

nederlands

Je bent een ster

of de link tussen astrofysica en je eigen lijf.

Een lang verhaal, kort verteld.

Om te beginnen gaan we naar China, en duiken we meer dan 9 eeuwen terug in de tijd, naar een zonnige 4^e juli 1054. De mensen toen hadden geen kunstlicht, de nachten waren nog aardedonker. En er was nog geen TV of PC om alle vrije avondtijd op te eisen, wat maakte dat de Chinese Jan met de Pet behoorlijk goed de onveranderlijke positie van de sterren kende. In een natuur boordevol dynamische verandering was zulke stabiliteit wel verrassend – en dus goddelijk.

Die 4^e juli dus. Zoals gewoonlijk werd het 's avonds donker, en onze Chinese Jan Pet keek naar boven. Maar hij verschoot zich een stevige bult, want hij zag daar een indringer staan, een ster die daar tevoren niet stond, en dan nog een abnormaal heldere ster. Algauw waren talloze Chinese Jannen Pet getuige van het wonder, men zocht elkaar op en praatte erover. Ook de verblindende helderheid was gesprekstof, het was beangstigend. Een uurtje later was de helderheid nog steeds aan het toenemen. De volgende dag bleek de ster zelfs in het hemelblauw te zien, lang voor de schemering, als een ontstellend helder en verblindend licht. Onze Jannen krabden zich onder de pet, en waren eigenlijk bang. (Ook onze Belgische voorvaders zagen het, maar alleen in Chinese kronieken lezen we erover).

Ondertussen zijn we anno 2000. Slim als we zijn, hebben we ontdekt dat er toen een supernova explosie plaatsgevonden heeft, een ontploffende ster, een spectaculair kosmisch evenement. (Op die plaats staat nu de Krabnevel en flinkt er een 'pulsar'). We hebben ook ontrafeld hoe zulke explosie kan gebeuren.

Eerste etappe van het verhaal.

Onze zon is (ook) een ster, eentje van erg bescheiden omvang, hoewel je 1,3 miljoen aardbollen nodig zou hebben om haar te vullen (qua volume). Welnu, onze ster kan miljarden jaren lang haar enorme hoeveelheid energie blijven uitstralen door het kernfusie mechanisme. Die 'energie truc' bestaat erin dat een stof, Waterstof nl., omgezet wordt in een andere stof, Helium. Daarbij wordt wat energie gemorst, een klein beetje massa wordt zomaar 'ontvroren' tot pure energie, en uitgestraald. Sinds Einstein weten we dat materie inderdaad 'bevroren' energie is, een klein beetje massa is in feite héél veel energie. Einsteins formule $E = m \cdot c^2$ zegt dat Energie = massa x kwadraat van lichtsnelheid, en die laatste term is enorm groot (kwadraat van 299.792.458 m/sec). We zijn er nota bene in geslaagd om die energietruc van de zon na te doen op mini schaal, nl. in de Waterstofbom – wat zijn we toch ... slim?

Nu kan die omzetting van Waterstof in Helium niet oneindig lang doorgaan, ooit zal alle Waterstof

opgesoupeerd zijn, en rest er alleen nog Helium. Onze zon zet per seconde 600 miljoen ton Waterstof in Helium om, en daarbij wordt 4 miljoen ton /sec 'gemorst' en in pure energie omgezet; ons zonnetje "dieet" dus, ze wordt inderdaad 4 miljoen ton per seconde lichter, en dat doet ze nu al 4,6 miljard jaar lang. Maar geen nood, haar massa is zo immens groot, dat ze nog reserve heeft voor meer dan 4,5 miljard jaar. Daarna krijgt ze een aantal bizarre stuiptrekkingen, en sterft ze haar dood als 'witte dwerg', vanaf dan steeds verder afkoelend.

Merkwaardig genoeg is het verhaal voor de talloze zwaardere sterren (meer dan 5 zonsmassa's) nogal verschillend, en dat is van groot belang in ons verhaal.

