

Vi ved i dag, at Jorden blev dannet for ca. 4,6 milliarder år siden, og at den har eksisteret næsten lige så længe som Solen. Vi ved også, at den eneste måde at skaffe os pålidelig viden om Jordens alder er gennem naturvidenskabelige teorier og eksperimenter.¹ Tidligere var det langt fra klart, at spørgsmålet hørte under naturvidenskabens domæne, at det kunne besvares på et rent naturalistisk grundlag, dvs. uden brug af overnaturlige forklaringer. Gennem 1600-tallet og det meste af 1700-tallet var der tværtimod enighed om, at spørgsmålet kun kunne besvares ud fra bibelkronologiske studier. Ganske vist nævner Bibelen intet steds Jordens (eller verdens) alder, men bibelstudier viste, at Gud måtte have skabt Jorden omkring 4.000 år f.Kr. En tidsskala af denne størrelsesorden blev alment accepteret, også af geologiske pionerer som Niels Stensen (Steno) og Robert Hooke. Eksperterne var uenige om den præcise alder, men ikke om metode og størrelsesorden. I England blev den autoriserede skabelse af Jorden henlagt til lørdag aften, den 22. oktober 4004 f.Kr., hvilken værdi tillagdes den lærde biskop James Ussher. Den københavnske astronomiprofessor Villum Lange konkluderede i 1649, at Jorden var skabt mandag den 30. april 4042 f.Kr., mens Keplers foretrukne alder var 3983 f.Kr. Der var således i det store og hele konsensus. Jordens alder hørte til studiet af Bibelen, ikke til studiet af naturen.²

Et af de første forsøg på en videnskabelig, ikke-bibelsk tilgang til spørgsmålet skyldtes den franske diplomat Benoît de Maillet, der omkring 1720 forfattede et værk om emnet, som dog først blev udgivet posthumt i 1748. De Maillet mente, at Jorden engang havde været helt dækket af vand, hvilket i tiden var en almindelig anerkendt hypotese med støtte i de mange marine fossiler, der fandtes i bjergenes klippelag. For at vurdere, hvor lang tid det havde taget for urhavet at sænke sig til sit nuværende niveau, brugte han hydrografiske data over vandstandssænkningen gennem 75 år. Disse gav ham en værdi på ca. 0,08 cm per år. Ved at estimere hvor meget vand der var fordampet til rummet, sluttede han herfra, at havet måtte have sænket sig i omtrent 2 milliarder år (2 Gy), og at Jorden altså måtte være mindst lige så gammel. De Maillets ræsonnement var naturligvis primitivt og hasarderet, men det var i sin tilgang videnskabeligt, nemlig baseret på målinger og hypoteser om Jordens fortid.

Den næste, der tog sagen op, var en anden franskmænd, naturhistorikeren og polyhistoren Georges-Louis Leclerc, bedre kendt under sit adelige navn Buffon. Ligesom de Maillet valgte han at se bort fra Bibelen, men hans udgangspunkt var iøvrigt anderledes. Buffon antog, at Jorden var blevet dannet

som en glødende masse, var størknet og med tiden afkølet for foreløbig at være endt med sin nuværende overfladetemperatur på ca. 20 °C. Denne temperatur mente han var et residuum fra den glødende fortid, mens solstrålingen kun spillede en ubetydelig rolle i energiregnskabet. Videre mente han, at Jorden ville fortsætte med at afkøles fra sin nuværende temperatur, og at den derfor engang i fremtiden ville blive ubeboelig for mennesker, dyr og planter. Efter hans opfattelse var Jordens historie underlagt en tidspil, svarende til en vedvarende afkøling. I modsætning til den senere uniformitarisme, der fra 1830'erne ville beherske geologien, var der tale om en »direktionalistisk« teori.

Buffon lavede gennem flere år en række systematiske modelforsøg med jernkugler, som han opvarmede til næsten smeltepunktet. Ved at bruge kugler med forskellig radius fandt han en grov sammenhæng mellem radius og køletid, som han så ekstrapolerede til Jordens radius. Han beregnede, at en hvidglødende jernkugle på størrelse med Jorden ville afkøle til dens nuværende temperatur på 96.670 år og 132 døgn (usikkerhedsberegninger hørte endnu fremtiden til). Derefter lavede han lignende forsøg med kugler af andre materialer, der havde mere lighed med jordskorpen, bl.a. glas, sand, kalk og marmor. Med sådanne kugler reviderede han sin værdi til 74.047 år. Endelig udførte han omstændelige beregninger for at afgøre solstrålingens rolle, for blot at konkludere, at virkningen kun svarede til ekstra 785 år. Hans slutresultat for Jordens afkølingstid, som han i 1778 publicerede i *Époques de la nature*, var således 74.832 år.

