Warum MÜSSEN wir sterben – Richard Feynman

Je zult sterven, niet omdat er iets mis is gegaan, niet omdat de geneeskunde nog geen geneesmiddel heeft gevonden, en niet door pech, slechte genen of slechte beslissingen.

Je zult sterven door natuurkunde.

Daar wil ik het over hebben.

De dood is geen medisch falen.

De dood is een fysieke onvermijdelijkheid, die vanaf het allereerste begin op atomair niveau in je structuur is vastgelegd.

Wat me echt fascineert, is dat de meeste mensen de vraag verkeerd om stellen.

Waarom sterven mensen?

Dit is de simpele vraag, maar tegelijkertijd ook de moeilijke vraag die onze aandacht verdient.

Hoe komt het dat iets zo lang in leven kan blijven?

Dat is het echte mysterie.

En het is echt een leuke puzzel.

Laat me beginnen met iets vreemds over jou.

Je bent niet meer dezelfde persoon als zeven jaar geleden.

Dat bedoel ik niet in filosofische zin.

Ik bedoel dat volkomen letterlijk.

De meeste atomen die zich nu in je lichaam bevinden, waren er zeven jaar geleden nog niet.

Ze werden omgeruild, vervangen.

Ze bereikten je via voedsel, water en lucht uit je omgeving.

Je skelet vernieuwt zich voortdurend en je huid wordt elke paar weken vernieuwd.

De eiwitten in je lever blijven maar een paar dagen goed voordat ze worden afgebroken en opnieuw aangemaakt.

Zelfs de neuronen die je je hele leven vergezellen, veranderen voortdurend hun moleculaire structuur.

Wat ben je dan precies?

Jij bent geen object, jij bent een proces.

Denk aan de vlam van een kaars.

De vlam is geen materie; ze bevat geen vaste atomen.

De atomen die momenteel in de vlam verbranden, verdwijnen binnen enkele seconden.

Ze combineren met zuurstof en verlaten de vlam als koolstofdioxide en waterdamp.

Wat je ziet is een patroon dat in stand wordt gehouden door constante brandstof, constante warmte en constante chemische processen.

Een formulier.

Dat is precies wie je bent.

Het is bij jou veel complexer, maar het principe blijft hetzelfde.

Jij bent een zelfonderhoudend patroon.

En zodra deze rechtopstaande houding verdwijnt, stopt het proces niet.

Hij gaat niet slapen, hij eindigt ermee.

Het patroon valt uiteen, de atomen verspreiden zich en het proces komt tot een einde.

De dood is niet het ophouden van het lichaam.

De dood betekent het einde van het onderhoud.

Wat kost het nu eigenlijk om in leven te blijven?

Veel meer dan je waarschijnlijk denkt.

Terwijl je naar deze regels luistert, is geen enkele cel in je lichaam in rust.

Ze zijn allemaal aan het werk.

Eiwitten vouwen zich op, worden gecontroleerd en vouwen zich vervolgens opnieuw op.

Het DNA wordt onderzocht op beschadigingen en hersteld.

Celmembranen worden hersteld, afvalstoffen worden gedetecteerd en verwijderd, en chemische signalen worden verzonden, ontvangen en geïnterpreteerd binnen milliseconden.

Dit alles vereist een constante energietoevoer.

En dit alles is noodzakelijk omdat alles voortdurend aan het vergaan is.

Eiwitten vouwen zich spontaan verkeerd op.

Dat doen ze wanneer ze door thermische energie worden bewogen.

DNA raakt beschadigd door straling, kopieerfouten of willekeurige chemische reacties in de cel.

De celmembranen zijn beschadigd.

De interne orde die het leven überhaupt mogelijk maakt, neigt voortdurend naar wanorde, precies zoals voorspeld door de tweede wet van de thermodynamica.

Het leven is geen stabiele toestand.

Het leven is een actieve en kostbare reparatieoperatie die nooit eindigt.

Het beeld dat steeds weer in mijn hoofd opkomt is: Stel je voor dat je in een huis woont dat constant aan het afbrokkelen is.