Naar het einde toe van de evolutie van zo'n dikkerd, als heel de voorraad Waterstof opgebruikt is (via kernfusie in Helium omgezet), mindert haar eigen stralingsdruk en begint ze in elkaar te zakken onder haar eigen gewicht. Maar daardoor is ze compacter, en wordt ze zoveel heter. De temperatuur in de kern van die ster was lange tijd, net zoals in onze zon, een 15 miljoen graden, maar nu klimt dat naar 50 miljoen graden en meer, en dan ziet een andere 'energietruc' zijn kans schoon : Helium wordt in Koolstof omgezet. Een hele tijd later is die voorraad Helium ook weer omgezet, en is er weer een energiecrisis, het gaat overigens steeds sneller. Zelfde scenario : stralingsdruk mindert, de dikkerd zakt onder zijn eigen gewicht nog wat verder in elkaar, de temperatuur stijgt weer verder, nu tot een 200 à 300 miljoen graden. De volgende energietruc krijgt nu zijn kans : Koolstof samen met het restant Helium zet zich om in Zuurstof. In de volgende sessie wordt dan Neon gevormd, naast nog vele andere elementen.

En het verhaal gaat voort en voort, en de temperatuur stijgt steeds maar, tot op den duur, bij 4 miljard graden, IJzer met een aantal nog zwaardere elementen gevormd wordt. Maar dan gaat alles uit de hand lopen, want bij verdere fusies van zwaardere elementen verschuift de balans, en wordt veel meer energie opgeslokt dan er gemorst wordt... Kort gezegd : de dikkerd gaat nu supersnel in elkaar zakken, zijn eigen afnemende stralingsdruk wordt te zwak om dit inzakken nog tegen te houden. Met onvoorstelbaar geweld implodeert de binnenkern en explodeert al de rest,... we hebben een supernova, die zo helder kan zijn als honderd miljard zonnen tegelijk.

Wat Jan met de Pet in China toen zag, was zulke zware ontploffende ster die met overdonderend geweld het grootste deel van haar massa aan 20.000 km per seconde in alle richtingen wegschiet.

De tweede etappe in ons verhaal :

De ruimtetijd (= "ooit ergens") ontstond 13,7 miljard jaar geleden uit een ruimtetijdloos "nooit nergens". ... Er was een soort oneindig klein punt, een oeratoom, of een geweldige kwantum fluctuatie in het ruimtetijdloze rusteloze vacuüm, met een eindige reuze energie inhoud. Alle "ooit ergens" aan mogelijkheden zat al erin, als een extreem precieze *conditie*.

En toen kwam er ruimtetijd, op die dag zonder gisteren, en startte dat oer-punt een uitzetting vanuit zijn fenomenale precisie; dit was de befaamde 'big bang', of zoveel adequater, het liefdevolle begrip 'Big Breath', die ons uitdijend heelal heeft opgestart. Let wel, onmiddellijk na die *Big Breath* was er alleen nog maar straling, nog geen bevrozing tot materie. Later als die oersoep afkoelde, is de temperatuur uiteindelijk zo laag geworden (onder honderd miljard graden, nu ja, laag...) dat er wél bevrozing tot materie kon optreden, en wel tot Waterstof en, in mindere mate, Helium. Daarom worden die twee elementen ook de 'kosmologische' elementen genoemd, ze waren immers al ontstaan in 't zeer vroege kosmos-begin, lang voor er samentrekking tot sterren plaatsvond.

Nu komen we aan de **derde etappe** en ineens de essentie van ons verhaal.

