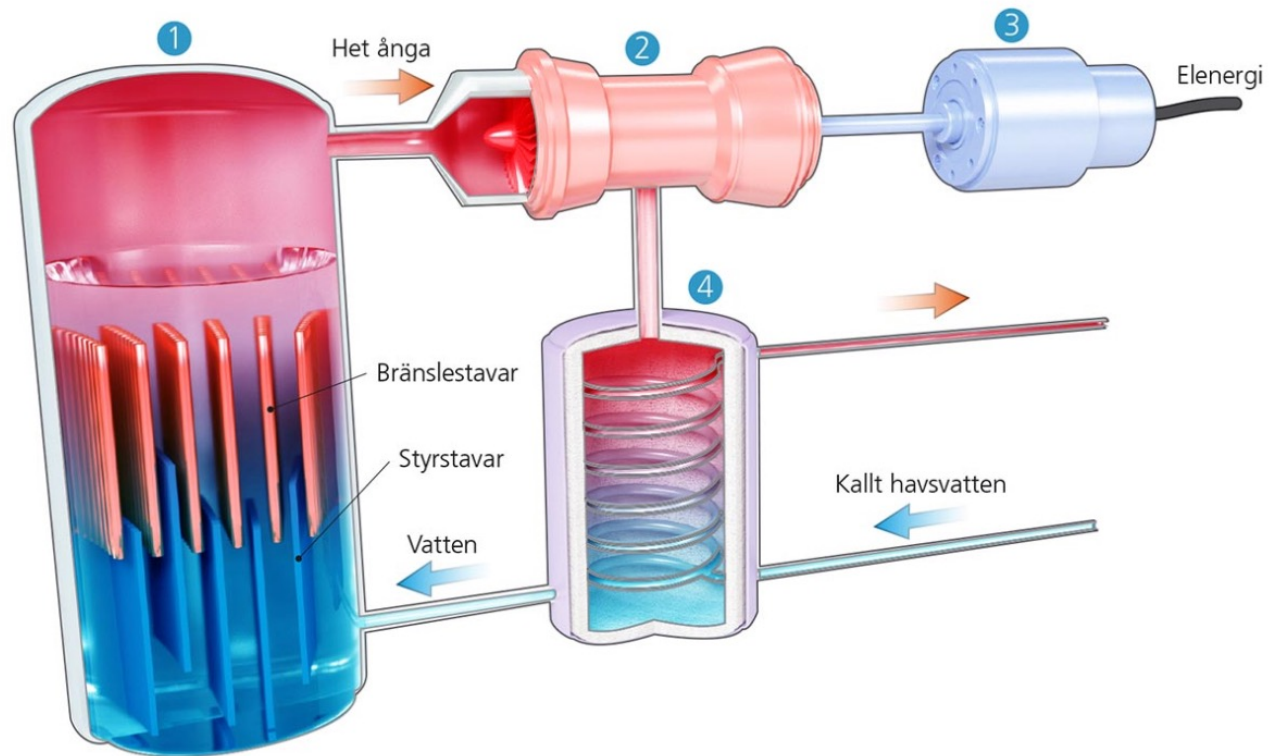
När kärnor klyvs frigörs energi. I kärnkraftverk används stavar med urankutsar vars kärnor klyvs genom att de bombarderas av en neutron. Vid klyvningen frigörs nya neutroner och man får en kedjereaktion som värmer upp vattnet i kärnreaktor. Denna process kallas fission.



I kärnkraftverk används speciella styrstavar av Bor som absorberar neutronerna och därigenom reglerar kedjereaktionen.

