

NEEM NOU HET HEELAL

P.C. van der Kruit
www.astro.rug.nl/~vdkruit

Assen, 25 oktober 2007

Inleiding

Machten van tien

Kees Boeke

Afdalen in het kleine

Atomen en chemische elementen

Naar grotere schalen het heelal in

Van de Big Bang naar nu

Het vroege heelal

Melkwegstelsels

Sterren en supernovae

Planetenstelsels

Afsluiting

Inleiding

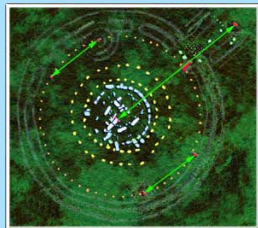
Reeds in de **oudheid** speelde de nachthemel met zijn sterren en planeten een grote rol.



Tussen ongeveer 1900 en 1650 v. Chr. werd Stonehenge bij Salisbury in Engeland gebouwd.



- ▶ De oriëntaties hebben te maken met de standen van **zon** en **maan**.
- ▶ Stonehenge kon in ieder geval gebruikt worden om de **kalender, seizoenen en de tijd** te volgen.
- ▶ Hiernaast de geometrie van de **zomersolstice** op 21 juni.



Er zijn aanwijzingen, dat mogelijk Stonehenge werd gebruikt voor het voorspellen van **zons- en maansverduisteringen**¹.

¹Zie ook mijn artikel "**Wat is Stonehenge?**" in **De Stroom**, jaargang 103, nummer 3, blz. 26–30, maart 2001.

Dit is een opname van een **zonsopgang op 21 juni**.



Machten van tien

Kees Boeke

In de eerste plaats gaan we het hebben over **schalen**, d.w.z. afmetingen van klein tot groot, van het **heelal op de grootste schaal** tot die van **quarks binnen de atoomkern**.

Een fascinerend overzicht wordt gegeven in het bekende boek *The Powers of Ten* van Philip en Phyllis Morrison.

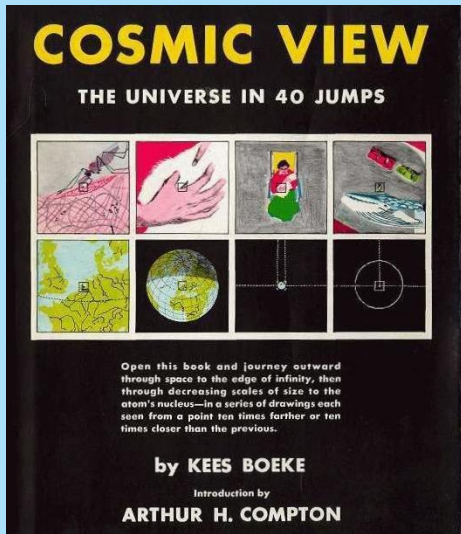
Het idee komt van oorsprong van de Nederlandse civiel ingenieur, leraar en onderwijsvernieuwer (maar ook pacifist) **Kees Boeke** (1884 – 1966) uit Bilthoven.

Zijn boek (uit 1952) heette oorspronkelijk **“Wij in het heelal, een heelal in ons”**.

In 1957 is het in het
Engels vertaald en
uitgegeven.

Het is gescand en
beschikbaar op:

[http://www.vendian.org/
mncharity/cosmicview/](http://www.vendian.org/mncharity/cosmicview/).



Boeke begon met een foto van een meisje met een poes op schoot en ging vervolgens in **25** stappen van **een factor tien** naar grotere schaal.

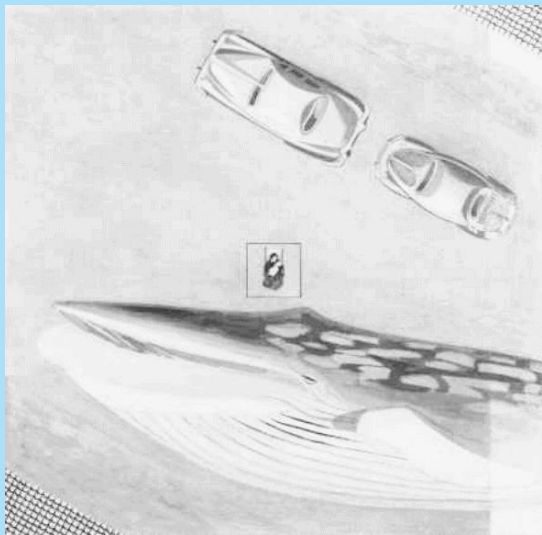
Dit vierkant is ongeveer **1.5 meter bij 1.5 meter**.



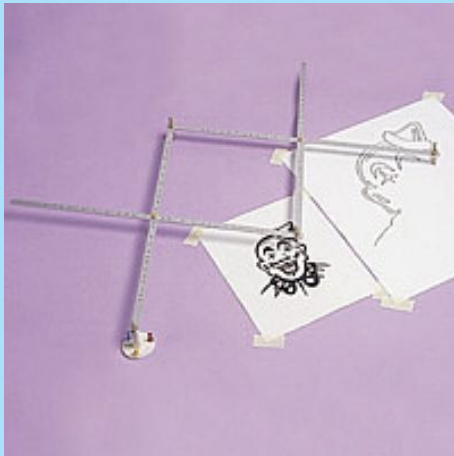
Hier hebben we een
schaal van een **macht
van tien** groter.

Deze figuur is dus **15
meter bij 15 meter**.

Boeke deed dit kennelijk
in de gymnastiekzaal op
grote vellen papier en
gebruikte hiervoor een
vernuftig instrument,
dat **pantograaf** heet.

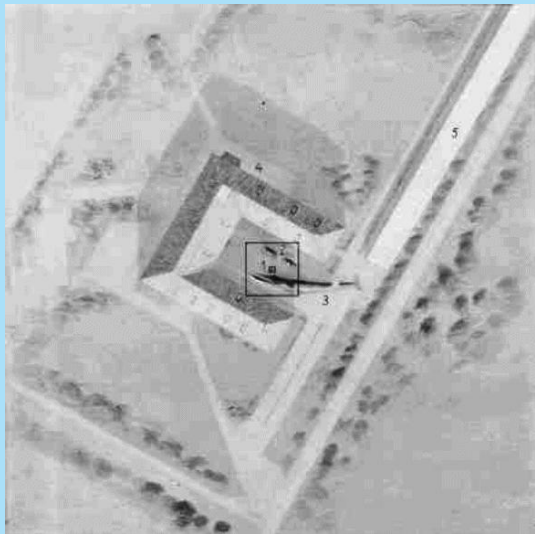


Twee voorbeelden van **pantografen**.



En hier **150 meter bij**
150 meter.

Het gebouw is een oude
kazerne, omgebouwd tot
De Werkplaats
Kindergemeenschap, een
soort communale
school.



Nu zien we een gebied van **1.5 kilometer bij 1.5 kilometer**.

De golflijn linksonder geeft de golflengte van de radiozender **Hilversum 2** (nu Radio 1), die vanuit Lopik van 1950 – 1975 op **398 meter golflengte** (746 kHz am-band) werd uitgezonden.



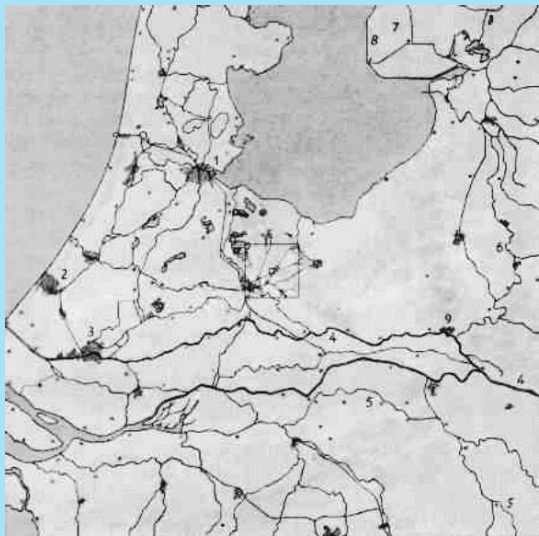
Nu zien we een gebied
van **15 kilometer bij 15**
kilometer.

De stad **Utrecht** is nu in
beeld.



Nog een factor 10 en we zien een gebied van **150 kilometer bij 150 kilometer**.

Het grootste stuk van **Nederland** is nu in beeld.



Zo ging hij door het
heelal in.

Het laatste plaatje, na
25 stappen toont een
gebied van 1.5×10^{26}
meter.

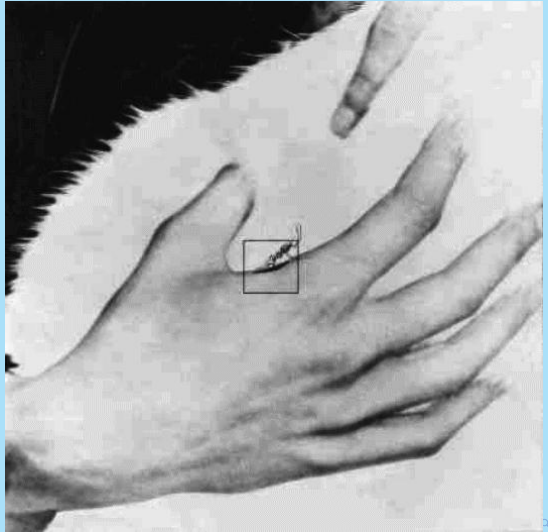
Dit is ongeveer **1.5**
miljard lichtjaar.



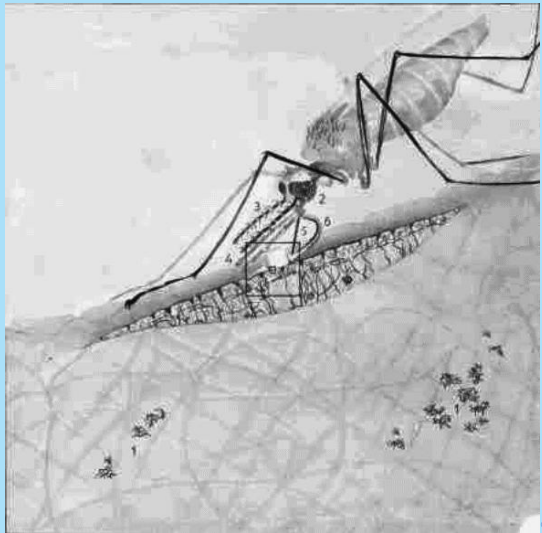
Terug naar de foto van een meisje met een poes en nu in 14 stappen van een factor tien naar kleinere schaal.



Hier zien we een gebied
van **15 centimeter bij 15
centimeter**.

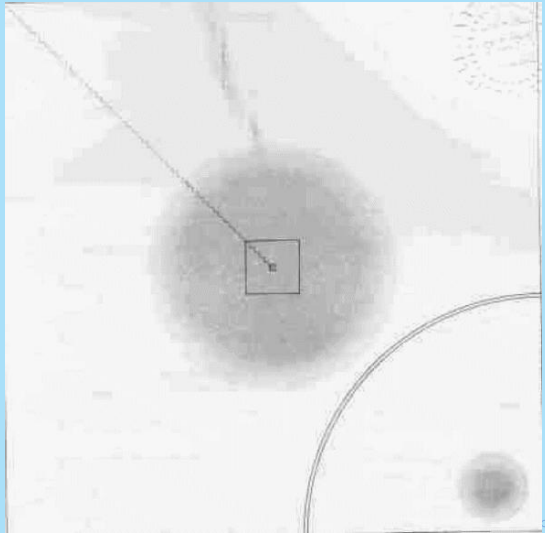


Nu zien we een gebied
van 1.5 centimeter bij
1.5 centimeter.



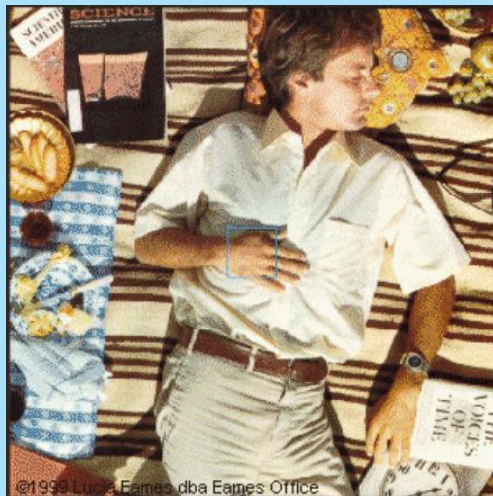
Zo ging hij door tot de
schaal van de
atoomkern.

De afmeting is nu nog
maar 1.5×10^{-11}
centimeter op een zijde
ofwel **tien miljard miljard**
maal zo klein als het
plaatje van het meisje
met poes.

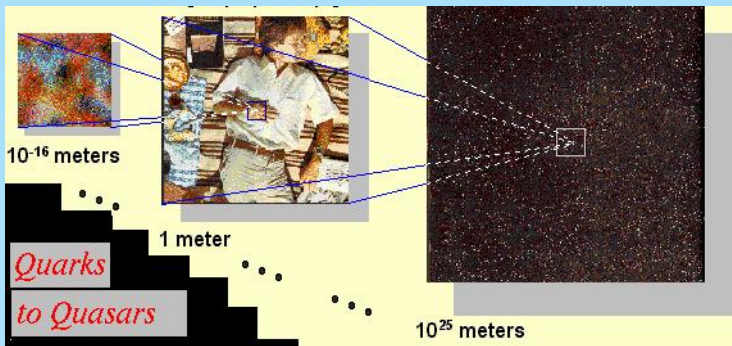


Velen kennen wellicht de versie, die begon met een plaatje van **1 meter bij 1 meter**.