Het dak zakt door, de muren vertonen scheuren, de fundering erodeert elke dag, elk moment, en er is een reparatieteam dat non-stop werkt om alles te repareren in precies hetzelfde tempo als waarin het kapotgaat.

Zolang het team het werk blijft doen, oogt het huis van buitenaf solide en stabiel, maar van binnen is er een voortdurende strijd tussen verval en reparatie.

Je gaat niet dood als je wordt aangevallen.

Je zult sterven als de reparatiekosten te hoog oplopen.

En precies hierin schuilt een van de meest elegante en tegelijkertijd meest meedogenloze mechanismen van de biologie: wanneer je cellen zich delen – en ze delen zich triljoenen keren gedurende je leven – wordt het DNA gekopieerd.

Het volledige genoom, met zijn 3 miljard letters, zal worden geanalyseerd.

Het wordt letter voor letter gekopieerd, en dat gebeurt met buitengewone precisie.

De moleculaire machine die DNA kopieert, maakt ongeveer één fout per miljard gekopieerde letters.

Dit is vele malen beter dan alles wat mensen ooit hebben gemaakt.

Het is bijna perfect.

Maar juist dat "bijna" is het probleem.

Fouten stapelen zich op.

In het begin zijn het kleine foutjes.

Een verkeerde letter hier, een kleine verwijdering daar.

Maar na verloop van tijd stapelen de fouten zich op.

Mutaties hopen zich op in cellen die zich zeer vaak hebben gedeeld.

En daar bovenop zit nog een telomeer.

Telomeren zijn de beschermende kapjes aan de uiteinden van chromosomen.

Stel je ze voor als de kleine plastic stukjes aan de uiteinden van schoenveters die voorkomen dat ze rafelen.

Telkens wanneer een cel zich deelt, worden de telomeren een beetje korter.

Na voldoende celdelingen worden ze zo kort dat de cel zich niet langer veilig kan delen, stopt de celdeling of sterft af, of, en dit is het deel waar we bijzondere aandacht aan moeten besteden, komt de cel in een staat van senescentie terecht.

Deze oude cellen sterven niet af.

Ze zitten er gewoon maar wat ongebruikt bij en zenden ontstekingssignalen uit die het omliggende weefsel beschadigen.

Ze zijn net gepensioneerde werknemers die nooit het kantoor verlaten en voortdurend de hele gang van zaken verstoren.

Er bestaat geen besturingssysteem dat perfect genoeg is om voor altijd te blijven werken.

Dat laat de natuurkunde niet toe.

Informatie veroudert.

Kopieën van kopieën verliezen hun getrouwheid aan het origineel.

Dit is geen ontwerpfout.

Het is een gevolg van het werken in een universum waar de wanorde voortdurend toeneemt.

Nu wil ik iets aanstippen dat ik vanuit filosofisch oogpunt bijzonder interessant vind: evolutie is buitengewoon goed in één ding: het voortbrengen van levende wezens die overleven totdat ze zich kunnen voortplanten.

In dit opzicht is ze meedogenloos, nauwkeurig en onvermoeibaar.

Maar na de voortplanting, nadat de genen zijn doorgegeven aan de volgende generatie, verliest de natuurlijke selectie vrijwel volledig haar interesse in jou.

Denk er eens over na.

Als je op 30-jarige leeftijd, voordat je kinderen hebt gekregen, drager bent van een gen dat ernstige problemen veroorzaakt, zal dat gen snel uit de populatie verdwijnen.

Het individu dat drager is, plant zich niet voort; selectie elimineert het snel.

Als je echter drager bent van een gen dat op 70-jarige leeftijd problemen veroorzaakt, is dit gen, nadat je kinderen geboren en opgegroeid zijn en zelf kinderen hebben gekregen, vrijwel onzichtbaar voor natuurlijke selectie.

Het wordt nog steeds doorgegeven; het blijft in de bevolking aanwezig.

De evolutie-eenheid kan het niet zien.

Daar bestaat een naam voor in de biologie.

