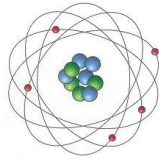
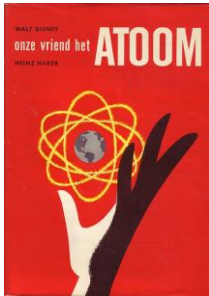


1 **Atoom- en kernfysica** TS VRS-D/MR



Stijn Laarakkers



1

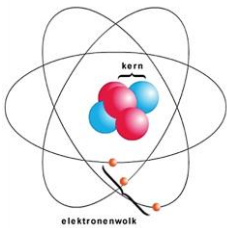
1 - 3	Atoombouw, verval en logaritme
4,5	Wisselwerking van straling met materie en afscherming
6 - 9	Toestellen en bronnen
10 - 11	Grootheden en eenheden en detectie
12	Beeldvorming
13	Effecten en risico's van straling
14	Algemene regelgeving
15 - 17	Regelgeving toestellen en bronnen
18 - 20	Praktische stralingsbescherming
21 - 23	Risico-analyse en dosisberekening in praktijk



2

Atoombouw

- Atoom: kleinste eenheid van een element (onontleedbare stof)
- Bestaat uit een **kern** omringd door een **elektronenwolk**



Massa van elektronen $\approx 4000 \times$ kleiner dan massa van kern



3

Atoombouw

Proton +
positief

Neutron
neutraal

Elektron -
negatief

- Elektron
+ Proton
- Neutron

rijksuniversiteit groningen

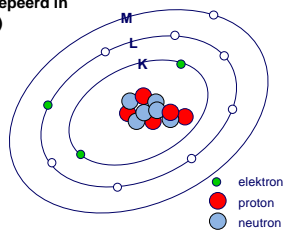
4

Atoombouw

Elektronen: gegroepeerd in schillen (K, L, M etc.)

Bindingsenergie van elektronen: wordt uitgedrukt in

elektronvolt (eV)
1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J



rijksuniversiteit groningen

5

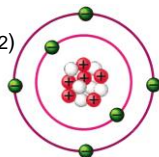
A = massa-getal (N+Z)
aantal protonen + neutronen

Z = atoomnummer (kleinste getal)
aantal protonen in de kern



¹²₆C (¹²C of C-12)

C: koolstof
6 protonen Z = 6
6 neutronen N = 6
massagetal: A = 12
6 elektronen



rijksuniversiteit groningen

6

Het Periodiek Systeem der Elementen (Mendelejev)

1																	2	
H																	He	
3	4											9	10					
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
11	12											13	14	15	16	17	18	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110									
Fr	Ra	Ac	Unq	Unp	Unh	Uns	Uno	Une	Uun									
					58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
					Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
					90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
					Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

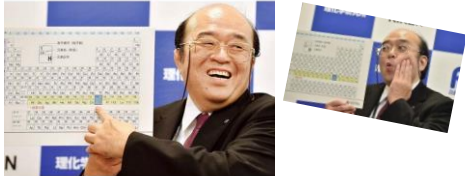
Elk element heeft zijn
eigen Atoomnummer
Symbol



7

Het Periodiek Systeem der Elementen (Mendelejev)

2015: Ontdekking 4 nieuwe elementen met superzware kern
Atoomnummers 113, 115, 117, en 118



Kosuke Morita: element 113, nihonium (Nh)



8

Nucliden: alle verschillende atomen van alle elementen

- **Isotopen:** gelijke Z (aantal protonen)

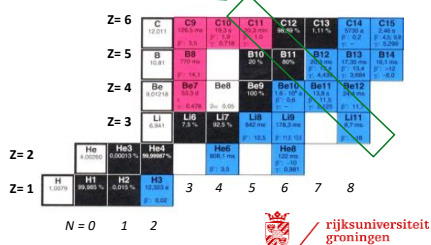
Koolstof isotopen $\rightarrow Z=6$		C	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
		12.011	99.9%	0.01%	0%	98.9%	1.1%	100%	0%
Z=5		B	B8	B10	B11	B12	B13	B14	B15
		10.81	80.1%	19.9%	80%	100%	100%	100%	100%
Z=4		Be	Be7	Be9	Be10	Be11	Be12	Be13	Be14
		9.01218	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Z=3		Li	Li6	Li7	Li8	Li9	Li11	Li12	Li13
		6.941	7.5%	92.5%	92.5%	100%	100%	100%	100%
Z=2		He	He3	He4	He5	He6	He7	He8	He9
		4.002602	0.00013%	99.99987%	100%	100%	100%	100%	100%
Z=1		H	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
		1.00784	99.985%	0.015%	100%	100%	100%	100%	100%
N=0		1	2	3	4	5	6	7	8