Het toonde een slapende man in een park in Chicago op **“z'n eigen vierkante meter”**.



De Website van **Bruce Bryson**² heeft al deze plaatjes.

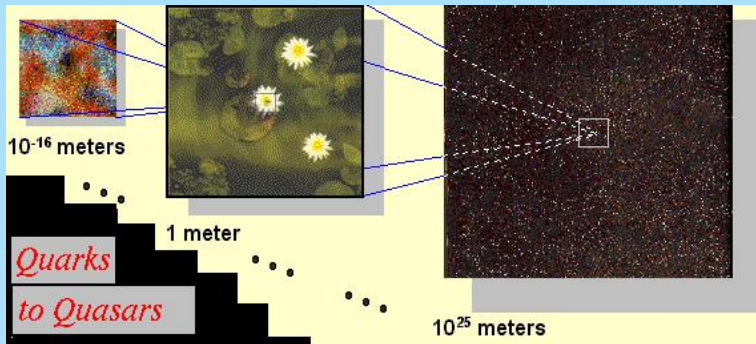


Maar hij heeft ook een eigen serie gemaakt, die ik hier gebruik.

²<http://www.wordwizz.com/pwrsof10.htm>

Afdalen in het kleine

We gaan eerst naar het **kleine** om iets over **atomen** en **chemische elementen** te leren, dat we later nodig hebben.



$10^0\text{m} = 1\text{ meter}$

We beginnen hier met
een paar **lelies in een
vijver**.

De afmeting is hier **1
meter bij 1 meter**.



$10^{-1}\text{m} = 1 \text{ decimeter}$

Een **lelie** heeft een afmeting van de orde van een decimeter.



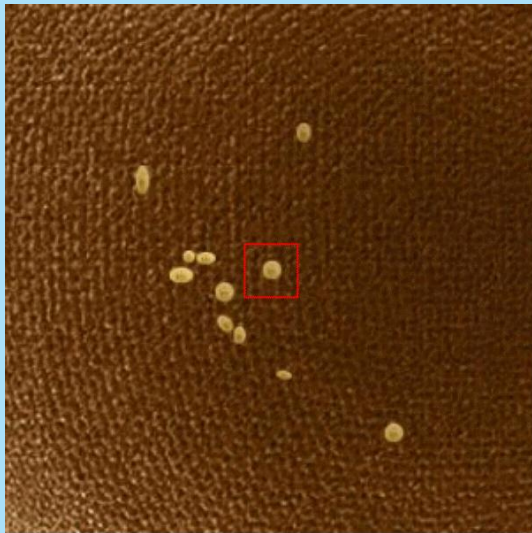
$10^{-2}\text{m} = 1 \text{ centimeter}$

Een **wesp** heeft een afmeting van de orde van centimeters.



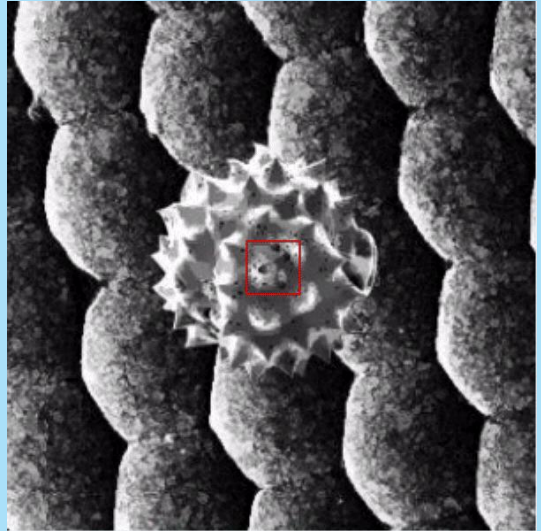
$10^{-3}\text{m} = 1 \text{ millimeter}$

De schaal is hier die van
het oog van een wesp.



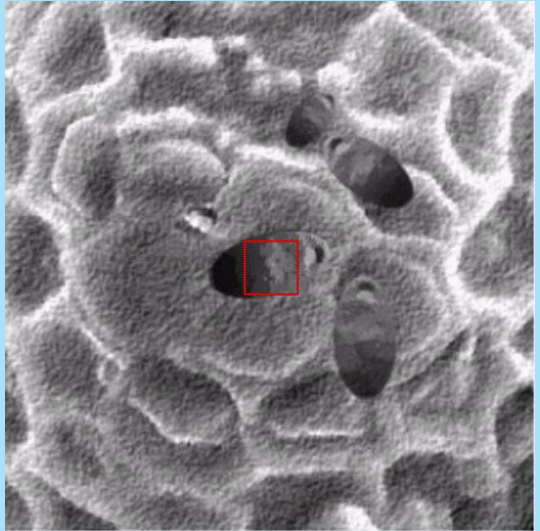
$10^{-4}m = 0.1 \text{ millimeter}$

Hier komen we een
stuifmeelkorrel tegen.



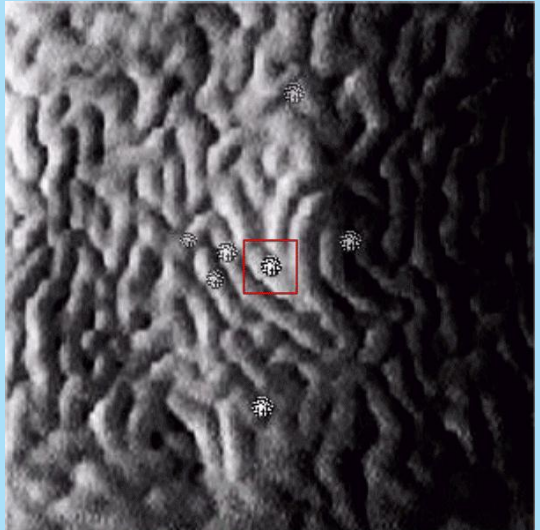
$10^{-5}\text{m} = 10 \text{ micrometer}$

We komen nu bij
afmeting van een
bacterie.



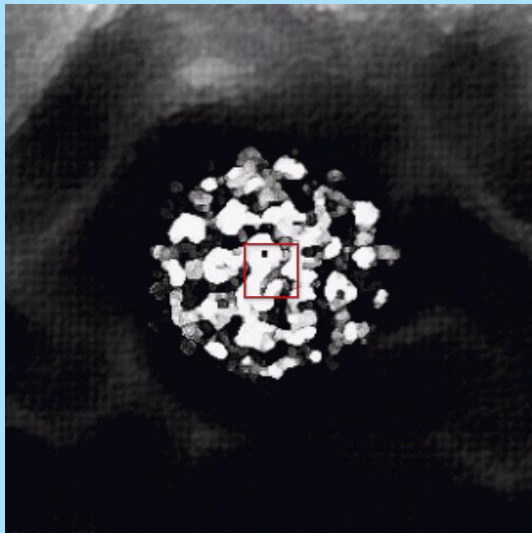
$10^{-6}\text{m} = 1 \text{ micrometer}$

Op de bacterie zien we
een **virus**.



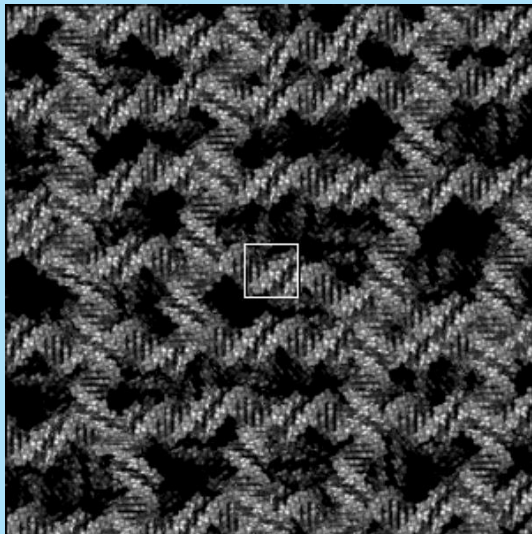
$10^{-7}\text{m} = 0.1$
micrometer

Dit is de afmeting van
een **virus**.



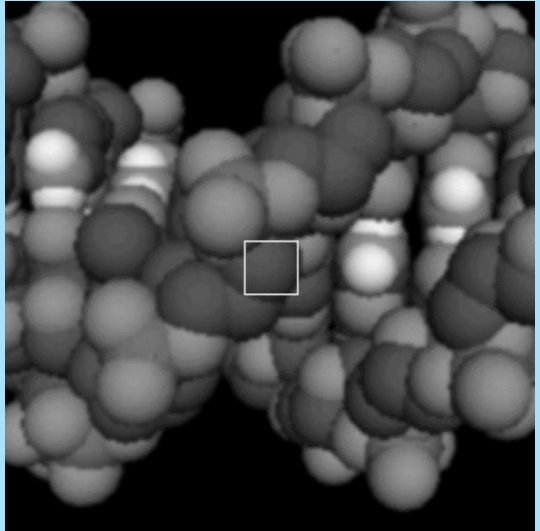
$10^{-8}\text{m} = 10 \text{ nanometer}$

In het virus zien we het
DNA met zijn
dubbel-helix structuur.



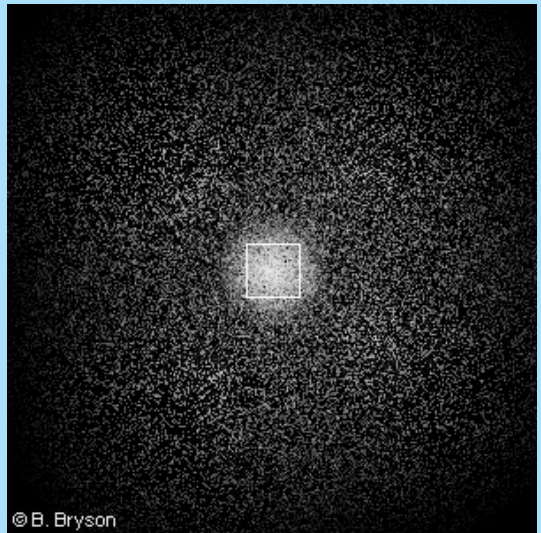
$10^{-9}\text{m} = 1 \text{ nanometer}$

Pas op deze schaal
kunnen we de individuele
atomen van het DNA
zien.



$10^{-10}\text{m} = 0.1$
nanometer

Nu zien we de **buitenste
electronenschillen** van
het koolstof atoom.

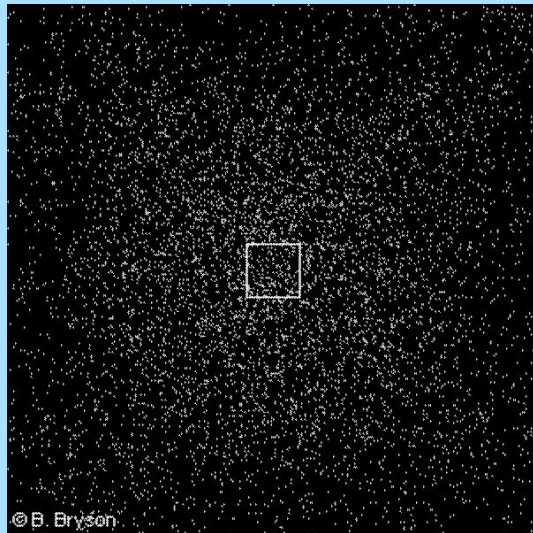


© B. Bryson

$10^{-11}\text{m} = 10 \text{ picometer}$

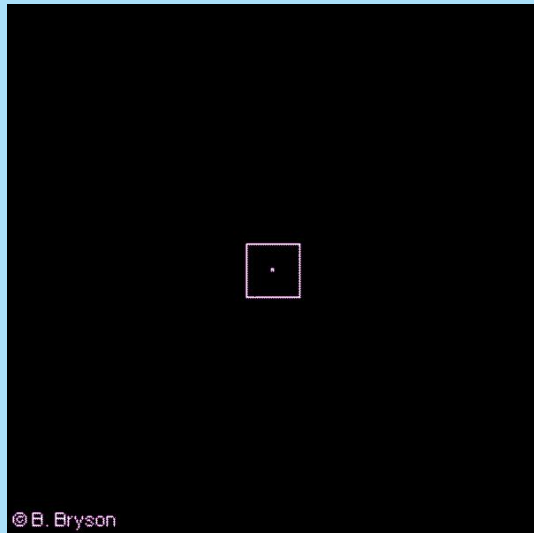
Weer een factor tien
kleiner toont ons de
binnenste delen van de
electronenwolk.

Electronen hebben een
electrische lading die we
negatief noemen.



$10^{-12}\text{m} = 1 \text{ picometer}$

Hier zijn we **binnen de
electronenwolk.**



© B. Bryson

$10^{-13}\text{m} = 0.1 \text{ picometer}$

We zien nu de eerste
indicatie van een
atoomkern.

De kern heeft een
**positieve elektrische
lading**.

