

Wat is tijd?

Op het einde van de duik tijdens dewelke ik de aantrekkelijke dieptes van de Spaanse noordkust bewonderd heb, maak ik me klaar om te stijgen. Een glimp op mijn duikcomputer vertelt me dat ik een trap van 6 minuten op 5 meter moet uitvoeren. Op trapdiepte gekomen controleer ik opnieuw mijn duikcomputer en begin ik aan mijn decopresieverplichtingen. Tijdens het wachten dwalen mijn gedachten af. Wat betekent '6 minuten'? Of algemener, wat is tijd?



We kennen allemaal het gevoel van 'tijdstekort'. Tijd is het enige goed waarvan de mens nooit genoeg kan van verzamelen. We kunnen geld, eten, duikmateriaal, ... te kort of te veel hebben, maar tijd hebben we allemaal te weinig. Maar wat is tijd juist? Is tijd een observeerbaar, meetbaar fenomeen?

referentie en duur

Het verleden staat vast, terwijl we leven in het heden en uitkijken op een onzekere toekomst. Als mens zijn we de enige levende wezens die een tijdsbesef hebben, maar we ervaren tijd alleen door wat het met tastbare dingen doet en niet als de ontastbare, pure vierde dimensie.

Tijd is voor de mens al eeuwen een ondoorgronde mysterie. Zelfs geleerden zoals Aristoteles of Einstein konden het begrip 'tijd' niet ontrafelen. Deze poging om een klein beetje licht te werpen over dit onderwerp moet dus met de nodige relativiteitszin gelezen worden.

Omdat een olifant best beetje bij beetje opgegeten wordt, stel ik voor om onze benadering van de tijd op te delen in het probleem 'referentiepunt' en het probleem 'duur van de tijdseenheid'. Immers, om te kunnen afspreken moeten we van elkaar weten hoe lang we vanaf een bepaald moment moeten wachten.

Einstein voorspelde al in 1905 dat de klok van een snelle reiziger langzamer loopt dan die van een stilstaande thuisblijver: de bekende tweelingparadox. Een snelle reis betekent dat je minder tijd meemaakt dan de thuisblijvers: tijdsvertraging. Dat is zelfs aan boord van een lijnvlucht te meten. Dat bewezen Hafele en Keating in 1971 door vier atoomklokken rond de wereld te vliegen. Na afloop van het experiment hadden de klokken een duidelijk meetbare tijdsvertraging opgedaan.

soorten cycli

De mens leefde in het begin in relatieve harmonie met de natuur. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de eerste tijdsmetingen in relatie met de cyclische natuurfenomenen stonden. De maancyclus gaf bijvoorbeeld aan onze voorouder een indicatie van het voortschrijden van de tijd. 'We ontmoeten elkaar over 3 volle manen', was weliswaar een brute, maar accurate oeroude tijdsbepaling. De vraag was echter welke cyclus de mens het best gebruikte, want de natuur bood mogelijkheden genoeg. De rotatie van de aarde rond de zon veroorzaakt een aantal cycli zoals dag/nacht en