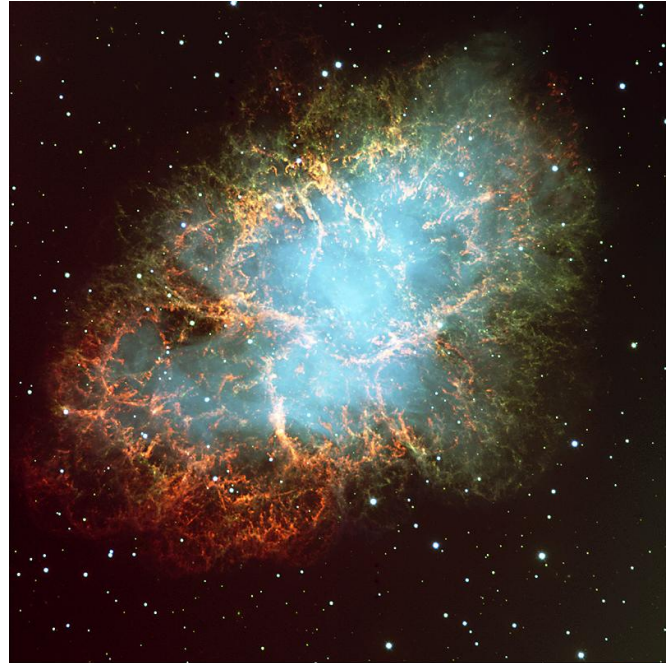
Je hebt ondertussen beet dat daar in het heelal in de ware zin des woord aan alchemie gedaan wordt. De droom van de middeleeuwen (*tenminste, van al wie de echte zin van alchemie niet kennen*), uit één stof een andere maken (lees : goud maken), is daar alledaagse kost. Maar voordat die sterren alle andere stoffen fuseerden, was er alleen maar Waterstof en Helium. Het is dus aan de sterre-ovens te danken dat er Zuurstof, Koolstof, Silicium, enz. bestaat. En niet alleen dat... Het is aan supernova explosies te danken dat al die elementen naar buiten 'gebraakt' werden. Alzo kwamen ze ter beschikking onder de vorm van triljoenen gigatonnen interstellair gas en stof, waarin toevallige verdichtingen zouden ontstaan, zich samentrekkend tot volgende generaties zonnen, met wat koelere overschot eromheen waaruit planeten (aardbollen) condenseerden, koelere oorden uit allerlei zwaardere elementen. Daaruit kon ten slotte rots ontstaan, zand, en complexe moleculen, en nog complexere moleculecombinaties, uiterst complexe structuren, en uiteindelijk primitief leven, evolutie, planten, dieren, **wij...**

4 juli 1054. Jan met de Pet maakte een heilig moment mee, een kosmische wee, waardoor het zijnmysterie zijn weg verder vervolgen kan.

Wij zijn inderdaad uit sterre-as geboren, en ja, er is geen grassprietje in je hof of geen celletje in je hersens dat niet zijn atomaire bouwstenen ter beschikking heeft gekregen uit vorige generaties gewelddadig gestorven sterren.

Als je dan ten velde de talrijke levensuitingen bekijkt, of je kijkt in de spiegel naar de cellen van je gewone eigen smoeleke, denk dan eens aan die kosmische ademhaling, of beter nog : als de TV of PC je het toelaat, zoek nog eens een aardedonkere plek op, om naar een heldere sterrenhemel te gapen, het is ten slotte ons kosmisch kraambled.

Tony Aerts, 1995, en aangepast in 2000 en 2020.



The Crab Nebula in Taurus (VLT KUEYEN + FORS2)

ESO PR Photo 406/99 (17 November 1999)

© European Southern Observatory



Op de foto de uitdijende explosiewolk van de op 4 juli 1054 ontplofte ster, zoals op 17 november 1999 gefotografeerd.

ADDENDUM n.a.v. plotse verzwakking schijnbare helderheid Betelgeuze einde 2019. Betelgeuze is een 5 miljoen jaar oude 20 zonsmassa's ster, die nu aan haar levenseind is. **Ergens** tussen vandaag en zegge 10.000 jaar, moet ze exploderen als **supernova**.