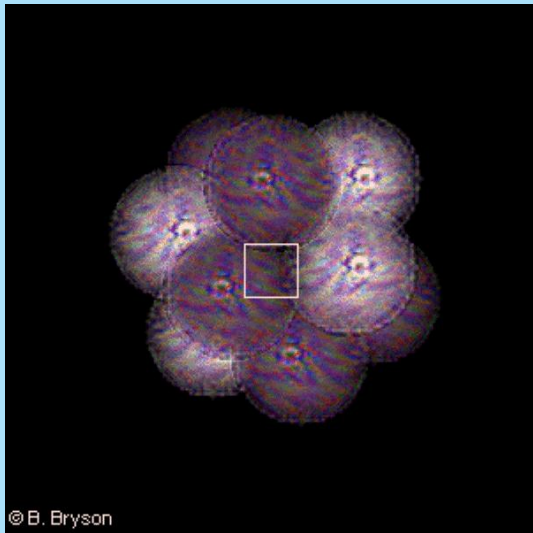


© B. Bryson

$10^{-14}\text{m} = 10$
femtometer

De **atoomkern** bestaat
uit deeltjes, **protonen** en
neutronen.

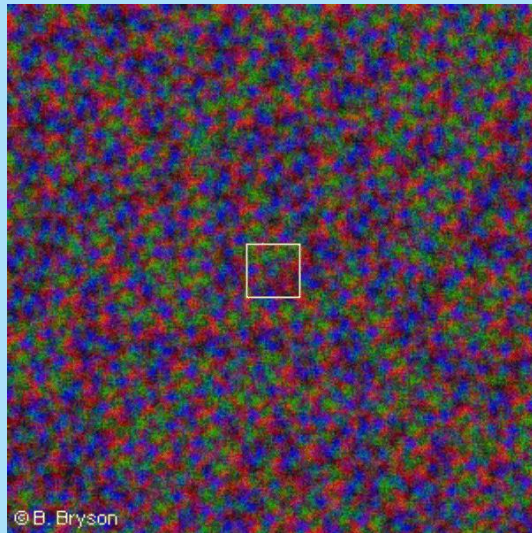
Voor **koolstof** zijn het er
6 van elk.



$10^{-15}\text{m} = 1 \text{ femtometer}$

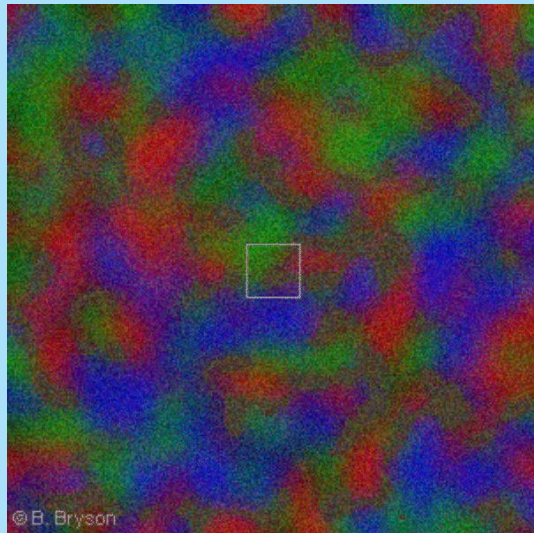
Op deze schaal strekt
zich een **proton** uit.

Het proton heeft een
**positieve elektrische
lading**; de **neutrale**
neutronen houden de
protonen bij elkaar.



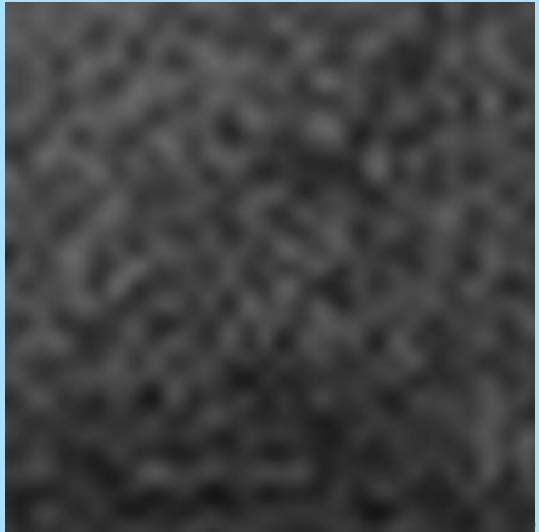
$10^{-16}\text{m} = 0.1$
femtometer

Het proton (en neutron ook) bestaat weer uit **drie quarks**, die drie verschillende soorten van lading hebben, die **rood**, **groen** en **blauw** genoemd worden.

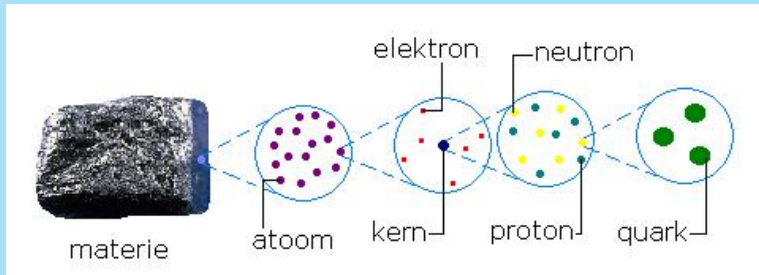


$10^{-17}\text{m} = 10$ attometer

De quarks worden via de
sterke wisselwerking
door gluons bij elkaar
gehouden.



Atomen en chemische elementen



Soms bestaat een stof uit **moleculen**, die weer uit atomen bestaan.

Een **atoom/molecuul** is heel klein; er zijn er dus ook **heel veel**.

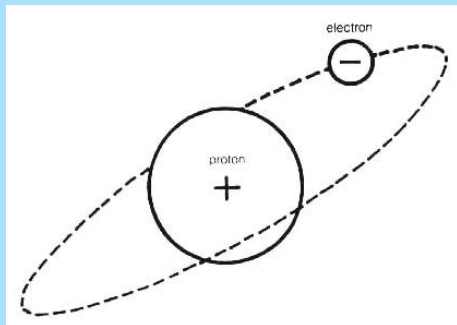
- ▶ Het **getal van Avogadro** geeft het aantal atomen per **gramatoom**) of het aantal moleculen per **grammolecuul** (mol).
- ▶ Een **gramatoom** of **mol** is (ongeveer) het aantal gram van een stof gelijk aan het **aantal protonen en neutronen** in het bijbehorende atoom of molecuul.
- ▶ Dit is dus **1** voor **waterstof**, **16** voor **zuurstof** en **18** voor **water** (H_2O).
- ▶ De gemeten waarde is $A = 6,022142 \times 10^{23}$, dus een **6 met nog 23 cijfers voor de komma**.

- ▶ Dat is ongeveer evenveel **letters** als er zouden zijn als **iedere aardbewoner een bibliotheek** zou hebben met zo'n **2000 km boeken!!**
- ▶ De **Koninklijke Bibliotheek** heeft maar **49 km** boeken.
- ▶ **Nederland** heeft een oppervlakte van **41.528 km²**; als je dat zou bedekken met **A zandkorrels** van **0.25 mm** diameter, dan zou die laag ruim **200 meter** dik zijn.

Vroeger stelde men een **atoom** voor als een **kern** met een **electron** eromheen.

We zien hier **waterstof**, waarbij de kern een enkel **proton** is.

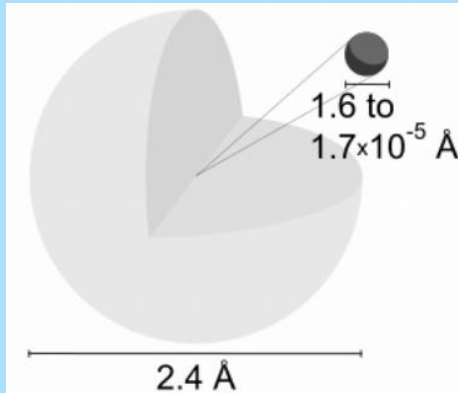
Het is een **illustratie** en moet niet letterlijk genomen worden.

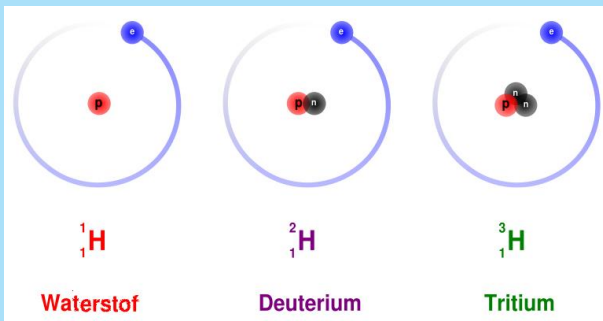


Het is veel realistischer om het als hier voor te stellen. Het electron vult een gebied.

Een \AA of **Ångström** is een **tien-miljardste** van een meter of **0,1 nanometer**.

Let op: de kern is op een andere schaal.





Er bestaat ook **zware waterstof** of **deuterium**, waarvan de kern uit één proton en één neutron bestaat.

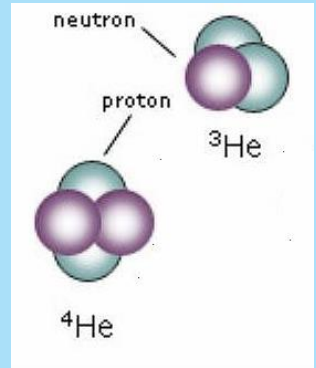
Er is zelfs **tritium** met twee neutronen, maar dat is instabiel en valt in gemiddeld **12.3 jaar** uiteen.

Van zwaardere atomen bestaat de kern uit **protonen** en **neutronen**.

Het **aantal protonen** bepaalt wat de chemische eigenschappen zijn en dus welk **chemisch element** het is.

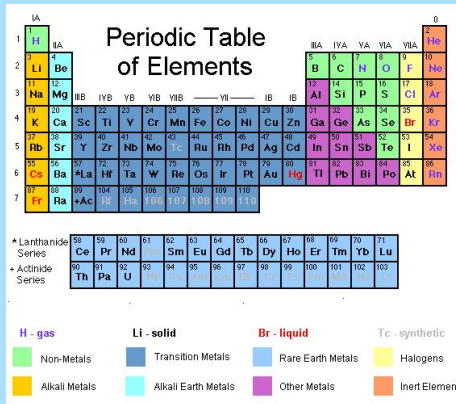
We zien hier de twee stabiele **isotopen** van **helium**.

In de natuur is **1 op de 2100** atomen van helium in de vorm van ${}^3\text{He}$.

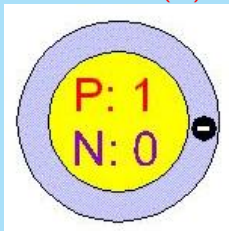


In 1869 ontdekte **Dmitri Ivanovich Mendeleev**, dat de **chemische elementen** in een schema konden worden ondergebracht dat het **periodiek systeem** wordt genoemd.

De kleuren geven vergelijkbare eigenschappen aan.



Waterstof (H)



1 proton, geen neutron
 en 1 electron in een
 binnenste "schil".

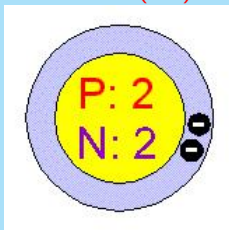
Periodic Table of Elements

1	IA																2	0						
2	3	4	IIA																10	10				
3	Li	Be																	5	6	7	8	9	10
4	Na	Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VII						IB	IB	III A	IV A	V A	VI A	VII A	0			
5	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
6	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
7	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
8	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110														

* Lanthanide Series	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
+ Actinide Series	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Th	Pa	U											

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
Non-Metals	Transition Metals	Rare Earth Metals	Halogens
Alkali Metals	Alkali Earth Metals	Other Metals	Inert Element

Helium (He)



2 protonen en
 neutronen; met 2
 elektronen is de
 binnenste schil vol.

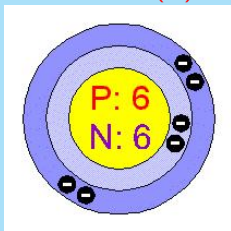
Periodic Table of Elements

1	IA																0										
1	H	IIA																									
2	3	Li	4	Be																	5	6	7	8	9	10	
3	11	Na	12	Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VII										IB	IB	13	14	15	16	17	18
4	19	K	20	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	29	30	31	32	33	34	35	36					
5	37	Rb	38	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	47	48	49	50	51	52	53	54							
6	55	Cs	56	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	81	82	83	84	85	86							
7	87	Fr	88	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110															

* Lanthanide Series	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
+ Actinide Series	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	Mn	Uu	Uu

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
 Non-Metals	 Transition Metals	 Rare Earth Metals	 Halogens
 Alkali Metals	 Alkali Earth Metals	 Other Metals	 Inert Element

Koolstof (C)



Er zijn nu 4 electronen
in de tweede schil.

Elke schil correspondeert
met een nieuwe regel.

Periodic Table of Elements

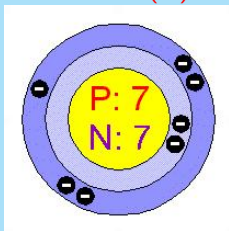
1	IA																2	0									
1	H	IIA																He									
2	3	4															10										
	Li	Be															Ne										
3	11	12	IIIB										IVB		VB		VIB		VIIB		VII		IIB		IB		18
	Na	Mg																							Ar		
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36									
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr									
5	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									
6	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									
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110																	
	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110																	

* Lanthanide Series	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

+ Actinide Series	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	Mn	Lv	Uu

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
Non-Metals	Transition Metals	Rare Earth Metals	Halogens
Alkali Metals	Alkali Earth Metals	Other Metals	Inert Element

Stikstof (N)



Stikstof heeft 5
electronen in de tweede
schil.