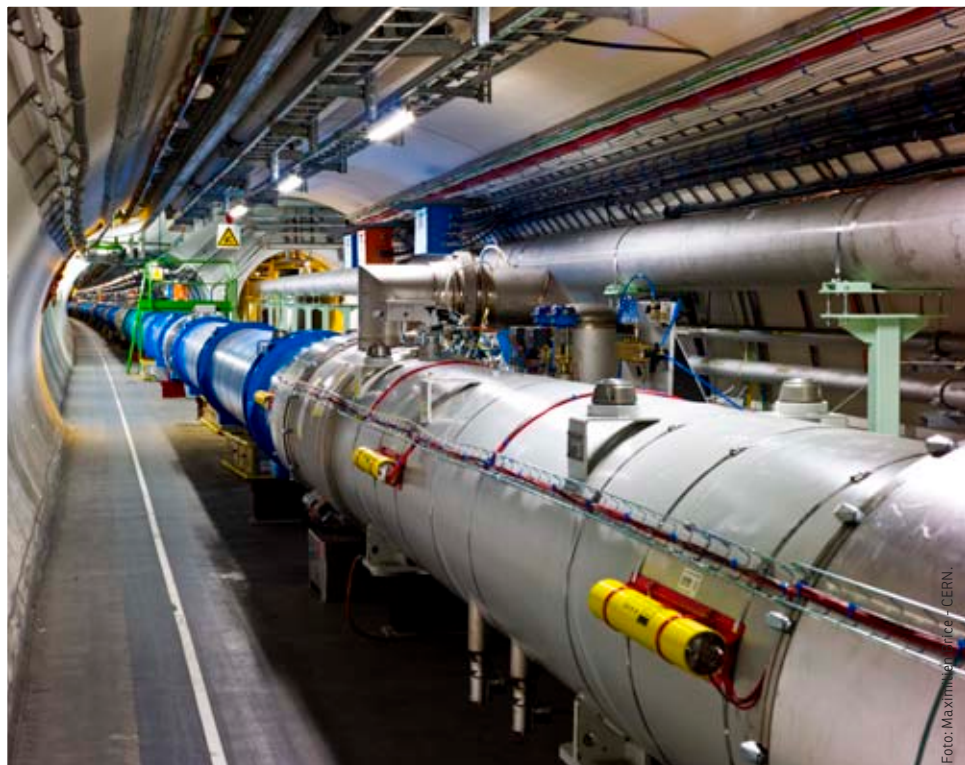


de seizoenen. Deze cycli zijn erg onnauwkeurig. Hoe precies kan je bijvoorbeeld, zonder kalender bij de hand, de start van de lente bepalen? Op welk uur zou je ergens staan als je, zonder horloge, afgesproken had elkaar te ontmoeten bij zonsopgang? Niet alleen vormt het referentiepunt hierbij een probleem, ook de duur veroorzaakt kopzorgen.

De tijd die de aarde nodig heeft om in haar baan om de zon van lentepunt naar lentepunt te reizen is niet exact 365 dagen. Het is 365 dagen, 5 uren, 48 minuten en 45 seconden. Een standaard jaar van 365 dagen zou zo iedere 4 jaar een verschuiving van



Zonnewijzer.



De LHC deeltjesversneller in CERN.

bijna 1 dag veroorzaken. Het verwaarlozen van de afwijking zou tot gevolg hebben dat na eeuwen de seizoenen ten opzichte van ons kalenderjaar zouden verschuiven. De zomer zou op termijn in januari beginnen.

Het is dan ook niet verwonderlijk dat het schrikkeljaar al bestond in de Juliaanse kalender van 54 jaar vóór Christus. Toch was deze methode niet goed genoeg, want in 1572 moest paus Gregorius III ingrijpen omdat het verschil al 10 dagen bedroeg. Vanaf dan, door de toepassing van de nog steeds actuele regels, is de verschuiving van de jaargetijden te verwaarlozen. Opgepast, onze methode is nog steeds niet perfect, want we hebben iedere 100 jaar zo'n kleine drie kwartier te veel.

Ook onze dagen duren niet altijd even lang, want de aarde draait niet altijd even snel. Per dag kan de draaisnelheid van onze aardbol variëren tot 15 milliseconden. De zon staat dus niet altijd op het middaguur op haar hoogste punt van de zonneboog. Ook tijdens het jaar zijn er verschillen. De resultante van de ellipsomloop en de helling van de aardas maakt dat de zon in de maand november met meer dan 15 minuten voor loopt en in de zomermaanden dan weer achter. Trouwens door de variatie in omloopsnelheid duurt onze zomer langer

dan in het zuidelijk halfrond. We kunnen dus langer op het strand luieren. Bovendien neemt de omwentelingssnelheid van de aarde af door de getijdenwerking van de maan en de zon. Om voor toenemende daglengte te corrigeren wordt zo nu en dan een schrikkelseconde ingevoegd. Sommige mensen beweren dat met het ouder worden de dagen sneller voorbij vliegen. Dit is psychologisch te verklaren omdat de relatieve grootte van een dag t.o.v. de geleefde dagen met de leeftijd kleiner wordt, maar astronomisch gezien is dit dus een onwaarheid.

De vele variaties in zonnetijd zijn te verklaren door de wisselwerking tussen aarde en zon. De dag dat de mens naar de sterren uitkeek, begon hij de stabielere sterrentijd te gebruiken. Een ster (ook een zon) is zo ver verwijderd van de aarde, we spreken over afstanden in lichtjaren, dat dag en jaargetijden niet beïnvloed worden door de onregelmatige omloop van de aarde rond de zon. Toch is ook deze tijd onderhevig aan de rotatiegrillen van de aarde, zodat sterrentijd, behalve voor astronomen, niet meer gebruikt wordt.