I dag forekommer 75.000 år os som en latterlig lav alder, men værdien skal ses i forhold til den autoriserede på ca. 5.800 år. Buffons arbejder vakte da også vrede blandt teologerne, men han undgik at få sit værk censureret efter at have forsikret om sin tillid til Bibelens sandhed. Buffons værdi afhang uundgåeligt af en lang række simplifikationer og ret vilkårlige antagelser, men i sin systematiske og eksperimentelle tilgang udtrykte hans arbejde en videnskabeliggørelse af et spørgsmål, der endnu blev anset for at høre under kirkenes område.

I første halvdel af 1800-tallet gennemløb geologien en voldsom udvikling. Den blev snart baseret på Charles Lyells uniformitaristiske princip, efter hvilket fortidens geologiske processer måtte være de samme som dem, der iagttages i dag (se videre i afsnit III.6). Resultatet blev en udviklingshistorie for jordskorpen, der krævede oceaner af tid, efter datidens målestok nærmest en uendelig varighed. En absolut alder for Jorden kunne ikke fastlægges ud fra geologiske data alene, men geologer og darwinistiske naturhistorikere havde brug for en tidsskala på mindst 100 My (millioner år). I sin *Origin of Species* fra 1858 vurderede Darwin, at det havde taget havet ca. 300 My at udgrave

en bestemt dal i England. Den lange geologiske tidsskala blev i 1860'erne modsagt af Lord Kelvin (William Thomson), der opfattede Jordens alder som et rent fysisk problem. Ligesom Buffon antog han, at Jorden var startet som en glødemasse. Den inderste del af Jorden havde ifl. Kelvins teori stadig den oprindelige temperatur, og det var varmeledning fra kernen, der sørgede for, at jordskorpens temperatur kun aftog langsomt.

I modsætning til Buffon havde Kelvin den nye termodynamik til sin rådighed. Han var selv en af termodynamikkens pionerer, og han var ekspert i Fouriers teori for varmeledning, hvorfor han var i stand til at beregne, hvordan varmen forplantede sig i et fast kugleformet legeme med en bestemt varmeledningskoefficient. Ud fra datidens meget usikre målinger af temperaturens stigning med dybden estimerede han i 1862 en temperaturgradient på ca. 1 °F per 50 fod, eller ca. 3,7 °C per 100 m. Med en værdi for basalts smeltepunkt på mellem 7.000 og 10.000 °F (ca. 3.900 og 5.600 °C) kunne han så regne ud, at den oprindelige størkning havde fundet sted for mellem 20 My og 400 My siden. I sine senere arbejder om emnet reviderede han nogle af sine data, bl.a. brugte han en meget lavere værdi for basalts smeltepunkt, hvilket førte til en forskydning mod den lave grænse. I 1899 konkluderede han, at størkningen var indtrådt for »mere end 20 og mindre end 40 millioner år siden, og formentlig nærmere 20 end 40.«

Kelvins værdier var baseret på matematisk-fysiske beregninger af en frygtindgydende kompleksitet. Geologer og naturhistorikere kunne kun se til fra sidelinjen, da de ikke havde kompetence til at forstå og kritisere beregningerne. På grund af deres fundament i den eksakte fysik, og også på grund af Kelvins personlige autoritet som måske datidens største fysiker, opnåede hans estimat en meget høj epistemisk autoritet. Geologerne kunne ikke bruge en alder på 20-30 My, men de var ikke i stand til at kritisere Kelvins teori ud over at fremhæve, at beregningerne hang på en række forudsætninger, der kunne betvivles. En af disse forudsætninger var antagelsen om, at Jorden var startet som en varm smeltet masse. Som den amerikanske astronom og geolog Thomas Chamberlin gjorde opmærksom på, var dette trods alt kun en hypotese. Der var andre muligheder for et startscenario, og i så fald ville Kelvins beregninger være helt værdiløse.³ En anden kritik blev rejst af naturhistorikeren Thomas Huxley – kendt som »Darwins bulldog« – der i 1869 gjorde opmærksom på den metodologisk vigtige pointe, at resultatet af matematiske beregninger afhænger af de størrelser, man indsætter i ligningerne: »Matematikken kan sammenlignes med en fremragende lavet kornmølle, der maler materiale af

enhver finhedsgrad; ikke desto mindre, hvad man får ud af den, afhænger af hvad man kommer ind i den. Ligesom selv den bedste mølle i verden ikke kan udvinde hvedemel fra ærtebælg, sådan kan mange sider af formler ikke resultere i et sikkert resultat, hvis de indgående data er tvivlsomme.«⁴