9

Nucliden: alle verschillende atomen van alle elementen

- **Isomeren:** gelijke A en Z maar **verschillende energie-inhoud**
- **Isobaren:** gelijke A (Z + N)



10

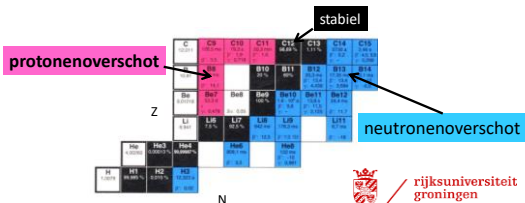
Nucliden: stabiel of instabiel

Stabiele atoomkernen:

- verhouding tussen aantal protonen en neutronen ca. 1:1 bij lichte atoomkernen tot 1:1,5 bij zware atoomkernen

Instabiele atoomkernen:

- "verkeerde" aantallen protonen en neutronen
- of er is teveel energie in de atoomkern aanwezig



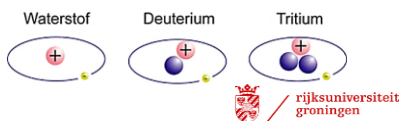
11

Nucliden: stabiel of instabiel

Radio-isotopen:

- zelfde atoomnummer (Z) maar verschillend massagetal (A)
- Dezelfde chemische eigenschappen
- Verschillend aantal neutronen

waterstof-isotopen: ^1_1H stabiel → ^2_1H stabiel → ^3_1H instabiel: radioactief



12

Instabiele stof is **radioactief**: verandert in een stabielere stof door **ioniserende straling** uit te zenden

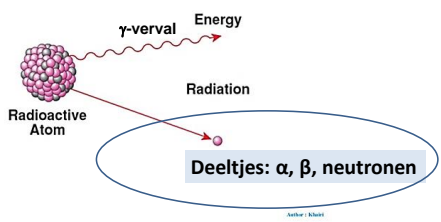
Deeltjes straling
 α **alfa**straling: heliumkernen
 β^- **bèta**straling: elektronen (e^-)
 β^+ **bèta**straling: positronen (e^+)
 Daarnaast bestaat er onder andere **neutronenstraling**, afkomstig uit bijvoorbeeld kernreactoren, en **elektronen- en protonenstraling**, afkomstig uit deeltjesversnellers

Fotonen
 γ -straling: een vorm van **elektromagnetische straling** (zoals licht of microgolven, maar met veel meer energie)
röntgen-straling: als gamma maar minder energie



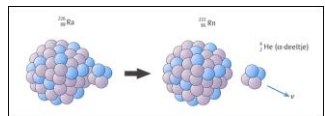
13

Radioactief verval



14

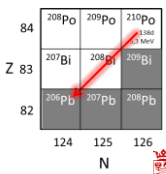
α-verval



Bij heel zware kernen brokjes kernmateriaal die met veel energie uit de atoomkern gestoten worden

α-deeltje is een heliumkern ^4_2He (2 protonen en 2 neutronen) en heeft een lading van 2+.

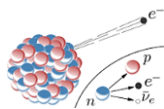
Risikant; strenge wettelijke normen
 atoomnummer: $Z - 2$
 massagetal: $A - 4$
 ($N - 2$)



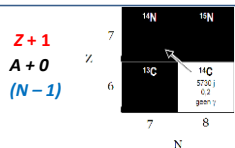
15

β⁻-verval

Bij **neutronenoverschot**



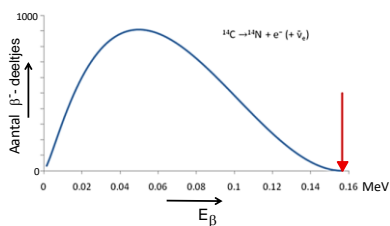
β⁻ is een **elektron (e⁻)** dat ontstaat door radioactief verval en wordt uitgezonden.



16

β⁻-verval

β⁻- deeltje: energie van nul tot een maximum **E_{β,max}**



gemiddelde β-energie ≈ 1/3 × E_{β,max}



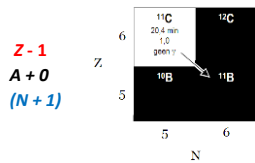
17

β⁺-verval

Bij **protonenoverschot (neutrontekort)**



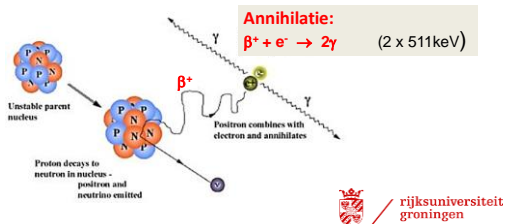
β⁺-deeltje is een positron (antideeltje van elektron) dat ontstaat door radioactief verval en wordt uitgezonden.