Sommige geleerden dachten dat de maan een geschikter hemellichaam was om tijd aan te verbinden. De combinatie aarde-

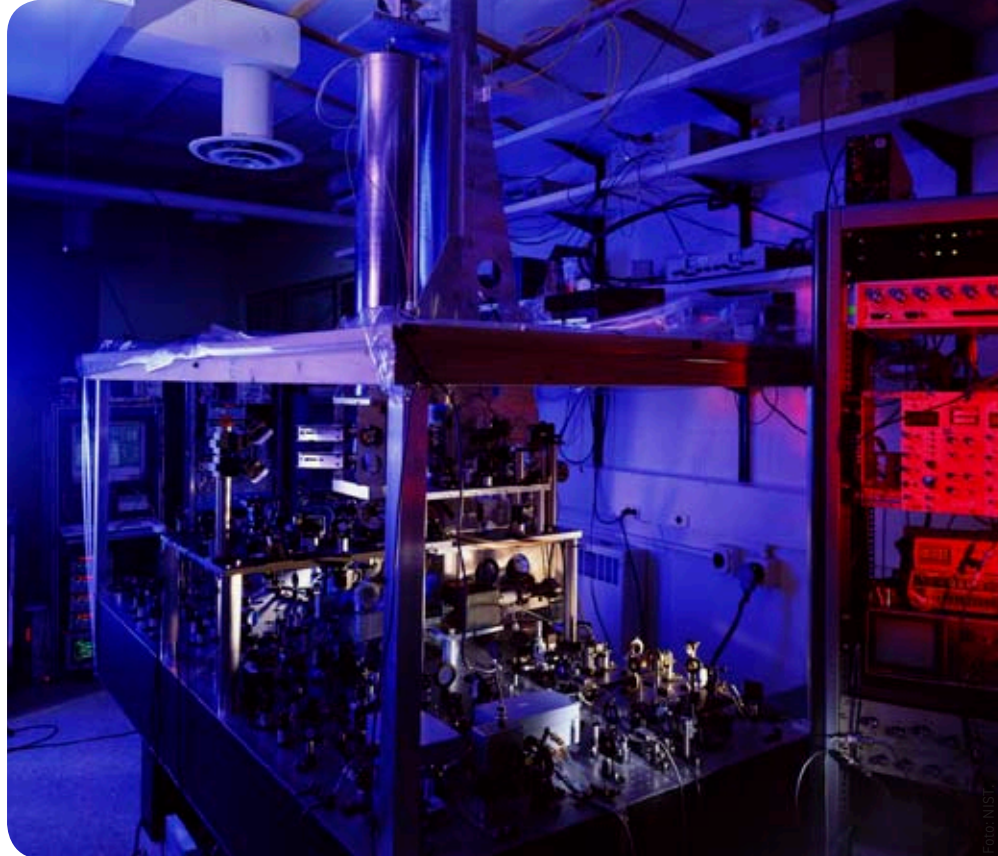
maan vormt immers een stabiel stelsel. We merken de invloed van de maan door het getij. Alle 12 uur 25 min hebben we hoogwater en laagwater. De volledige cyclus hoogwater-hoogwater duurt 24 uur en 50 minuten en noemen we een 'maandag'. De maan draait om de aarde in 29,5 dagen en tolt, niet toevallig, dan één maal om de maanas. Daarom zien we van de maan steeds dezelfde zijde. Het stelsel aarde-maan vertraagt één 16 miljoenste van een seconde per jaar. Héél veel vroeger draaide de aarde dus sneller. De maan stond ook dichterbij de aarde dan nu want die verwijderd zich meer en meer door de middelpuntvliegende kracht van het stelsel. Hoewel beter, is dit dus ook een niet-stabiele tijd.

oorsprong van de seconde

In wezen kun je de verdeling van een dag zo groot of klein maken als je wil. Onze huidige dagindeling hebben we te danken aan de oude Egyptenaren die de dag al in 24 uren indeelden. De oude Babyloniërs verdeelden alles in delen van 60: de dag had 60 uur, welke 60 minuten hadden, welke 60 seconden hadden. Van hen hebben we dus ons zestigdelig stelsel van minuten en seconden geërfd. De seconde is dus een oude eenheid die op de rotatie van de aarde gebaseerd was. Zoals we hierboven ge-



Boven: Zakhorloge met secondewijzer.
Onder: De nulmeridiaan van Greenwich.