SUPERNOVA BETELGEUZE zal mogelijk wel 5 zonsmassa's materie wegschieten, en dit aan een duizelingwekkende 20.000 km/seconde.
Een poging tot de opbouw van enig ENERGETISCH SCHAAL-GEVOEL:

Energie om **Kogel** met krachtig geweer weg te schieten _____ = 2,5 gram aan 1 km/sec

x 1000

Energie om **Granaat** met zwaar kanon weg te schieten _____ = 2,5 kg aan 1 km/sec

x 1000

Energie om blok graniet formaat '**rotsblok**' weg te schieten: (1m x 1m x 1m) of één m³ _____ dus 2.500kg aan 1 km/sec

x 1000

Energie om blok graniet formaat '**groot huis**' weg te schieten: (10m x 10m x 10m) of duizend m³, _____ dus 2,5 miljoen kg aan 1 km/sec

x 1000

Energie om blok graniet formaat '**heuveltop**' weg te schieten: (100m x 100m x 100m) of 1 miljoen m³, _____ dus 2,5 miljard kg aan 1 km/sec

x 1000

Energie om blok graniet formaat '**berg**' weg te schieten: (1km x 1km x 1km) of 1 miljard m³ _____ dus 2.500 miljard kg aan 1 km/sec

reuzensprong: x 24 biljoen (= 24.000 miljard) = 1 AARDE

Energie om **AARDE** weg te schieten _____ 5,972 x 10²⁴ kg aan 1 km/sec

x 1.000

Energie om **AARDE** weg te schieten: _____ (5,97 x 10²⁴ kg) _____ aan niet 1, maar 1.000 km/sec

x 20

Energie om **AARDE** weg te schieten _____ (5,97 x 10²⁴ kg) _____ aan niet 1.000, maar 20.000 km/sec

2^e reuzensprong: x 16 miljoen = energie supernova Betelgeuze

Energie van **Supernova Betelgeuze** schiet dus 5 zonsmassa's materie weg, dat betekent de energie om 16 miljoen AARDES weg te schieten _____ aan 20.000 km/sec

english

You are a star

*or the link between astrophysics and your own body.
A long story, told short.*

To start with, we go to China, and we dive more than 9 centuries back in time, to a sunny 4th July 1054. The people then had no artificial light, the nights were still pitch dark. And there was still no TV or PC to claim all the free evening time, which meant that the Chinese John with a Cap knew quite well the unchanging position of the stars. In a nature brimming with dynamic change, such stability was surprising—and therefore divine.

So the 4th of July. As usual it got dark in the evening, and our Chinese John Cap looked up. But he shot a solid bump, for he saw an intruder standing there, a star that hadn't been there before, and then even an abnormally bright star. Soon countless Chinese John Cap's witnessed the miracle, people came together and talked about it. Mostly the blinding brightness was something to talk about, it was frightening. An hour later, the brightness was still increasing. The next day, the star appeared even in the sky blue, long before dusk, as an astonishingly bright and blinding light. Our Johns scratched their heads, and were actually scared. (Our Belgian ancestors also saw it, but we only read about it in Chinese chronicles).

We are now in the year 2000. Smart as we are, we have discovered that a supernova explosion took place, an exploding star, a spectacular cosmic event. (This is where the Crab Nebula now stands and a 'pulsar' flickers). We also unravelled how such an explosion can happen.

First stage of the story.

Our sun is (also) a star, one of very modest size, although it would take 1.3 million globes to fill it (in volume terms). Well, our star can continue to radiate its enormous amount of energy for billions of years through the nuclear fusion mechanism. That 'energy trick' consists in that a substance, namely Hydrogen, is converted into another substance, Helium. In doing so, some energy is spilled, a small amount of mass is simply 'de-frozen' into pure energy, and radiated away. Since Einstein we know that matter is indeed 'frozen' energy, a little bit of mass is in fact a lot of energy. Einstein's formula $E = m \cdot c^2$ says that Energy = mass x square of the speed of light, and that last term is huge (squared of 299,792,458 m/sec). We have actually succeeded in imitating that energy trick of the sun on a mini scale, i.e. in the hydrogen bomb – oh how smart we are ...?

Now that conversion of Hydrogen into Helium cannot continue indefinitely, one day all Hydrogen will have been consumed, and only Helium will remain. Our sun uses 600 million tons of hydrogen per second Helium, and 4 million tons/sec is 'spilled' and converted into pure energy; So our solar "diet" is real,

indeed getting lighter by 4 million tons per second, and it has been doing so for 4.6 billion years now. But don't worry, its mass is so immense that it still has reserves for more than 4.5 billion years. After that, she gets some bizarre convulsions, and dies to her death as a 'white dwarf', cooling down more and more from then on.