18

β^+ - verval kan alleen als energievverschil groter is dan 1022 keV

β^+ -deeltje is een positron: antideeltje van elektron
 Uiteindelijk gaat β^+ -deeltje samen met een electron
 β^+ -deeltje en electron omgezet in energie: $E_\gamma = m_0c^2$

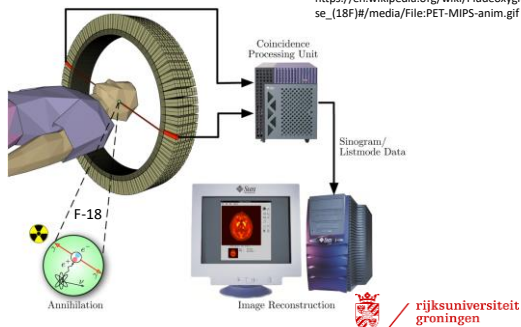


rijksuniversiteit groningen

19

Positron emission tomography (PET)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Fluodeoxyglucose_\(18F\)#/media/File:PET-MIPS-anim.gif](https://en.wikipedia.org/wiki/Fluodeoxyglucose_(18F)#/media/File:PET-MIPS-anim.gif)



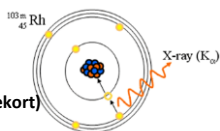
rijksuniversiteit groningen

20

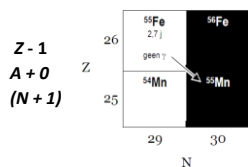
Elektronvangst

electron capture (EC of ϵ)

Bij **protonenoverschot** (neutronentekort)
 In plaats van β^+ -verval



Kern neemt elektron op uit elektronenwolk
 $proton^+ + e^- \rightarrow neutron + r\ddot{o}ntgenfoton$ of Auger elektron



rijksuniversiteit groningen

21

Elektronvangst

Kern neemt elektron op uit elektronenwolk

gat in elektronenschil wordt opgevuld

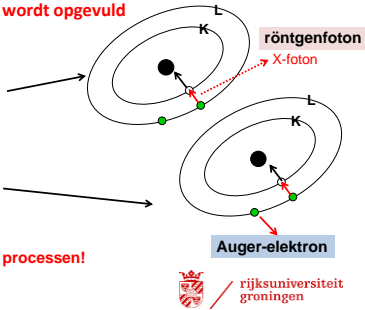
Resulteert in:

- röntgen-foton (vooral bij hoge Z)

of

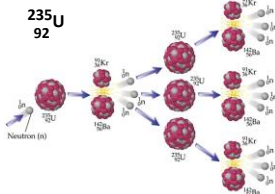
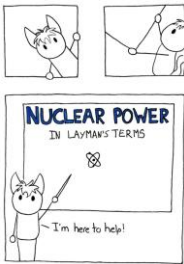
- Auger-elektron (vooral bij lage Z)

dit zijn concurrerende processen!



22

Spontane splijting

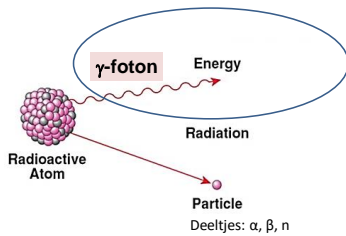


Splijtstoffen:
Zeer zware kernen kunnen spontaan splijten waarbij ook 2 á 3 neutronen ontstaan.
De energie die bij splijting vrijkomt is groot (ca. 200 MeV) (kernergie)

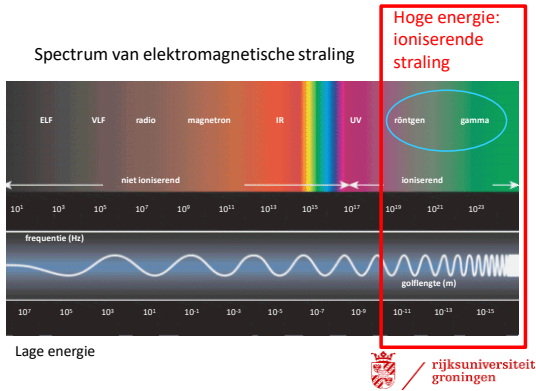


23

Radioactief verval



24



25

γ -verval

Na α - of β -verval bezit de kern vaak nog teveel energie:
de kern bevindt zich in een aangeslagen toestand (letter **m** achter het massagetal)

De kern raakt deze energie kwijt door het uitzenden van een **γ -foton**

γ -straling wordt dus uitgezonden in combinatie met α - of β -straling

Techneetium-99m ontstaat bij verval van molybdeen-99
isomeer van ⁹⁹Tc

$${}^{99m}_{43}\text{Tc} \rightarrow {}^{99}_{43}\text{Tc} + \gamma$$

rijksuniversiteit groningen

26

γ -verval

Bij **energieoverschot** in de kern

Kern stoot overtollige energie af door een **γ -foton** uit te zenden (elektromagnetische straling).