De F1-atoomklok van het Amerikaanse National Institute of Standards and Technology (NIST) is een van de nauwkeurigste ter wereld. Deze klok heeft een relatieve fout van ongeveer 1×10^{-15} ; dat komt neer op één seconde verkeerd tellen in zo'n 10 miljoen jaar!

zien hebben is een aarddag niet constant, zodat ook de oude seconde niet constant was. Pogingen om de seconde met een klok vast te leggen mislukten. De waterklok, de zandloper, kaarsen of olielampen (met een aantal strepen erop) en de zonnewijzer hadden allemaal hun nadelen: water kan bevriezen, een zandloper moet constant in de gaten gehouden worden, kaarsen of olielampen kunnen uitwaaien en een zonnewijzer werkt alleen als er zon is. Afgezien van de zonnewijzer konden de elementaire klokken bovendien meestal alleen de duur van een gebeurtenis meten, niet op welk tijdstip de gebeurtenis plaats had.

Zeelui, postdiensten, treindiensten, handelaars, ... allemaal hadden ze een behoefte aan een duidelijke indicatie van tijd en tijdstippen. Om echter af te spreken was een stabiele seconde broodnodig. De komst van het mechanische uurwerk in de laatste decennia van de dertiende eeuw bracht de oplossing.

De eerste uurwerken waren grote en dure kunstwerken zodat ze voor de zichtbaar-

heid centraal in de stad geplaatst werden. Belforten en kerktorens waren hiervoor uitermate geschikt. Natuurlijk moesten die uurwerken ook met elkaar gelijk gesteld worden. In Engeland bestonden er ondernemers die er hun werk van maakten de tijd in Greenwich te gaan halen en die tegen betaling aan hun abonnees rond te gaan brengen. Tijdverkopers dus. Ook het geluid van de klokken diende om de horloges te synchroniseren. Later werd de synchronisatie verwezenlijkt door telegraaflijnen. Het netwerk van gesynchroniseerde uurwerken breidde zich langzaam verder uit. Nu in ieder land afzonderlijk een standaardtijd tot stand was gebracht, werd het noodzakelijk een wereldstandaardtijd in te voeren.

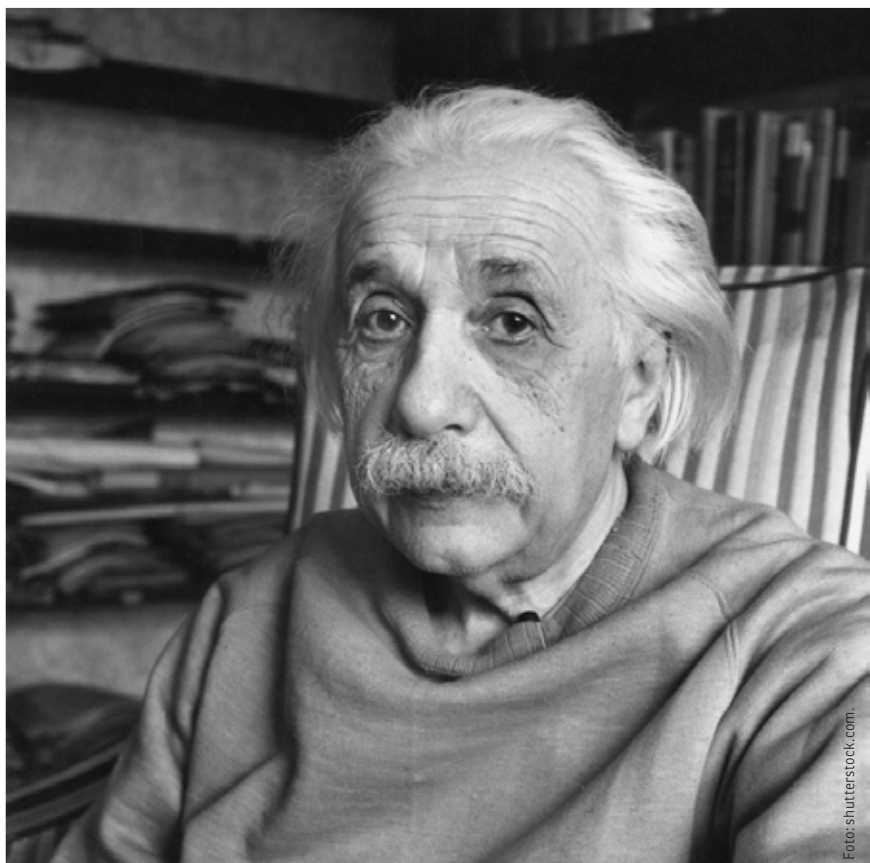
Het uurwerk zorgde voor de constante tijdsduur, maar er was nog een wereldreferentie nodig. Omdat de nulmeridiaan van Greenwich al eeuwenlang de referentie voor zeekaarten was – Engeland was toen immers dé maritieme mogendheid – werd beslist deze als referentie te aanvaarden. De tijd horend bij de meridiaan van Greenwich werd de 'Greenwich Mean Time' (GMT)

genoemd.