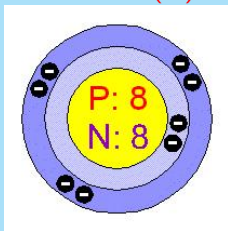
Periodic Table of Elements

1	IA																0
2	IIA																2
3	IIIB IVB VB VIB VIIB VII IB IIB																10
4	IIIA IVA VA VIA VIIA VIIIA																18
5																	36
6																	54
7																	86

* Lanthanide Series	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
+ Actinide Series	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	Mn	Uu	Uu

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
Non-Metals	Transition Metals	Rare Earth Metals	Halogens
Alkali Metals	Alkali Earth Metals	Other Metals	Inert Element

Zuurstof (O)



De buitenste schil bevat 6 elektronen, maar kan er 8 bevatten.

Periodic Table of Elements

IA																	0	
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VII		IB	II B	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110								

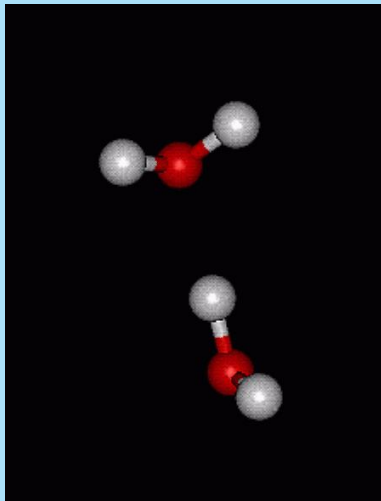
* Lanthanide Series	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
+ Actinide Series	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Lv	Uu

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
 Non-Metals	 Transition Metals	 Rare Earth Metals	 Halogens
 Alkali Metals	 Alkali Earth Metals	 Other Metals	 Inert Element

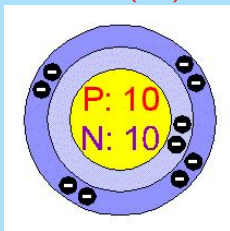
Je kunt je voorstellen, dat het zuurstof-atoom de electronen van twee waterstof- atomen “overneemt” om zijn tweede schil te vullen.

Zuurstof wordt dan **negatief** geladen en waterstof **positief** en trekken elkaar dan aan.

Zo vormt een **molecuul** van water:
H₂O.



Neon (Ne)



Bij neon is de tweede schil vol en het kan geen moleculen vormen.

Dit is zo met alle atomen in deze kolom, de **edelgassen**.

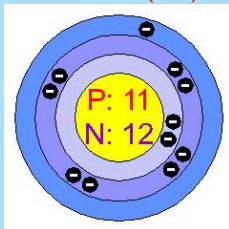
Periodic Table of Elements

1	IA																2	0															
1	H																	2	He														
2	Li	Be																	3	B	4	C	5	N	6	O	7	F	8	Ne			
3	Na	Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	— VII —						IB	IB	3	Al	4	Si	5	P	6	S	7	Cl	8	Ar						
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr									
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe									
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn									
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124									

* Lanthanide Series	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
+ Actinide Series	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	Mn	Uu	Uu

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
 Non-Metals	 Transition Metals	 Rare Earth Metals	 Halogens
 Alkali Metals	 Alkali Earth Metals	 Other Metals	 Inert Element

Natrium (Na)



Natrium heeft **1** electron in een **derde schil**; dus ook weer een nieuwe regel.

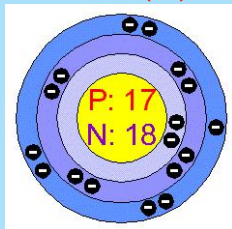
Ook deze schil kan **8** electronen bevatten.

Periodic Table of Elements

1	IA																IIA										IIIA										IVA										VA										VIA										VIIA										0																																																																																																																																																																																		
1	H																He																																																																																																																																																																																																																																														
2	Li																Be										B										C										N										O										F										Ne																																																																																																																																																																																		
3	Mg																Al										Si										P										S										Cl										Ar																																																																																																																																																																																												
4	K																Ca										Sc										Ti										V										Cr										Mn										Fe										Co										Ni										Cu										Zn										Ga										Ge										As										Se										Br										Kr																																																																														
5	Rb																Sr										Y										Zr										Nb										Mo										Tc										Ru										Rh										Pd										Ag										Cd										In										Sn										Sb										Te										I										Xe																																																																														
6	Cs																Ba										*La										Hf										Ta										W										Re										Os										Ir										Pt										Au										Hg										Tl										Pb										Bi										Po										At										Rn																																																																														
7	Fr																Ra										*Ac										Rf										Ha										Hf										Ta										W										Re										Os										Ir										Pt										Au										Hg										Tl										Pb										Bi										Po										At										Rn																																																										
																* Lanthanide Series																58 Ce																59 Pr																60 Nd																61 Pm																62 Sm																63 Eu																64 Gd																65 Tb																66 Dy																67 Ho																68 Er																69 Tm																70 Yb																71 Lu															
																+ Actinide Series																90 Th																91 Pa																92 U																93 Np																94 Pu																95 Am																96 Cm																97 Bk																98 Cf																99 Es																100 Fm																101 Md																102 No																103 Lr															

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
Non-Metals	Transition Metals	Rare Earth Metals	Halogens
Alkali Metals	Alkali Earth Metals	Other Metals	Inert Element

Chloor (Cl)



Chloor **mist** 1 electron.

Als chloor het enkele electron van natrium overneemt, hebben beide volle buitenste schillen.

Periodic Table of Elements

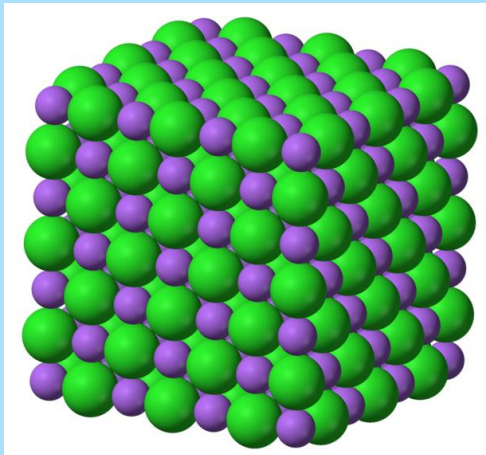
1A																	0		
1	H																	He	
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII	IB	IB	III A	IV A	V A	VI A	VII A	Ar			
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

* Lanthanide Series	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
+ Actinide Series	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	Mn	Lr	

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
Non-Metals	Transition Metals	Rare Earth Metals	Halogens
Alkali Metals	Alkali Earth Metals	Other Metals	Inert Element

Natrium wordt positief
en chloor negatief en
vormen dan samen
keuzenzout, NaCl.

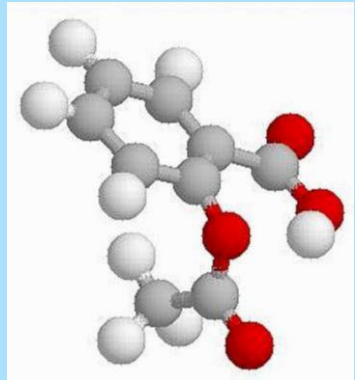
Maar dat is (tenzij het
oplost) in een kristal-
vorm samengepakt.



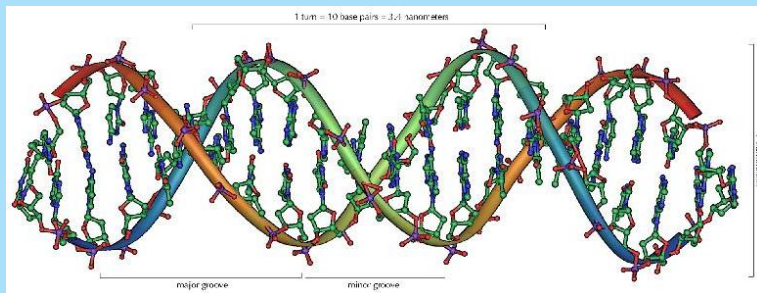
Atomen kunnen ook ingewikkelder
moleculen vormen, zoals hier
aspirine.

Een grijs bolletje stelt koolstof voor,
een wit bolletje waterstof en een
rood bolletje zuurstof.

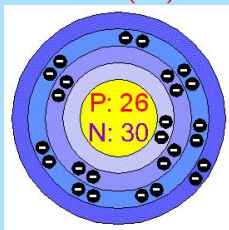
De chemische formule is dan
 $C_9H_8O_4$.



Tot de zeer ingewikkelde
en grote moleculen als
Desoxyribonucleïnezuur
of **DNA**



IJzer (Fe)



De donkerblauwe vakjes zijn allemaal **metalen**, zoals **chroom**, **koper** en **zink**.

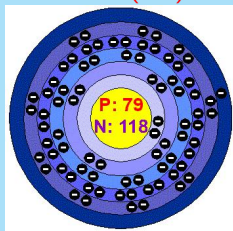
Periodic Table of Elements

1	IA																2	0				
1	H	IIA																He				
2	Li	Be															B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VII		IB	II B	Al	Si	P	S	Cl	Ar					
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110												

* Lanthanide Series	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
+ Actinide Series	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	Mn	Uu	Uu

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
Non-Metals	Transition Metals	Rare Earth Metals	Halogens
Alkali Metals	Alkali Earth Metals	Other Metals	Inert Element

Goud (Au)



Goud is een zeer zwaar metaal, evenals zilver en kwik

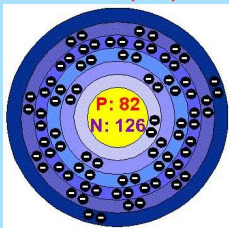
Periodic Table of Elements

1	IA																2	0															
1	H																	He															
2	Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne									
3	Na	Mg	IIIB										IVB					Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr															
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe															
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110																							

* Lanthanide Series	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
+ Actinide Series	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	Mn	Lr	

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
 Non-Metals	 Transition Metals	 Rare Earth Metals	 Halogens
 Alkali Metals	 Alkali Earth Metals	 Other Metals	 Inert Element

Lood (Pb)



Lood is één van de zwaarste metalen.

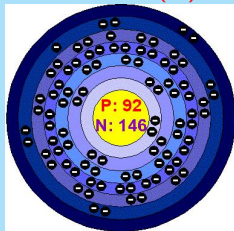
Periodic Table of Elements

1	IA																2	0				
1	H	IIA																He				
2	Li	Be															B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VII				IB	II B	Al	Si	P	S	Cl	Ar			
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
7	Fr	Ra	*Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110												

* Lanthanide Series	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
+ Actinide Series	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	Mn	Lr	

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
Non-Metals	Transition Metals	Rare Earth Metals	Halogens
Alkali Metals	Alkali Earth Metals	Other Metals	Inert Element

Uranium (U)



Uranium is het zwaarste
 natuurlijk voorkomend
 element.

Maar het **radioactief**.

Periodic Table of Elements

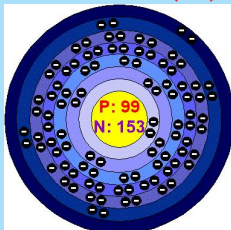
1	2											3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	H	IIA																			He
2	3	4											5	6	7	8	9	10	11	12	
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne			
3	11	12	IIIB		IVB	VB	VIB	VII B	VII		IIB		IB		IA		17	18			
3	Na	Mg															Cl	Ar			
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54			
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86			
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110											
7	Fr	Ra	+AC	Rf	Ha	106	107	108	109	110											

* Lanthanide Series	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
+ Actinide Series	90	91		93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Th	Pa		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
 Non-Metals	 Transition Metals	 Rare Earth Metals	 Halogens
 Alkali Metals	 Alkali Earth Metals	 Other Metals	 Inert Element

- ▶ Alle mogelijke atoomkernen zwaarder dan uranium vallen uiteen in een tijd korter dan de **leeftijd van de aarde**.
- ▶ Ze kunnen in **kernreactoren** (b.v plutonium) of grote **deeltjesversnellers** gemaakt worden.
- ▶ Sommige leven nog vrij lang (zoals **plutonium-244**, **80 miljoen jaar**), anderen veel korter.
- ▶ Het zwaarste atoom (voorlopige naam **Ununoctium**), met **118** protonen en **186** neutronen, is gemaakt in oktober 2006 en valt gemiddeld in **0.00089[2] seconde** uiteen.

Einsteinium (Es)



Van Einsteinium zijn meerdere isotopen gemaakt.

Dit isotoop bestaat gemiddeld **470 dagen**.