De samenstelling van de kern verandert niet

Z 43	⁹⁹ Tc	$\Delta Z = 0$
60 h	β	2,10 y
1 y 141	γ 0.3 y ...	$\Delta A = 0$
	56 N	

rijksuniversiteit groningen

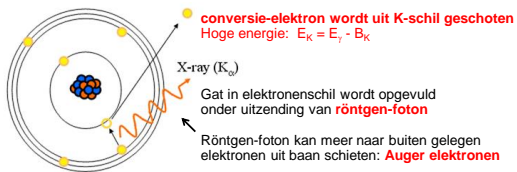
27

Interne conversie (I.C.)

In plaats van γ -verval :

Overtollige energie van de kern wordt overgedragen aan een elektron (binnenste schil)

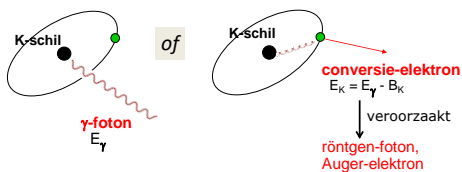
De samenstelling van de kern verandert niet



28

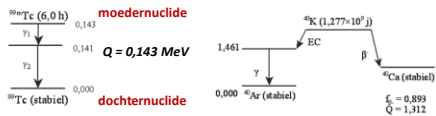
γ -verval en interne conversie (I.C.)
zijn concurrerende processen

De samenstelling van de kern verandert niet



29

Vervalproces: vervalschema's



Q-waarde: desintegratie-energie (in MeV)
Energieverschil tussen moeder- en dochternuclide



30

Vervalproces: halveringstijd

Halveringstijd: $T_{1/2}$ is de tijd waarin de helft van de instabiele kernen verval

De activiteit A_t neemt exponentieel af in de loop van de tijd t :

$$A_t = A_0 \cdot (1/2)^{t/T_{1/2}}$$

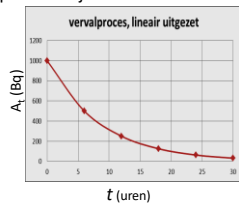
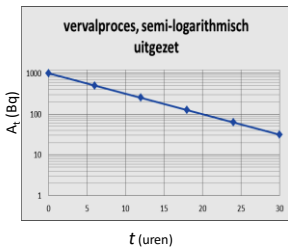
(of $A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ vervalconstante: $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$)



31

Vervalproces: halveringstijd

Afname van activiteit A_t in de loop van de tijd t :



Wat is de halveringstijd: $T_{1/2}$?



32

Vervalproces: activiteit (A)

Eenheid van activiteit:

becquerel (Bq)
1 Bq = 1 verval per seconde
(dps = 1 desingration/second)

of

curie (Ci)
1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq
= activiteit van 1 gram Ra



Pierre en Marie Curie



33

Vervalproces: activiteit (A)



Radium (atoomnummer 88) is in 1898 ontdekt door Pierre en Marie Curie



 rijksuniversiteit groningen

34

Voorvoegsels

		factor	voorbeeld
milli	(m)	10^{-3}	mCi, mg, mm
micro	(μ)	10^{-6}	μ Ci
nano	(n)	10^{-9}	
pico	(p)	10^{-12}	
kilo	(k)	10^3	keV
mega	(M)	10^6	MBq (en Mbps ☺)
giga	(G)	10^9	GBq
tera	(T)	10^{12}	

 rijksuniversiteit groningen

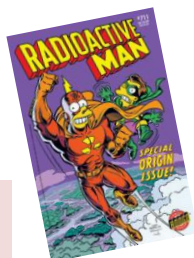
35

Herhaling: Soorten straling

Deeltjes straling : uit de kern
 α alfastraling: heliumkernen
 β^- bètastraling: elektronen (e^-)
 β^+ bètastraling: positronen (e^+)
 n neutronen

Fotonen: elektromagnetische straling

γ -straling : uit de kern
 röntgen-straling: niet uit de kern



 rijksuniversiteit groningen

36