Om zo dicht mogelijk bij de lokale tijd te blijven, werden de tijdzones ingevoerd. In 1928 werd de wereldtijd 'Universal Time' (UT) ingevoerd. Dit is een preciezer gedefinieerde tijd gebaseerd op GMT. De poolbeweging bleek er voor te zorgen dat deze tijd niet overal ter wereld gelijk was. Hierop werd een gecorrigeerde tijd ingevoerd, UT1. Door de introductie van de atoomklok in 1955 werd de internationale atoomtijd ingevoerd. De seconde werd niet langer gedefinieerd als een vast gedeelte van de onstabiele dag, maar als de tijdsduur van 9.192.631.770 perioden van de straling overeenkomend met de overgang tussen de twee hyperfijnniveaus van de grondtoestand van het atoom cesium 133, in rust bij een temperatuur van 0 K. Ongelooflijk eigenlijk want Pythagoras had 500 jaar vóór Christus al een vermoeden had dat tijdsmeting te maken had met trillingen. Deze atoomtijd loopt niet gelijk met UT en daarom werd UTC ingevoerd. Het internationale letterwoord UTC is een compromis tussen het Franse TUC ('Temps Universel Coordonné') en het Engelse CUT ('Coor-



De maancyclus was voor onze voorouder een indicatie van het voortschrijden van de tijd.



Volgens Einstein kon er niets sneller dan het licht reizen, maar het bestaan van tachyonen spreekt dit tegen.

inated Universal Time'). UTC is dus zelf geen afkorting. De UTC wordt regelmatig gecorrigeerd om binnen een seconde verschil met UT1 te houden. UTC en de atoomtijd lopen dus steeds verder uit elkaar. Inmiddels is het technisch mogelijk de klokken wereldwijd tot op minimale fracties van een seconde gelijk te laten lopen. Het 'Global Positioning System' (GPS) werkt op basis van looptijdmeting en kent een nauwkeurigheid in de orde grootte van enige tientallen nanoseconden. Voor internet en andere computernetwerken is er het 'Network Time Protocol' waarmee de klokken van de computers gelijk gezet worden.

Waar stopt onze behoefte aan precisie?

Waarschijnlijk vind je een atoomklok het summum van tijdsmeting, maar voor sommige geleerden is dit nog te ruw. Vergeten we niet dat de snelheid van licht meer dan 300.000 km/s bedraagt. Op 1/1000ste van een seconde legt het licht toch nog altijd 360 km af. De mens is op zoek naar nog kleinere bouwstenen van de kosmos. Daarom bouwde de Europeanen in het

CERN, dicht bij Genève in Zwitserland, een ondergrondse cirkelvormige tunnel van 27 km – de LHC (Large Hadron Collider) deeltjesversneller. In deze stalen cirkel staan supergeleidende elektromagneten die atomen versnellen tot bijna de snelheid van het licht (360.000 km/s). Als die atomen botsen 'breken' ze in deeltjes. Bij het fotograferen, op het ogenblik van de botsing, worden deeltjes zoals muons op gevoelige plaat vastgelegd.

Deze muons 'leven' maar twee miljoenste van een seconde. Ze komen echter ook voor in onze atmosfeer. Blijven ze langer in de kosmos bestaan door te reizen aan lichtsnelheid? Bij het beschieten van atoomkernen ontstaan er andere exotische deeltjes die maar een miljoenste van een miljardste van een miljardste seconde bestaan. Waar staat de mens met zijn kleinste tijdsmeting van 1 nanoseconde (10⁻⁹ van een seconde) tegenover een leeftijd van die deeltjes van 1 yoctoseconde (10⁻²⁴ van een seconde)? Neutrino's afkomstig van exploderende sterren stevenen met lichtsnelheid op onze aardbol af en kunnen ons, ondanks hun

beperkte levensverwachting, toch bereiken. Einstein verklaarde dit door de relativiteit van 'tijd'. Hij beweerde echter dat niets sneller dan het licht kon reizen, maar het bestaan van tachyonen (hypothetische deeltjes die bewegen met een snelheid groter dan de lichtsnelheid) zou dit dan weer (kunnen) tegenspreken. Wist zelfs deze geleerde niet wat 'tijd' echt is?

epiloog

Mijn duikcomputer piept en vertelt me zo dat mijn tijd om is. Of begint die nu pas?

JOS HOLLENFELTZ