Periodic Table of Elements

1	IA																0																																																																																													
1	H	IIA																2	He																																																																																											
2	3	Li	4	Be																	10	Ne																																																																																								
3	11	Na	12	Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VII						IB	IB	19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr																																																									
4	37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe																																																																										
5	55	Cs	56	Ba	57	+La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu																																																																												
6	87	Fr	88	Ra	89	+Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Mn	102	Sg	103	Bh	104	Hs	105	Mt	106	Ds	107	Rg	108	Cn	109	Uu	110	Uub	111	Uut	112	Uuq	113	Uuh	114	Uuq	115	Uuh	116	Uuq	117	Uuh	118	Uuo																																														
7																																																																																																														

* Lanthanide Series
 + Actinide Series

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	Mn	Sg	Bh

H - gas **Li - solid** **Br - liquid** **Tc - synthetic**
■ Non-Metals ■ Transition Metals ■ Rare Earth Metals ■ Halogens
■ Alkali Metals ■ Alkali Earth Metals ■ Other Metals ■ Inert Element

- ▶ Isotopen van de elementen komen in de natuur **in dezelfde verhouding** voor; b.v. $^{16}\text{O}:^{17}\text{O}:^{18}\text{O} = 99.76\%:0.04\%:0.20\%$.
- ▶ Ook de elementen zelf komen in het heelal in ruwweg **dezelfde verhouding** voor. Bijvoorbeeld in de **zon**:

	%		%
waterstof	73.9	neon	0.13
helium	24.0	ijzer	0.11
zuurstof	1.07	silicium	0.06
koolstof	0.46		
stikstof	0.10	rest	0.17

Hoe komt dat?

Wat moeten we hiervan vooral onthouden?

- ▶ Materie bestaat uit **atomen** en die kunnen **moleculen** vormen.
- ▶ Atomen zijn heel klein en er zijn er dus **ongelooflijk veel**.
- ▶ Wij bestaan ook uit moleculen en die weer uit atomen en wel vooral uit **waterstof**, **koolstof**, **zuurstof** en **stikstof**.
- ▶ Overal in het heelal (in en tussen de sterren) komen die **elementen** in **gelijke** verhoudingen voor.

Naar grotere schalen het heelal in

Nu gaan we naar het heelal.

We keren daarom terug naar de waterlelies van Bruce Bryson en gaan dan in stappen van tien naar **grotere schalen**.

$10^0\text{m} = 1\text{ meter}$



$10^1\text{m} = 10 \text{ meter}$

Hier zien we de hele
vijver.



$10^2\text{m} = 100$ meter

En nu de **Japanse**
thee-tuin, waarin de
vijver ligt.



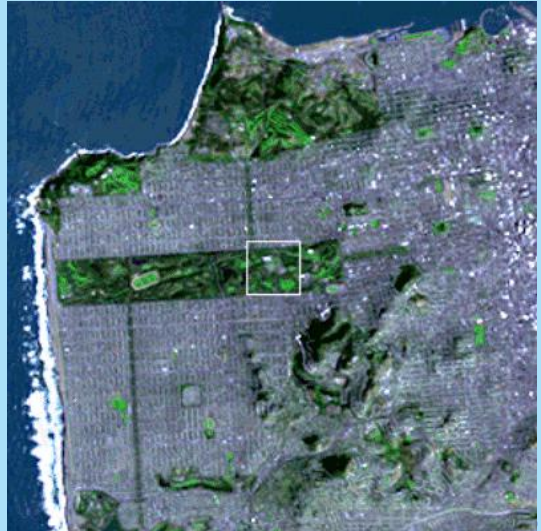
$10^3\text{m} = 1 \text{ kilometer}$

Nu zien we dat die tuin
deel uitmaakt van het
Golden Gate Park in San
Francisco.



$10^4\text{m} = 10 \text{ kilometer}$

Op de schaal van tien kilometer meten we grote steden zoals **San Francisco**.



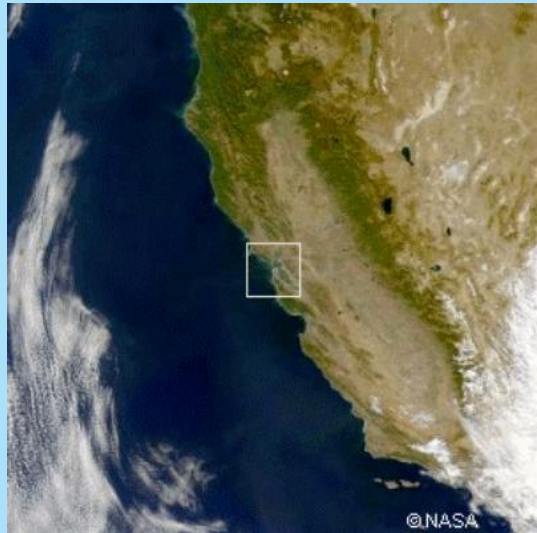
$10^5 \text{m} = 100 \text{ km}$

Nu zien we hele **Bay Area** in California.



$10^6 \text{m} = 1000 \text{ km}$

Op deze schaal zien we
de hele staat **California**.



$10^7 \text{ m} = 10.000 \text{ km}$

Dit ongeveer de
diameter van de aarde.



$$10^8 \text{m} = 100.000 \text{ km}$$

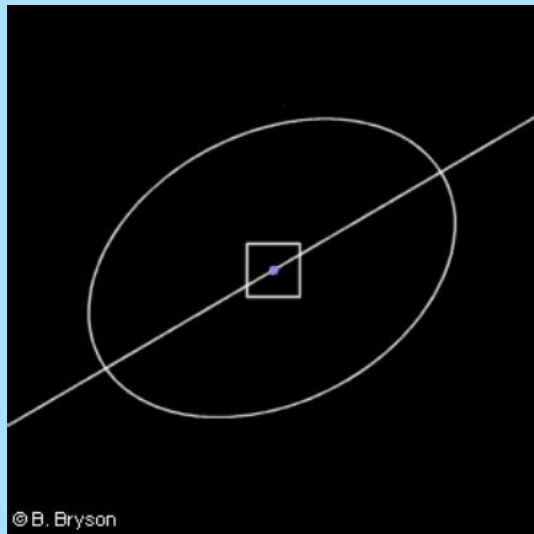
We zien nog wel de
aarde, maar verder
alleen nog **lege ruimte**.



$10^9\text{m} = 1$ miljoen km

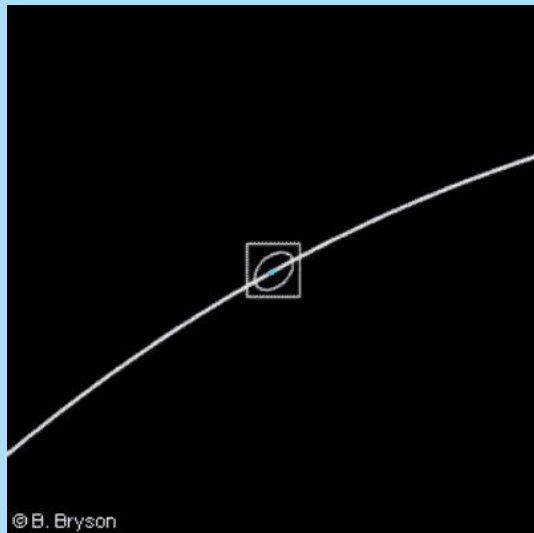
We zien in de ellips de baan van de **maan**.

Die is te klein om te zien.



$10^{10}m = 10$ miljoen km

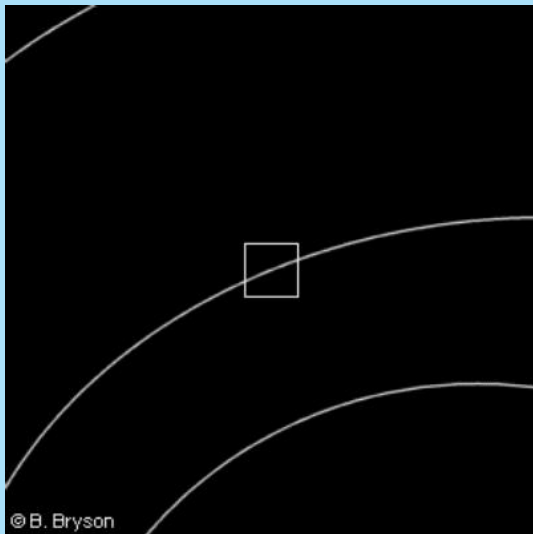
De lijn door het diagram
is de **baan** van de aarde
(samen met de maan)
rond de zon.



$10^{11}m = 100$ miljoen
km

Op deze schaal zien we
baan van **Mars** buiten
die van de aarde en van
Venus erbinnen.

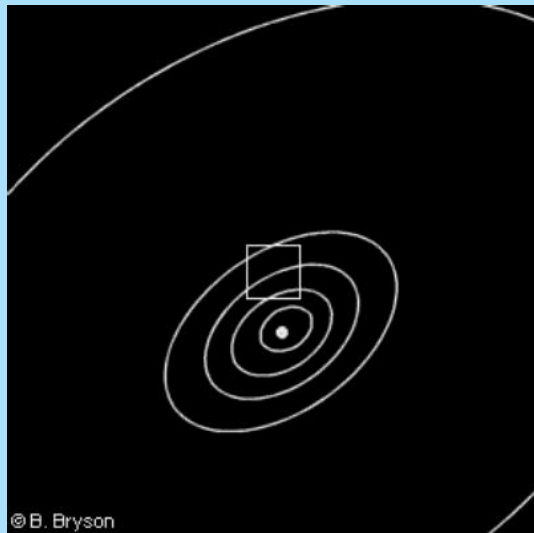
De planeten zijn te klein
om te zien.



$10^{12}m = 1$ miljard km

We zien nu in centrum
het **zon** en **Mercurius** en
net aan de rand de baan
van **Jupiter**.

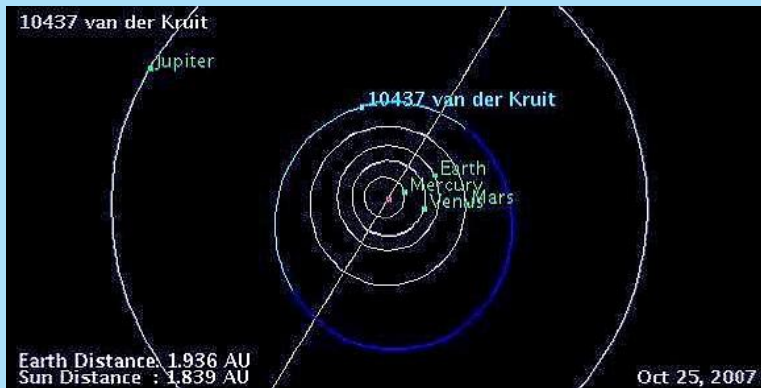
De zon zou een **helder
puntje** zijn.



- ▶ Er is een grote ruimte tussen de banen van **Mars** en **Jupiter**.
- ▶ Daarin bevinden zich ontelbaar veel kleinere **asteroïden** of **planetoïden**, waarvan de grootste **enkele honderden kilometer** zijn.
- ▶ Ze zijn het **restant van een planeet**, die door de zwaartekracht van Jupiter uit elkaar getrokken is.
- ▶ Van de tienduizend of zo grootste zijn de banen bekend en die zijn vernoemd door de **Internationale Astronomische Unie**.
- ▶ Bijvoorbeeld **asteroïde 6085P-L** heet **van der Kruit**. Deze is niet groter dan **5 à 10 km**.

De IAU heeft in 2001 deze **planetoïde** naar mij vernoemd.

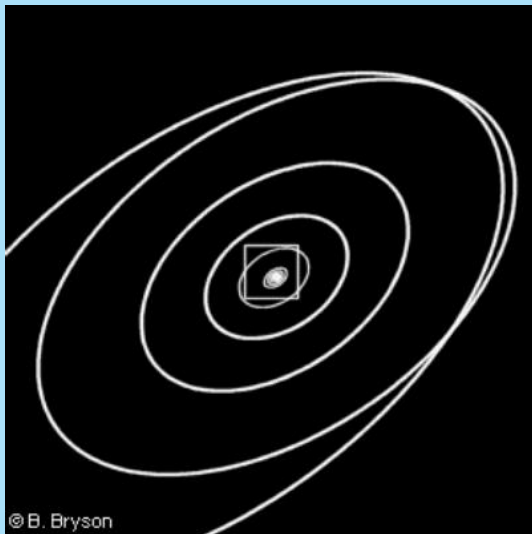
De asteroïde gaat in **3.65 jaar** rond de zon.



$10^{13}\text{m} = 10$ miljard km

Nu zien we het hele
zonnestelsel.

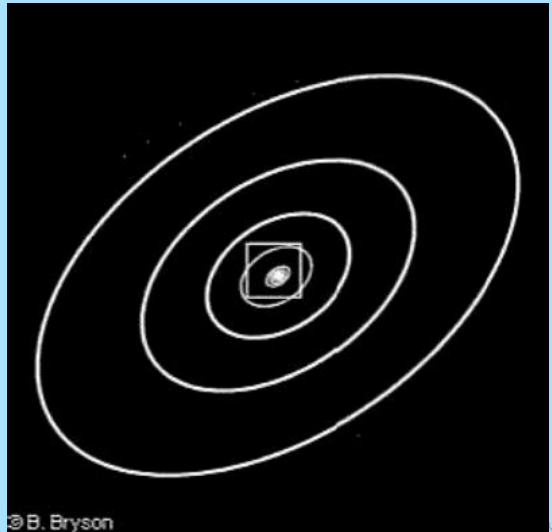
De buitenste baan is die
van **Pluto**, maar die is
sinds vorig jaar geen
planeet meer.