Curiously, the story for the countless more massive stars (more than 5 solar masses) is quite different, and that is of great importance in our story.

Towards the end of such a fat boy's evolution, when the entire supply of Hydrogen has been used up (converted into Helium via nuclear fusion), its own radiation pressure decreases and she begins to collapse under its own weight. But that makes her more compact, and makes her so much hotter. The temperature in the core of that star was for a long time, just like in our sun, a 15 million degrees, but now it climbs to 50 million degrees and more, and then another 'energy trick' sees its chance: Helium is converted into Carbon. A long time later, also that stock of Helium is also converted, and there is another energy crisis, and it is going faster and faster. Same scenario: radiation pressure decreases, the fat boy collapses under his own weight, the temperature rises again, now to 200 to 300 million degrees. The next energy trick now gets its chance : Carbon together with the remainder of Helium converts into Oxygen. In the next session Neon is then formed, among many other elements.

And the story goes on and on, and the temperature continues to rise, until eventually, at 4 billion degrees, Iron is formed with some even heavier elements. But then everything gets out of hand, because with further mergers of heavier elements, the balance shifts, and much more energy is absorbed than is spilled... In short: the fat boy now collapses super fast, his own decreasing radiation pressure becomes too weak to stop this collapse. With unimaginable violence the inner core implodes and everything else explodes... we have a supernova, which can be as bright as a hundred billion suns at once.

What John Cap had seen in China then, was such a massive exploding star, that with overwhelming violence shoots most of its mass away in all directions at 20,000 km per second.

The second stage of our story :

The universe of time and space ("sometime somewhere") emerged from a spacetime-less "never nowhere" around 13,7 billion years ago, although ... There was a kind of infinitely small primordial point, or tremendous quantum fluctuation in the spacetime-less, restless vacuum, with a certain finite but giant energy content, in which all the "sometime somewhere" of possibilities was already condensed, as an extremely precise *condition*.

And then spacetime came into being, on that day without yesterday, and this primordial point has started an intense development from that phenomenal *condition-precision*, being the famous 'big bang' or with the so much more

appropriate naming the lovely concept of 'Big Breath', which started our expanding universe. Mind you, immediately after that *Big Breath*, there was only radiation, so not yet freezing to matter.

Later, when that primordial soup had cooled, the temperature eventually became so low (below a hundred billion degrees, well, low...) that freezing to matter could occur, namely to Hydrogen and, to a lesser extent, Helium. That is why these two elements are also called the *cosmological* elements, for they had already originated in the very early cosmos-start, long before contraction into stars took place.

Now we come to the **third stage** and suddenly the essence of our story.

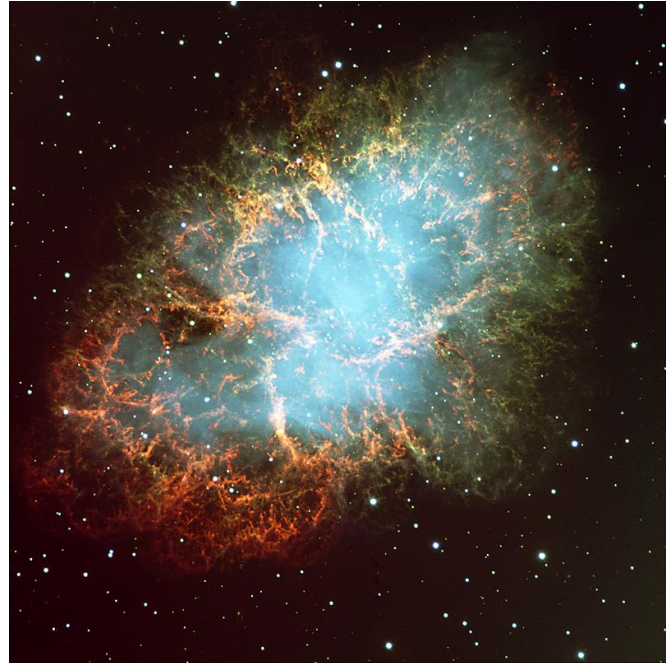
By now you have grasped that there, in the universe, in the truest sense of the word, alchemy is being done. The dream of the medieval people (*at least those who didn't know the real meaning of alchemy*), to make another out of one substance (read: to make gold), is commonplace there. But before those stars merged all those other substances, there was only Hydrogen and Helium. So it is thanks to the star kilns that there is Oxygen, Carbon, Silicon, etc. And not only that... It is thanks to supernova explosions that all those elements were 'vomited out'. And thus they became available in the form of trillions of Gigatons of interstellar gas and dust, in which accidental condensations would form, contracting to countless succeeding generations of suns, with some cooler surplus around it from which planets (earths) condensed, cooler places from all kinds of heavier elements. Eventually, from this developed rock, sand, and complex molecules, and even more complex molecular combinations, and extremely complex structures, and ultimately primitive life, evolution, plants, animals, **us...**