De toestand waarin genen je in je jeugd helpen, maar je op latere leeftijd schaden, en waarin selectie deze genen in je jeugd actief ondersteunt, zelfs als ze je later fataal zullen worden.

Je lichaam is niet gemaakt om eeuwig mee te gaan.

Als we dat woord al mogen gebruiken, dan is je lichaam gemaakt voor voortplanting.

Een lang leven is geen doel op zich, maar een prettig bijeffect.

Dit is geen pessimisme.

Dat is wat de gegevens aantonen.

In elke cel gebeurt iets dat, naar mijn mening, een van de meest onthullende compromissen in de biologie is.

Mitochondriën, de organellen die de energie produceren die alles draaiende houdt, zijn geen schone machines.

Tijdens de omzetting van voedingsstoffen in adenosinetrifosfaat, de energiebron van de cel, komen er als onvermijdelijk bijproduct reactieve zuurstofmoleculen vrij.

Deze moleculen zijn chemisch agressief.

Ze vallen eiwitten aan, beschadigen celmembranen en knippen DNA-strengen door.

Hetzelfde proces dat je de energie geeft om te leven, verteert je langzaam van binnenuit.

En dat is precies waar ik wil dat je over nadenkt.

Je kunt geen energie hebben zonder schade aan te richten.

Het is niet zo dat de evolutie niet genoeg tijd heeft gehad om dit probleem op te lossen.

Hiervoor bestaat geen oplossing.

Dat is scheikunde.

De winning van energie uit organische moleculen leidt onvermijdelijk tot oxidatieve schade.

Mitochondriën beschikken over hun eigen reparatiesystemen.

Cellen beschikken over antioxidantmechanismen.

Het lichaam probeert de schade te beperken, maar kan deze niet volledig ongedaan maken.

Hij zal het nooit helemaal kunnen.

Het is alsof je in een huis woont dat een kachel nodig heeft om de winter door te komen, terwijl die kachel langzaam koolmonoxide lekt.

Je kunt detectoren installeren, je kunt de ventilatie verbeteren, je kunt de oven verbeteren, maar je kunt geen warmte hebben zonder de bijproducten van de verbranding.

Zo werkt verbranding.

Uiteindelijk veroorzaakt het leven zelf de schade die tot het einde van het leven leidt.

Dit is geen ironie; het is een direct chemisch gevolg.

Je lichaam profiteert daar tientallen jaren van.

De reparatiesystemen houden gelijke tred met de snelheid.

Beschadigd DNA wordt hersteld of de aangetaste cel wordt volledig verwijderd.

Verkeerd gevouwen eiwitten worden afgebroken en gerecycled.

Niet-functionele mitochondriën worden afgebroken en vernieuwd.

Schade stapelt zich op, maar langzaam, en de reparatiemechanismen blijven op de voet volgen.

En dan verandert er iets.

De reparatiesystemen beginnen in te storten.

Dit is het aspect waar de meeste mensen niet aan denken.

Reparatiesystemen bestaan uit eiwitten.

De enzymen die DNA repareren, zijn eiwitten.

De moleculaire machines die verkeerd gevouwen eiwitten herkennen en afbreken, zijn eiwitten zelf.

De systemen die niet-functionele mitochondriën elimineren, bestaan uit eiwitten, en eiwitten breken af.

Daardoor beginnen de reparateurs zelf reparaties nodig te hebben.

En de systemen die de reparateurs repareren, beginnen zelf ook reparaties nodig te hebben.

En uiteindelijk bereik je een punt waarop er niemand meer over is die de reparateurs kan repareren.

Dit is geen metafoor, dit is veroudering op moleculair niveau, een opeenvolging van falende onderhoudssystemen.

Elk van deze factoren verzwakt het onderliggende systeem totdat de gehele operatie zichzelf niet langer in stand kan houden.

Het huis stort niet in omdat er ook maar één ding kapotgaat.

Het huis stort in omdat het reparatieteam zelf ook op leeftijd is.

Hier wil ik eerlijk zijn over de dingen die we nog niet weten.