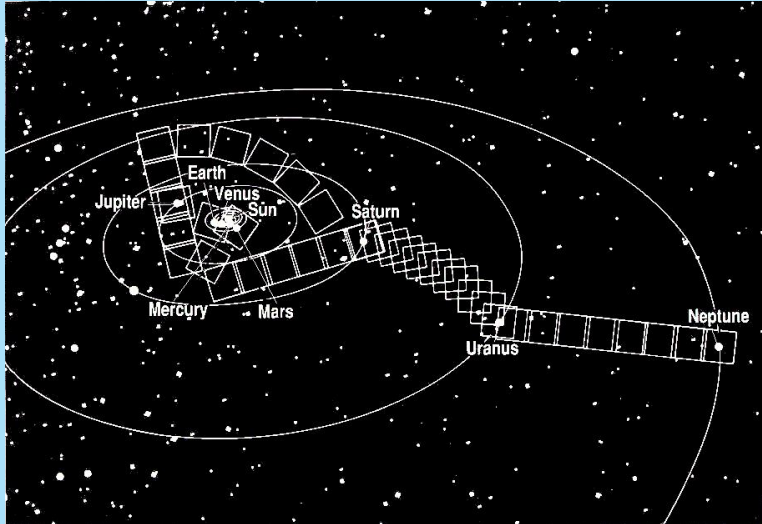
$10^{13}m = 10$ miljard km

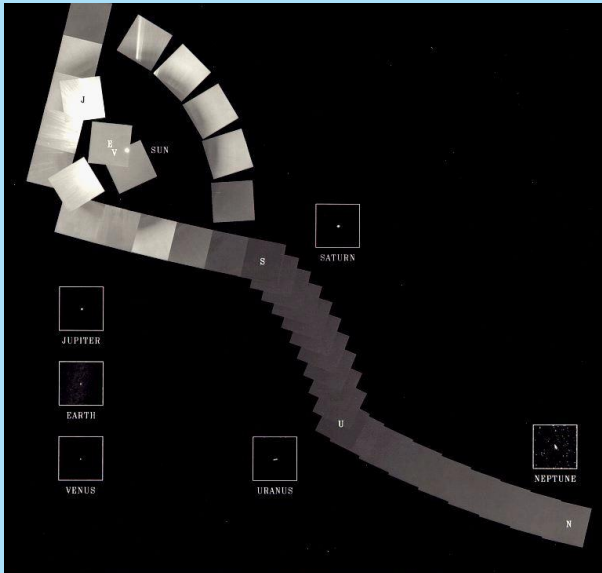
Hier is dan **Pluto** weg.
De rest beweegt min of
meer in één vlak.

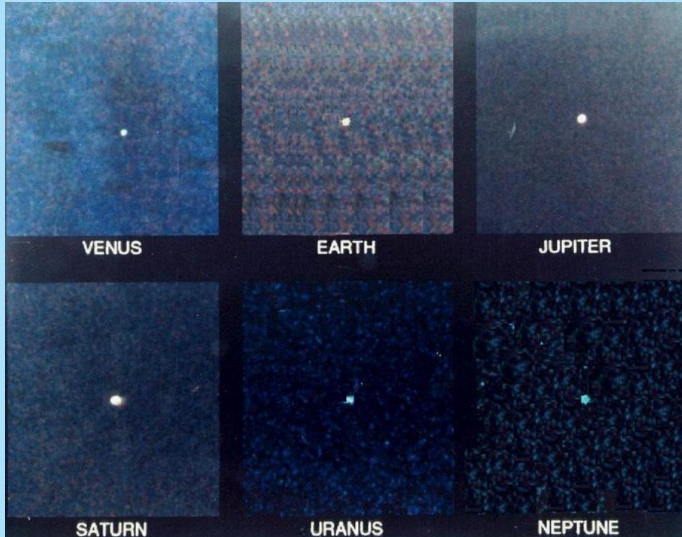
Maar er is een hele
zwerf **kleine planeten**,
waaronder **Pluto**.



- ▶ De satelliet **Voyager I** is in **1977** gelanceerd en langs Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus gevlogen.
- ▶ In **1990** werd er een “foto” van het zonnestelsel mee gemaakt van een afstand van **7 miljard kilometer**.
- ▶ Hierop zijn de planeten met moeite zichtbaar als kleine puntjes.
- ▶ **Voyager I** functioneert nog steeds en is nu **15.61 miljard kilometer** van de zon en verwijdert zich met **17.1 kilometer per seconde**.







$10^{14} \text{m} = 100 \text{ miljard km}$

Als we verder gaan, zien we alleen maar **lege ruimte**.

In werkelijkheid zouden we alleen de zon als een zwak sterretje zien.



$10^{15}\text{m} = 1$ biljoen km

Nog steeds alleen maar
lege ruimte!

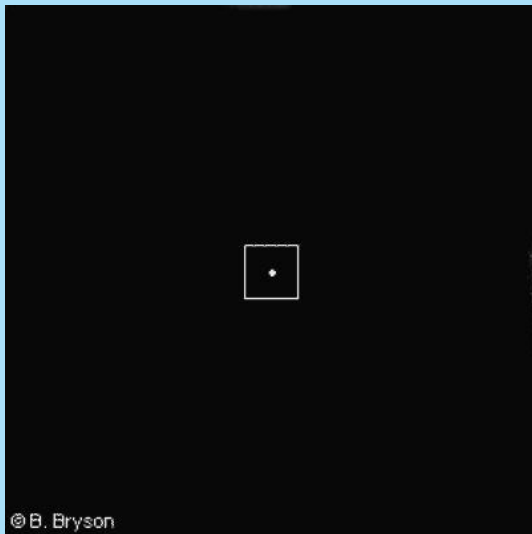


$10^{16} \text{m} = 10 \text{ biljoen km}$

Nog steeds niets!

Vanaf nu meten we
afstanden in **lichtjaren**
(lj).

Het licht gaat met
300.000 km per seconde,
dus **1 lj = 9.5 biljoen**
km.



$$10^{17} \text{ m} = 10.6 \text{ lj}$$

De eerste sterren.

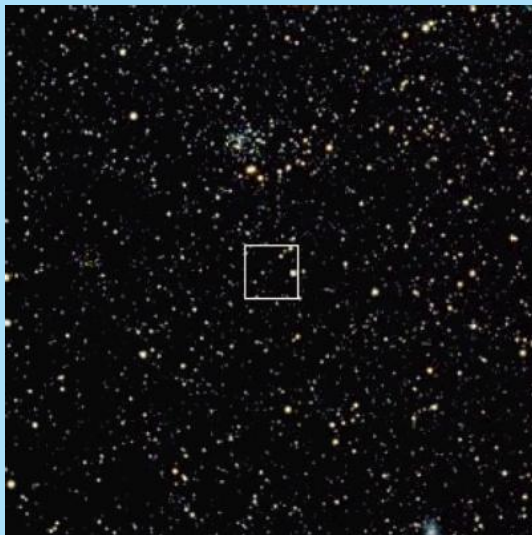
Sterren liggen op
onderlinge afstanden van
lichtjaren.

Voyager I is pas 0.0017
lichtjaar = 14.8
lichturen bij ons
vandaag.



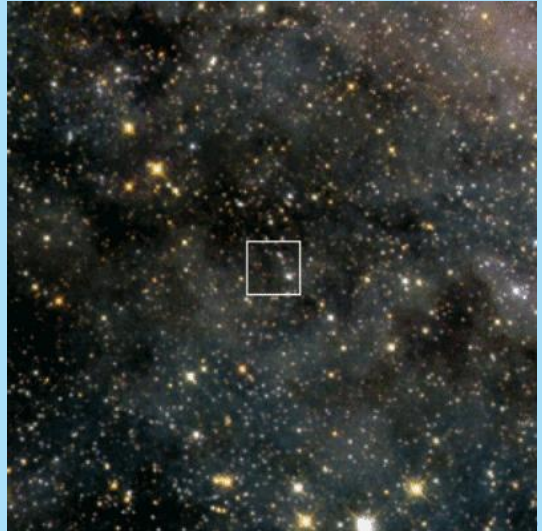
$$10^{18} \text{m} = 106 \text{ lj}$$

We zien dat de ruimte om ons heen met sterren gevuld is, maar wel op enorme onderlinge afstanden.



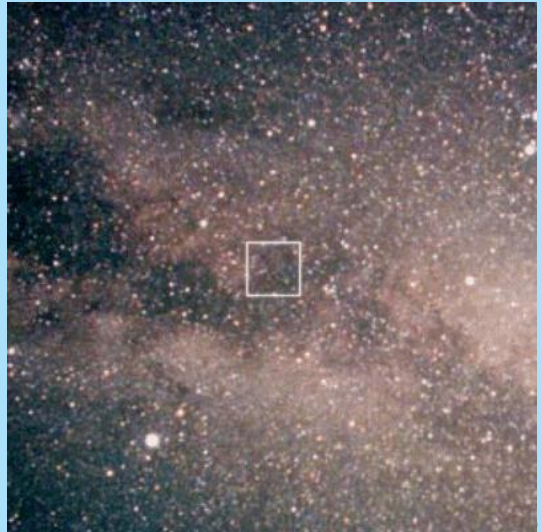
$10^{10}m = 1.06$ duizend lj

We zien nu heel veel
zwakke sterren als met
ons blote oog in de
Melkweg.



$10^{20}m = 10.6$ duizend lj

Hier beginnen we dat er
duidelijk **structuur** zit in
de ruimtelijke verdeling
van de sterren.



$10^{21} \text{m} = 106 \text{ duizend lj}$

Hier zien dat we in een
melkwegstelsel leven.

Een gemiddeld
melkwegstelsel bestaat
uit $10^{12} = \text{miljoen}$
miljoen sterren.



$10^{22} \text{m} = 1.06 \text{ miljoen lj}$

We zien dat ons
Melkwegstelsel een paar
begeleiders heeft.

Dit zijn de **Magelhaense
Wolken**, die alleen vanaf
het zuidelijk halfrond
gezien kunnen worden.



Outline

Inleiding

Machten van tien

Van de Big Bang naar nu

Afsluiting

Kees Boeke

Afdalen in het kleine

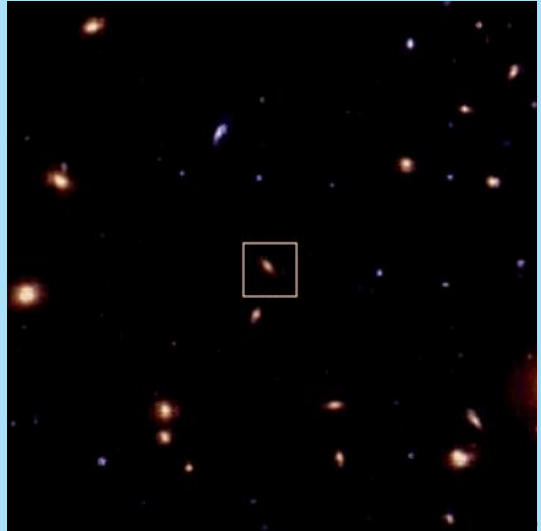
Atomen en chemische elementen

Naar grotere schalen het heelal in



$10^{23}m = 10.6$ miljoen lj

Er zijn in de buurt nog
meer melkwegstelsels,
zoals ook de
Andromedanevel.



Outline

Inleiding

Machten van tien

Van de Big Bang naar nu

Afsluiting

Kees Boeke

Afdalen in het kleine

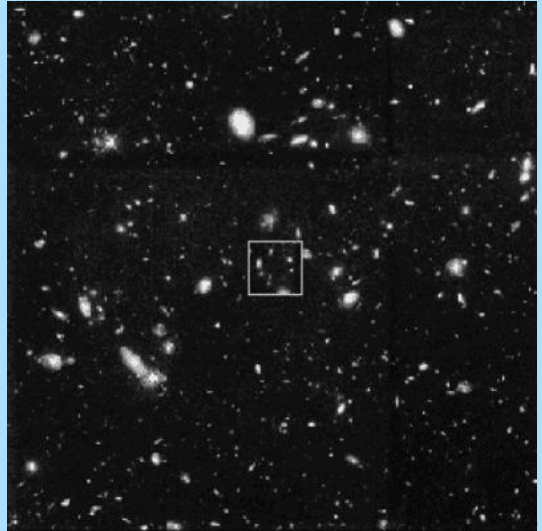
Atomen en chemische elementen

Naar grotere schalen het heelal in



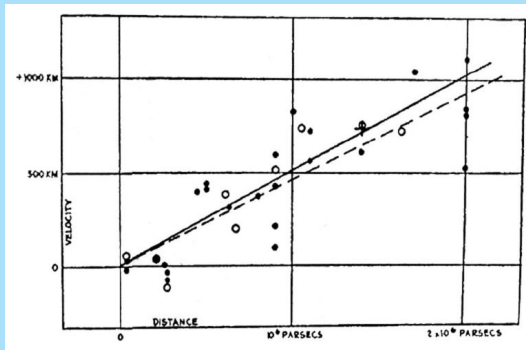
$10^{24} \text{m} = 106 \text{ miljoen lj}$

Het heelal is gevuld met
melkwegstelsels; ze zijn
samengeklonterd in
clusters.



In 1929 ontdekte Edwin Hubble, dat het heelal **expandeert**.