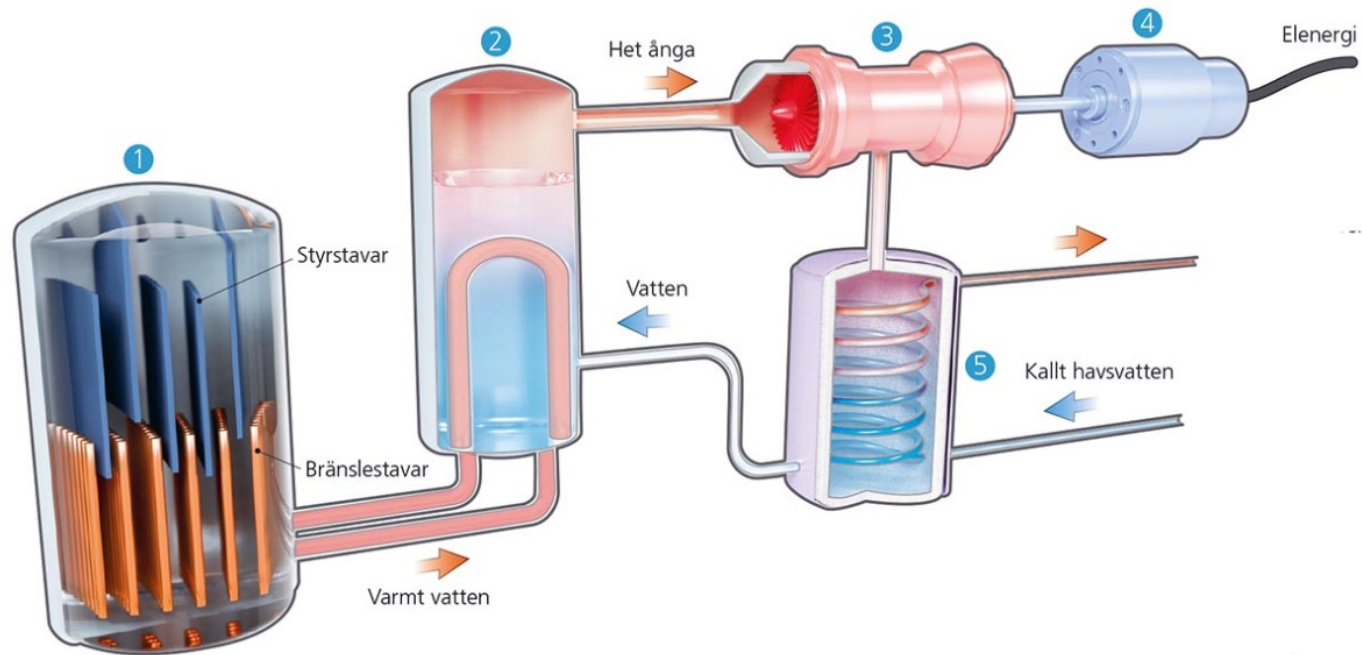
Om man låter kedjereaktionen utvecklas oreglerat i en sluten behållare erhålls en atombomb!!

## Kokvattenreaktor (Boiling Water Reactor - BWR)



1. Reaktortank
2. Ångturbin
3. Generator
4. Kondensator

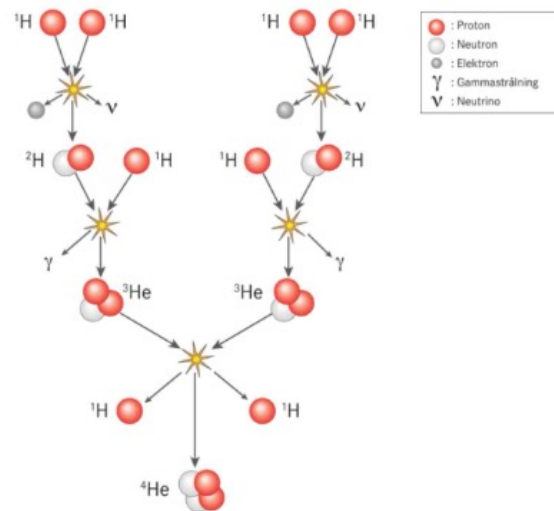
## Tryckvattenreaktor (Pressure Water Reactor - PWR)



1. Reaktortank
2. Ånggenerator (värmeväxlare)
3. Ångturbin
4. Generator
5. Kondensator

## Solens energi

I motsats till kärnklyvning (så kallad fission) skapas solens energi genom sammanslagning av väte och heliumnuklider. Denna process kallas fusion. Vid solens yta tappas gammastrålningen energi och en del av denna blir till synligt ljus.



## Fusion på jorden

Det pågår stora forskningsprojekt med att försöka skapa en fusionsprocess på jorden. Utmaningarna är många och stora men skulle man lyckas med detta i stor skala anses jordens totala energibehov vara tillfredsställt.