I sin oprindelige artikel fra 1862 havde Kelvin været fornuftig nok til at tilføje, at hans konklusion om Jordens alder var baseret på den forudsætning, at der ikke i Jorden var energikilder, som endnu var ukendte. I sine senere arbejder glemte han forudsætningen og præsenterede sine konklusioner som mere sikre, end de var. Det er historiens ironi, at i 1899, da Kelvin publicerede sin lave og »autoritative« aldersværdi, var en ny energikilde netop blevet opdaget i form af radioaktiviteten. Denne opdagelse førte for første gang til pålidelige metoder til en bestemmelse af Jordens alder. Metoderne resulterede i værdier, der ikke blot var langt større end Kelvins, men også større end de geologisk baserede aldre.

Opdagelsen af radioaktivitet førte også til en ændret opfattelse af Jordens energiregnskab, der helt kuldcastede de grundantagelser, Buffon og Kelvin havde gjort. Jorden er ikke dannet som en glohed smeltet masse, der siden gradvis er blevet koldere. Faktisk afkøles Jorden næsten ikke, idet så at sige intet af den varmeenergi, der oprindeligt blev oplagret, er gået tabt. Hovedparten af Jordens varme stammer ikke fra varmeledning fra den indre Jord, som Kelvin troede, men fra radioaktive stoffers nedbrydning i jordskorpen, især uran, thorium og kalium (K-40 er β -radioaktiv med en halveringstid på ca. 1,3 Gy). Udtrykt i et noget mere dramatisk perspektiv: Hvis jordskorpen ikke var radioaktiv, ville vi ikke eksistere!

I starten af det 20. århundrede havde geologer udviklet to metoder til fastlæggelse af Jordens tidsskala. I den ene målte man tykkelsen af geologiske sedimentationslag og sammenholdt den med den observerede hastighed for udfældelse af sedimenter. I den anden målte man natriumindholdet i verdenshavene og sammenholdt det med den hastighed, floderne i dag skyller natrium ud i havene (se også afsnit III.7). Begge metoder gav ved simpel ekstrapolation tidsskalaer af størrelsesordenen 100 My, hvilket omkring 1910 var geologernes foretrukne værdi. Mens Kelvins tidligere fysiske værdi var alt for lille, var den nye fysiske tidsskala, baseret på radioaktivt henfald, alt for stor. For en tid følte geologerne sig frustrerede over at være tvunget til at blive belært af fysikerne på et område, de betragtede som deres eget.

Den irske geolog John Joly, der havde udviklet natriummetoden, havde så stor tillid til den, at han i 1911 konkluderede, at de radioaktive metoder måtte lide af grundlæggende fejl. Hans forslag var drastisk – nærmest desperat – idet

han antog, at henfaldskonstanten for uran havde aftaget med den geologiske æra, altså var større i fortiden. I så fald ville aldersværdier baseret på nuværende konstanter være for høje, måske alt for høje. Jolys hypotese var udpræget *ad hoc*, da den ikke havde støtte i uafhængig evidens. Den blev da heller ikke taget alvorligt. Tilsvarende hypoteser er senere blevet genoplivet ved enkelte lejligheder, men uden at de er blevet fundet troværdige eller har ført til fornuftige resultater.

Radiometriske metoder bygger på, at radioaktive stoffer henfalder spontant efter

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t) = N_0 \exp(-t/T) = N_0 \exp(-\ln 2 t/T_{1/2}),$$

hvor λ er henfaldskonstanten, T middellevetiden og $T_{1/2}$ halveringstiden; N_0 er antallet af atomer til $t = 0$. De tidligste metoder bestod i at måle enten blyindholdet i uranholdige mineraler eller deres mængde af indesluttet helium (dannet fra α -partikler). Sidstnævnte metode kunne kun resultere i en grov mindstealder, da en væsentlig del af helium kunne være undsluppet mineralet. For begge metoder gjaldt, at de var behæftet med store usikkerheder. Alligevel gav de nogenlunde sikre indikationer af, at de ældste mineraler havde en alder på mellem 1,5 og 2 Gy (milliarder år). Opdagelsen omkring 1914 af at grundstoffer er blandinger af isotoper førte til en meget bedre forståelse af radioaktive henfaldskæder og derfor også til bedre metoder til aldersbestemmelse af Jorden.