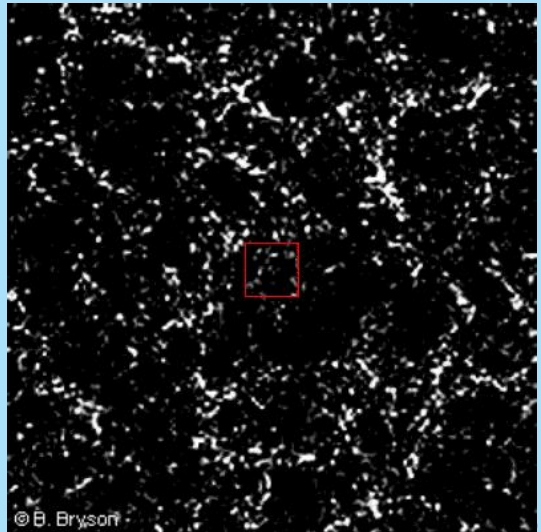
Er is dus een **begin** geweest.



$10^{25} \text{ m} = 1.06 \text{ miljard lj}$

Het licht van deze
stelsels is een tiende van
de leeftijd van het heelal
onderweg geweest.

Zelfs op deze schaal is er
structuur.



Wat moeten we hiervan vooral onthouden?

- ▶ We wonen op een **planeet**, die **aarde** heet.
- ▶ De aarde gaat rond om de **zon** samen met **7** andere planeten.
- ▶ De zon is een gewone **ster** en sterren staan op afstanden van **lichtjaren**.
- ▶ Sterren zijn deel van ons **Melkwegstelsel**; er zijn wel **10^{12}** (**miljoen maal miljoen**) sterren in dat stelsel.
- ▶ In het **waarneembare** heelal zijn minstens net zoveel **melkwegstelsels**.
- ▶ Het **heelal** dijt uit en er is een **begin** geweest, **13.7 miljard jaar** geleden.

“We find that we live on an insignificant planet of a humdrum star lost in a galaxy tucked away in some forgotten corner of the universe in which there are far more galaxies than people.”

Carl Sagan

“We ontdekken dat we wonen op een onbeduidende planeet van een doodgewone ster verloren in een melkwegstelsel dat is weggestopt in een of andere vergeten hoek in het heelal waarin veel en veel meer melkwegstelsels zijn dan mensen.”

Carl Sagan

Van de Big Bang naar nu

We zijn nu gereisd naar steeds **grotere afstand**.

Maar dat is ook **terug in de tijd**.

Tijd is een merkwaardig iets³:

- ▶ Het heeft een **begin** gehad,
- ▶ het heeft **richting**,
- ▶ het heeft **geen eind**,
- ▶ we kunnen **terugkijken** (niet -reizen) in de tijd en
- ▶ tijd beleef je **relatief**.

³Ik heb een stukje geschreven over **tijd** in de agenda van 2001. Beschikbaar via mijn homepage

Het vroege heelal

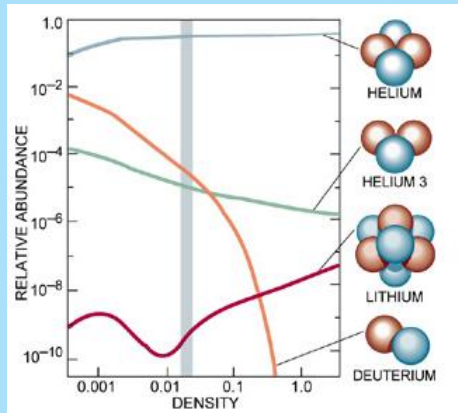
- ▶ Het heelal is **13.7 miljard jaar** oud en is begonnen als een **explosie** vanuit een onmeetbaar klein volume.
item Heel kort na deze **Big Bang** of **Oerknal** was het heelal te heet voor het bestaan van atomen of atoomkernen.
- ▶ Na **3 minuten** ontstonden atoomkernen door samengaan van **protonen** en **neutronen**, respectievelijk ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{He}$ en ${}^4\text{He}$.



- ▶ Als ^4He een proton of neutron invangt ontstaat ^5He of ^5Li , maar dat is heel **instabiel**.
- ▶ Als twee ^4He kernen samengaan, ontstaat ^8Be en dat is ook heel **instabiel**.
- ▶ In de praktijk vormt er een zeer minieme fractie ^7Li , maar alle andere chemische elementen moeten later gevormd zijn **in sterren**.

De natuurkundige theorieën voorspellen met grote nauwkeurigheid de waargenomen relatieve verhouding van ongeveer **75%** waterstof en **25%** helium.

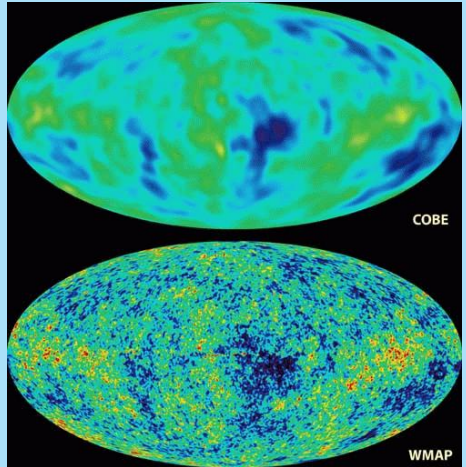
De verhouding van **deuterium** en de isotopen van **helium** en **lithium** zijn correct voorspelbaar.



Na **380,000 jaar** was het heelal koud genoeg voor vorming van atomen en het werd **doorzichtig**.

Die straling zien we nu nog steeds met daarin het **eerste voorkomen van structuur** op een niveau van **0.01%**.

Later trok dit samen en vormden de eerste **sterren**.



Op de **diepste** opnamen met de **Hubble Space Telescope** zien we stelsels kort na hun vorming, toen het heelal zo'n **een miljard jaar** oud was.

Deze opname heet de **Hubble Ultra Deep Field** en is gemaakt door zo'n **twee weken** te "belichten".



De zwakke puntjes zijn de oudste stelsels, toen gaswolken samentrokken en **stervorming** begon.

We zien ook stelsels wat minder lang terug in de tijd.

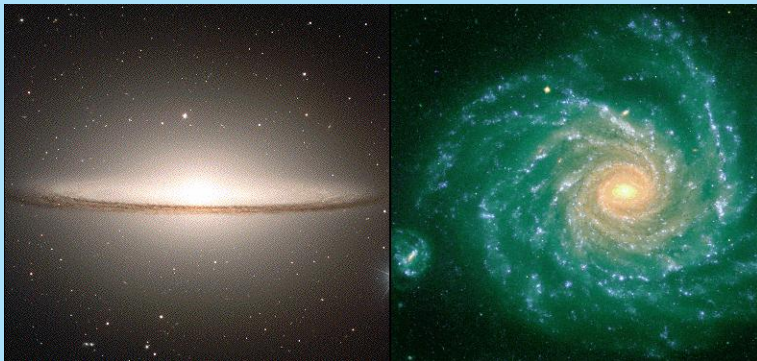
We zien ook één **ster** in ons eigen Melkwegstelsel.



Melkwegstelsels

- ▶ De eerste sterren vormden 200 miljoen jaar na de Big Bang.
- ▶ De samentrekkende gaswolken, waarin sterren vormden, draaien rond (roteren), waardoor ze een regelmatige vorm kregen.
- ▶ Voor de meeste bleef er voldoende gas over zodat vorming van nieuwe sterren mogelijk was.
- ▶ Onze zon, het planetenstelsel met de aarde zijn zo 4.5 miljard jaar geleden gevormd.

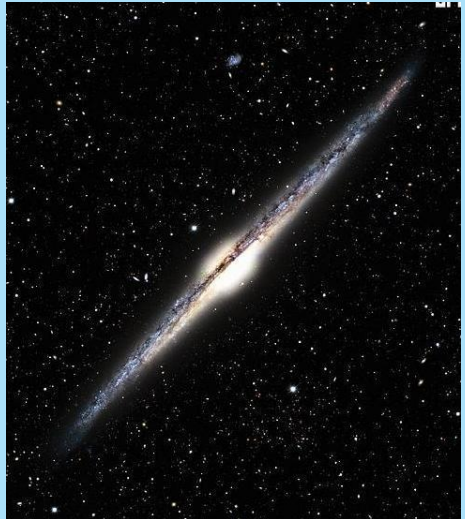
Hier zien we hoe **melkwegstelsels** als het onze er nu uitzien; links **op z'n kant** en rechts **van boven**.



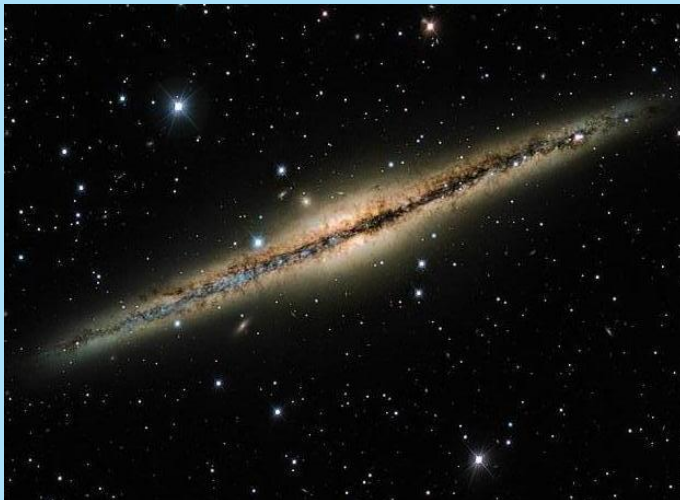
Dit is een ander stelsel precies op z'n kant.

Zo'n stelsel als dit en het onze bestaat voornamelijk uit een **platte schijf**.

Onze zon en wij zitten in de schijf.



Dit stelsel lijkt als een tweeling op ons Melkwegstelsel.



Daarom zien we ons melkwegstelsel als de "Melkweg" over de hemel lopen (althans als het donker genoeg is).

De foto hiernaast is met een **groothoeklens** gemaakt, zodat je de horizon langs de rand ziet.



Misschien ziet ons Melkwegstelsel er wel zo uit van boven.



Karakteristiek is de
spiraalstructuur waarin
de **vorming van sterren**
nog steeds voortgaat.

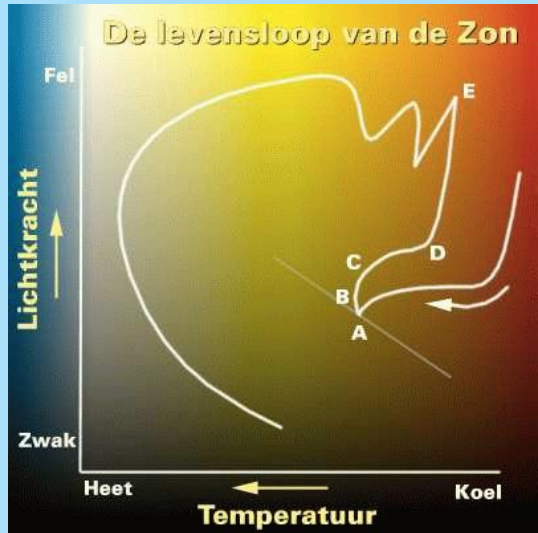




Sterren en supernovae

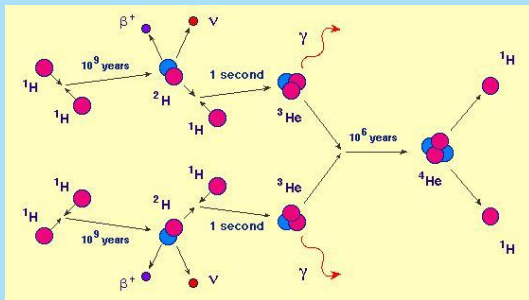
- ▶ De eerste sterren bestonden uitsluitend uit **waterstof** en **helium**.
- ▶ Alle andere **chemische elementen** zijn in sterren gevormd; men noemt dit **stellaire nucleosynthese**.
- ▶ Zo konden bij de vorming van het zonnestelsel er ook **planeten** vormen, waarop vervolgens **leven** ontstond.
- ▶ We kijken eerst naar de **evolutie** van de zon.

- ▶ Tijdens de **samentrekking** werden de centrale delen steeds heter totdat **kern-reacties** gingen optreden.
- ▶ **A**. Hier kwam de zon na de samentrekking, toen deze energie ging produceren en ging **stralen**.
- ▶ **B**. Dit is waar de zon **nu** ongeveer is.

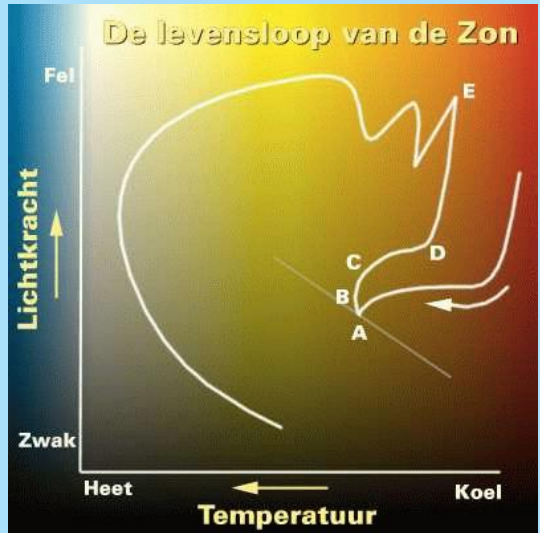


Binnen in de zon is het zo'n **tien miljoen graden** en dan treden we kern-reacties op.

We zien dat vier **protonen** (waterstofkernen) omgevormd worden tot een **helium atoom** en dat daarbij **energie** vrijkomt.