We begrijpen de mechanismen van veroudering tegenwoordig beter dan ooit tevoren in de geschiedenis.

Telomeerverkorting, de ophoping van verouderde cellen.

Mitochondriale schade is het tijdelijke verlies van precieze patronen van chemische merkers op het DNA die de genexpressie reguleren.

Eiwitophopingen.

Chronische ontsteking.

Dit zijn reële, meetbare en goed gedocumenteerde processen.

Maar we hebben nog steeds geen complete theorie over waarom het verouderingsproces precies zo verloopt als het verloopt.

Waarom leven mensen gemiddeld zo'n 80 jaar en niet 800?

Waarom veroudert een muis binnen twee jaar, terwijl een Groenlandse haai 500 jaar oud kan worden?

Waarom vertoont een naakte molrat, zo klein als een duim, na meer dan 30 jaar nauwelijks tekenen van veroudering en ontwikkelt hij zelden kanker?

We weten het niet zeker.

Sommige onderzoekers geloven dat veroudering eigenlijk een geprogrammeerd proces is, een biologische klok die zich in de loop van de evolutie heeft ontwikkeld, omdat een snelle generatiewisseling voordelig kan zijn voor een soort die zich aanpast aan zijn omgeving.

Anderen zijn van mening dat het zonder enig programma simpelweg een verzameling schades is.

Een langzame toename van de entropie.

Het eerlijke antwoord.

De grens tussen de fysieke onvermijdelijkheid van veroudering en een specifiek biologisch programma dat in principe zou kunnen worden gewijzigd, is nog steeds onduidelijk.

We zijn dichter bij begrip dan ooit tevoren, maar we zijn er nog niet.

En ik denk dat het belangrijk is om dat openlijk te zeggen, want in de wetenschap is het net zo belangrijk om te weten waar je begrip ophoudt als om te weten wat je hebt begrepen.

Daarom wil ik dit nu persoonlijk op u toepassen.

Je bent geen permanent object dat op een dag zomaar stopt met bewegen.

Jij bent een tijdelijk proces dat elke seconde van je leven aan het werk is.

Triljoenen reparatieprocessen draaien gelijktijdig en met succes.

Triljoenen moleculaire machines zijn aan het werk.

Triljoenen kleine gevechten tegen wanorde worden gewonnen.

En het feit dat deze coördinatie niet slechts een dag of een jaar, maar decennialang wordt volgehouden, is, als je erover nadenkt, eigenlijk buitengewoon.

Je huidige bestaan is het resultaat van een ononderbroken reeks succesvol onderhoud die je hele leven lang heeft geduurd.

Elke celdeling die 's nachts tijdens je slaap correct plaatsvindt, elke DNA-reparatie die een fout tijdig opspoort, dit alles gebeurt al continu sinds vóór je geboorte.

De dood is niet het vreemde eraan.

Jij bent het.

Het universum gaat ervan uit dat wanorde de normale toestand is.

Sterren doven uit, rotsen verweren, moleculen vallen uiteen.

De overheersende trend in alles is gericht op eenvoud, balans en de afwezigheid van patronen.

En toch ben je hier.

Jij bent een complex patroon dat in staat is terug te kijken naar het universum, de wetten te begrijpen die het ontleden in zijn componenten, en iets aan te voelen over het feit dat je tijdelijk bent.

Dit is niet leeg.

Het is iets wat bijna ongelooflijk onwaarschijnlijk is.

Ik denk erover na en ik voel geen wanhoop.

Ik voel iets dat grenst aan verwondering.

Het feit dat, ondanks alle thermodynamische wetten van het universum die complexiteit tegenspreken, materie is getransformeerd tot iets dat zich afvraagt waarom het aan het sterven is.

Dat is het grootste mysterie hier.

Niet de dood, maar het leven.

De dood is nu eenmaal wat de natuurkunde moet doen.

Wat uitleg behoeft, is het leven.

En voor zover ik kan zien, hebben we het nog steeds niet volledig uitgelegd.

Vrienden, bedankt voor het lezen.