July 4, 1054. John with the Cap experienced a sacred moment, a cosmic woe, through which the mystery of being can continue on its way.

We are indeed born of star-ash, and yes, there is not any blade of grass in your garden or not any cell in your brains that has not received its atomic building blocks from previous generations of violently died stars.

If you then look at the numerous expressions of life in the field, or you look in the mirror at the cells of your usual own face, think about that cosmic breathing, or better yet: if the TV or PC allows you, look for another pitch-dark place, to gawk at a clear starry sky, it's after all our cosmic childbirth.

Tony Aerts, 1995, adapted 2000 and 2020.



The Crab Nebula in Taurus (VLT KUEYEN + FORS2)

ESO PR Photo 406/99 (17 November 1999)

© European Southern Observatory

The photo shows the expanding explosion cloud of the star that exploded on July 4, 1054, as photographed on November 17, 1999

ADDENDUM: on the occasion of a sudden weaker apparent brightness of Betelgeuse in 2019. Betelgeuse is a 5 million year old **20 solar mass** star, now at the end of its life. It should at some point between today and say some 10.000 years, explode as a bright *supernova*.

SUPERNOVA BETELGEUSE will probably shoot away 5 solar masses of matter, and this at an amazing 20.000 km / second.
An attempt at building some kind of ENERGETIC SCALE FEELING :

Energy to shoot **Bullet** with powerful gun _____ = 2,5 gram at 1 km/sec

x 1000

Energy to shoot **Grenade** with heavy cannon _____ = 2,5 kg at 1 km/sec

x 1000

Energy to shoot **Block of granite**, size 'boulder': (1m x 1m x 1m)
or one m³ _____ so 2.500 kg at 1 km/sec

x 1000

Energy to shoot **Block of granite**, size 'big house': (10m x 10m x 10m)
or 1 thousand m³, _____ so **2,5 million kg** at 1 km/sec

x 1000

Energy to shoot **Block of granite**, size 'hill top': (100m x 100m x 100m)
or 1 million m³, _____ so **2,5 billion kg** at 1 km/sec

x 1000

Energy to shoot **Block of granite**, size 'mountain': (1km x 1km x 1km)
or 1 billion m³ _____ so **2.500 billion kg** at 1 km/sec

giant leap: x 24 trillion (= 24.000 billion) = 1 EARTH

Energy to shoot **EARTH** : _____ 5,972 x 10²⁴ kg at **1 km/sec**

x 1.000

Energy to shoot **EARTH** : (5,97 x 10²⁴ kg) _____ at not 1, but **1.000 km/sec**

x 20

Energy to shoot **EARTH** : (5,97 x 10²⁴ kg) _____ at not 1.000, but **20.000 km/sec**

2nd giant leap: x 16 million = energy of supernova Betelgeuse

Energy of **Supernova Betelgeuse** will possibly shoot some 5 sun masses of matter, which means energy to shoot **16 million EARTHs** at once _____ at **20.000 km/sec**