- ▶ C. Hier is de zon als over zo'n vijf miljard jaar de waterstof op is en trekt dan verder samen en wordt heter(D).
- ▶ E. De zon verbrandt dan helium tot koolstof, maar dooft op den duur uit.



De **koolstofverbranding** gebeurt bij **100 miljoen graden**:



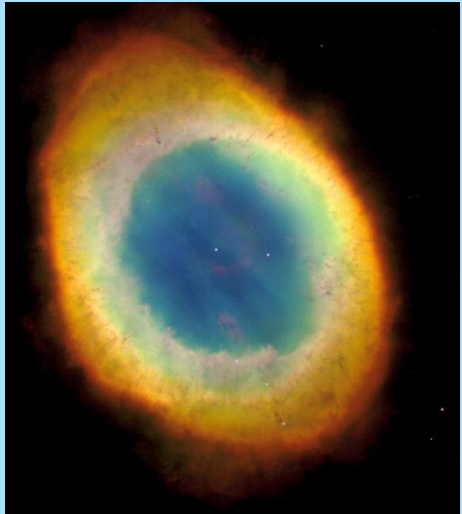
Dit kan, omdat in sterren bij die temperatuur ${}^8\text{Be}$ net lang genoeg kan blijven bestaan.

Zwaardere sterren (een paar keer) dan de zon:

- ▶ hebben meer zwaartekracht en worden daarom **heter**,
- ▶ springen dan veel minder zuinig met hun brandstof om en **leven daardoor veel korter**,
- ▶ stoten soms hun buitendelen af als in een **planetaire nevel**.
- ▶ Daarbij kunnen met name **koolstof**, **zuurstof** en **stikstof** in het gas tussen de sterren komen.

De ster in deze
"Ringnevel" is maar een
klein beetje zwaarder
dan de zon.

Ze staat 2300 lichtjaar
bij ons vandaan en de
expansie van de schil is
zo'n 1500 jaar geleden
begonnen.



Nog zwaardere sterren:

- ▶ “Verbranden” hun atomen eerst door tot zwaardere elementen (tot ongeveer **ijzer**) en
- ▶ worden uiteindelijk zo heet en instabiel, dat ze zich opblazen als een **supernova**,
- ▶ worden daarbij voor enige maanden net zo **helder** als een heel melkwegstelsel,
- ▶ vormen daarbij chemische elementen zwaarder dan ijzer, zoals andere **metalen** tot aan **uranium** toe, en
- ▶ voegen de elementen die ze gevormd hebben toe aan het **gas tussen de sterren**.

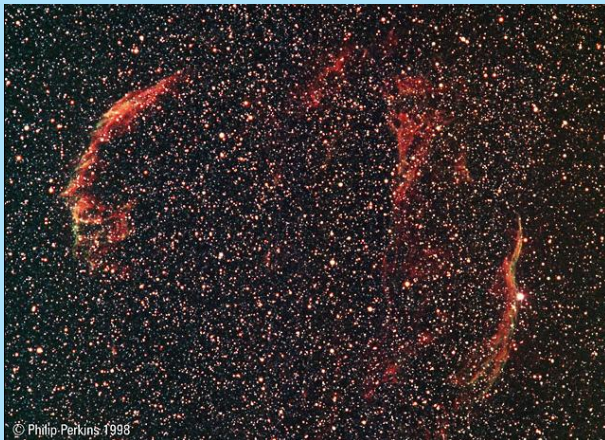
Dit is supernova 1987A
in de Grote Magelhaense
Wolk.

Alhoewel deze 170
duizend lichtjaar van ons
af staat, was deze met
het blote oog te zien.

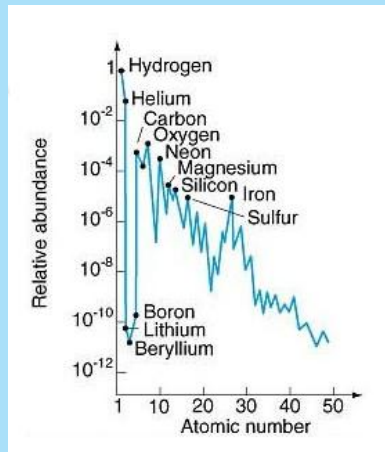
Links zien we de
supernova, rechts de
ster voordat deze
explodeerde.



Dit is het restant van een supernova-explosie zo'n **vijf- tot tienduizend jaar** geleden.

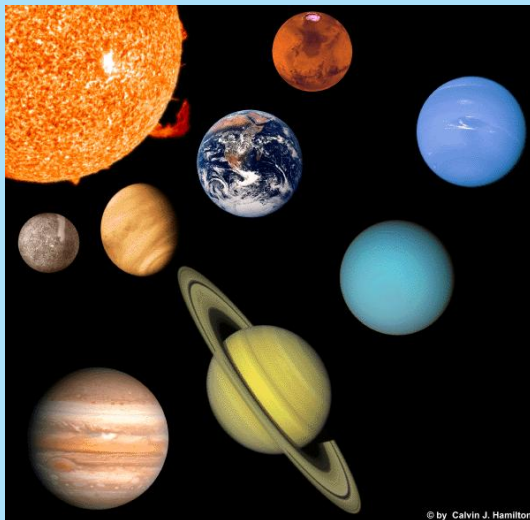


- ▶ Zo zijn de **chemische elementen zwaarder dan helium** gevormd als latere generaties van sterren (als onze zon) ontstaan.
- ▶ Op dit moment is dat maar **een paar procent** van de materie.
- ▶ Dan kunnen er **planeten** ontstaan en althans op aarde ook **leven**.
- ▶ “Wij zijn kinderen van het heelal.”



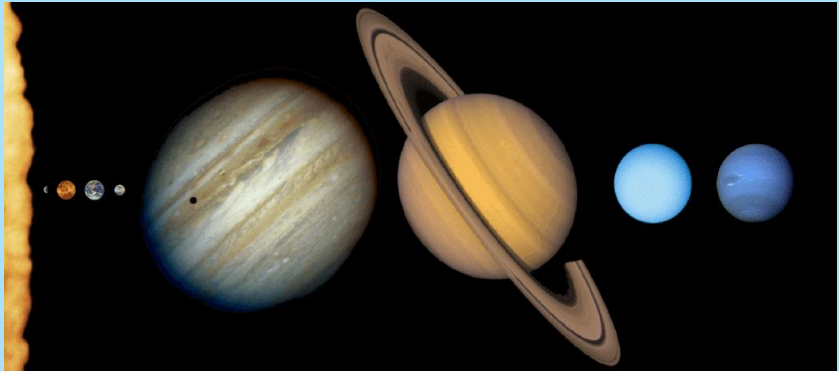
Planetenstelsels

Dit zijn de **acht planeten**
van ons zonnestelsel en
de zon zelf.

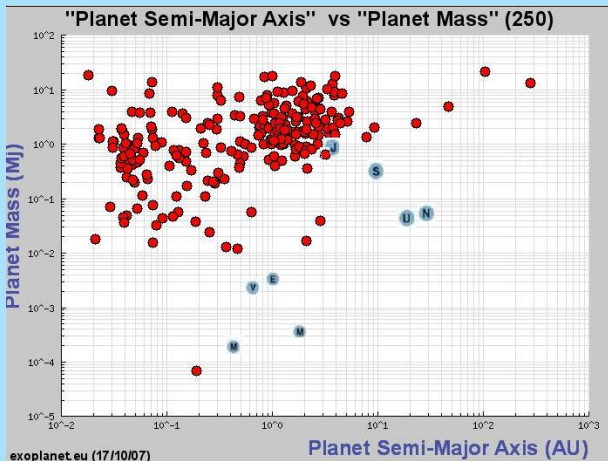


© by Calvin J. Hamilton

Hier zien we de zon en planeten op de goede **volgorde** en op de juiste **relatieve grootte**.

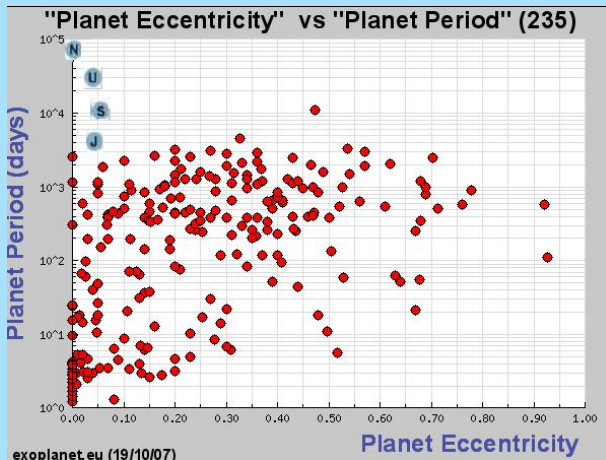


Er zijn nu **250 exoplaneten** bekend rond andere sterren, maar die zijn bijna allemaal veel zwaarder dan de aarde.



- ▶ Tot nu toe kunnen we (op een enkele uitzondering na) alleen planeten zien, die zo **zwaar** zijn als **Jupiter** en zo.
- ▶ En de meeste staan ook **dichterbij** hun ster dan wij van de zon.
- ▶ Dus planeten **als de aarde** zijn nog niet ontdekt.
- ▶ Wel is er één met **vergelijkbare** condities, maar die **vijf** keer zwaarder is dan de aarde en waarvan de ster veel **lichter** en **zwakker** is dan de zon.
- ▶ Maar zijn dus wel degelijk **andere planetenstelsels**.

Tot nu toe zijn de andere planetenstelsels **NIET** als het onze; de banen zijn veel **langgerechter** en liggen in **verschillende vlakken**.



- ▶ Is er **intelligent leven** op die andere planeten?
- ▶ Ik zelf denk dat leven **uiterst schaars** is in het heelal.
- ▶ Immers, de helft is statistisch **slimmer** dan wij en zouden wel hoe effectief onze **aandacht** te trekken.
- ▶ Er is geen **betrouwbare** aanwijzing van een **bezoek** aan de aarde, noch zijn er **signalen** opgevangen.
- ▶ Als we geen enkele aanwijzing voor zulk intelligent leven elders in het heelal hebben, dan zal dus het wel **zeldzaam** zijn.

Wat moeten we hiervan vooral onthouden?

- ▶ Drie minuten na de Big Bang was er alleen waterstof en helium.
- ▶ Na 380,000 jaar ontstond er structuur in het heelal.
- ▶ Na een miljard jaar of zo onstonden de eerste sterren en de melkwegstelsels.
- ▶ De sterren stralen omdat ze waterstof “verbranden” in helium en een ster als onze zon kan dat tien miljard jaar volhouden.
- ▶ Zwarte sterren doen dat heel snel en blazen zichzelf op als supernovae; daarbij maken ze de elementen, waaruit wij en alles om ons heen bestaat.
- ▶ Zo'n 4.5 miljard jaar geleden zijn de zon en de aarde ontstaan en daarop leven en mensen.

Afsluiting

“Hydrogen, n.: A light, colorless, odorless gas, that, given enough time, turns into people.”

Anonieme persiflage op Ambrose Bierce's "The Devil's Dictionary" (1911)

“Waterstof, znw.: Een licht, kleurloos, reukloos gas, dat, als je maar lang genoeg wacht, verandert in mensen.”

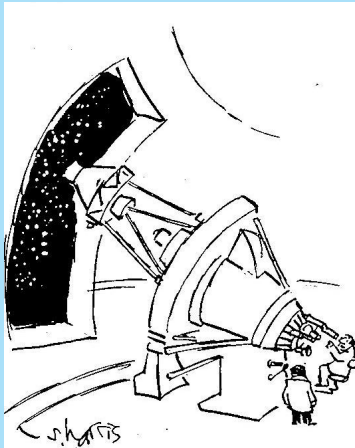
Anonieme persiflage op Ambrose Bierce: "Het Woordenboek van de Duivel" (1911)

“As we look out into the universe and identify the many accidents of physics and astronomy that have worked together to our benefit, it almost seems as if the universe must in some sense have known that we were coming.”

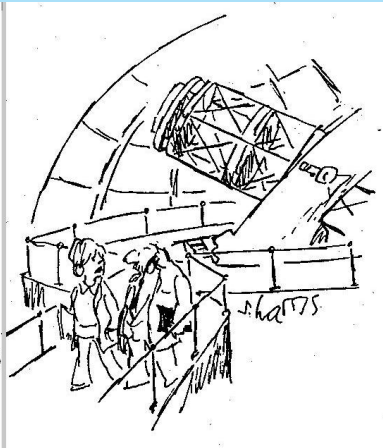
Freeman Dyson

“Als we het heelal in kaart brengen en op de vele toevalligheden in de natuurkunde en de sterrenkunde stuiten, die in ons voordeel hebben samengewerkt, dan lijkt het er bijna op dat het heelal in zekere zin moet hebben geweten, dat wij zouden komen.”

Freeman Dyson



"Actually they all look alike to me."



"I've seen out to the limit of the observable universe, and believe me, it's no better out there than it is here."

**DANK U VOOR
UW AANDACHT**

Deze presentatie is beschikbaar op mijn [homepage](#):

www.astro.rug.nl/~vdkruit

Of rechtstreeks:

[.../~vdkruit/Neemnou.pdf](#)

Na de pauze de documentaire *Cosmic Voyage*; deze duurt **34 minuten**