Princippet i isotopmetoderne kan illustreres med de to uranisotoper U-238 og U-235, der i dag findes i naturligt uran i forholdet hhv. 99,3% og 0,7%. Levetiden for isotoperne er $T_{238} = 6,5$ Gy og $T_{235} = 1$ Gy. Ved Jordens dannelse må der derfor have været relativt mere U-235 end U-238. Hvis vi vilkårligt antager, at der oprindeligt var lige meget af de to isotoper (N_0), har vi

$$N_{238} = N_0 \exp(-t/T_{238}) \quad \text{og} \quad N_{235} = N_0 \exp(-t/T_{235})$$

Det nuværende forhold af U-235 er 0,7%, dvs.

$$0,007 = \frac{N_{235}}{N_{235} + N_{238}} \cong \frac{N_{235}}{N_{238}} = \exp(-0,83t),$$

hvoraf findes $t = \text{ca. } 6$ Gy. Værdien kan dog ikke tages alvorligt, da den afhænger af antagelsen om, at de to isotoper oprindeligt var i samme mængder. Der er blot tale om et regnecksempel.

I 1930'erne blev de radiometriske metoder stærkt forbedret med erkendelsen af, at blyisotoperne Pb-206 og Pb-207 stammer fra hhv. U-238 og U-235, mens isotopen Pb-208 er slutproduktet i thoriums henfaldsrække. Derimod er isotopen Pb-204 ikke »radiogenisk«, men stammer fra den oprindelige Jord. Ved hjælp af massespektrometriske målinger af blyisotoper i mineralisk og meteoritisk bly udviklede Alfred Nier i slutningen af 1930'erne metoder til aldersbestemmelse, der undgik den tilfældige antagelse om $N_{238} = N_{235}$ ved starten af Jordens historie. Det mest oprindelige bly ville være det, der havde den største mængde af det ikke-radiogeniske Pb-204. Blandt de prøver, Nier og hans medarbejdere analyserede, fandt de det højeste indhold af Pb-204 i et grønlandsk mineral, hvis sammensætning af blyisotoper de bestemte til

$$N_{204} : N_{206} : N_{207} : N_{208} = 1 : 14,54 : 14,60 : 34,45$$

Ved at antage at dette forhold var det oprindelige, kunne de bestemme mineralets alder til ca. 2,5 Gy.

Metoden blev yderligere udviklet efter 2. verdenskrig af især englænderen Arthur Holmes og tyskeren Fritz Houtermans. Forskellige mineraler har i dag forskelligt forhold af Pb-207 og Pb-206, hvilket skyldes, at de ved dannelsen bestod af forskellige blandinger af oprindeligt og radiogenisk bly. Lad $t = 0$ være tiden for Jordens dannelse og t_m tiden for dannelsen af jordskorpens mineraler; nutiden er givet ved t_0 ($>> t_m$). Der gælder da

$$\frac{N_{207} - N_{207}^0}{N_{206} - N_{206}^0} = \frac{N_{238} [\exp(t_0 / T_{235}) - \exp(t_m / T_{235})]}{N_{235} [\exp(t_0 / T_{238}) - \exp(t_m / T_{238})]},$$

hvor N^0 betegner oprindelige mængder af bly. Geologiske prøver med samme alder t_m , men med forskelligt forhold af oprindeligt og radiogenisk bly, vil indeholde forskellige forhold af de to blyisotoper 206 og 207. Størrelsen på højre side i ligningen vil være den samme, K. Vi har da

$$N_{207} = K N_{206} - K N_{206}^0 + N_{207}^0$$

N_{207} plottet mod N_{206} vil altså give en ret linje, en sk. *isokron* (jf. figur 1).⁵ Er t_m kendt geologisk, kan man ud fra N_{238}/N_{235} og isokronens hældningskoefficient K finde t_0 . Metoden førte i 1946 uafhængigt af hinanden Holmes og Houtermans til en alder for Jorden på $2,9 \pm 0,3$ Gy, der kort efter blev revideret opad med ca. 0,4 Gy.

I starten af 1950'erne fik man højere og mere præcise værdier ved at undersøge meteoritter, der viste sig at have et mindre indhold af radiogenisk bly, f.eks.

$$N_{204}: N_{206}: N_{207}: N_{208} = 1: 9,4: 10,3: 29,2$$

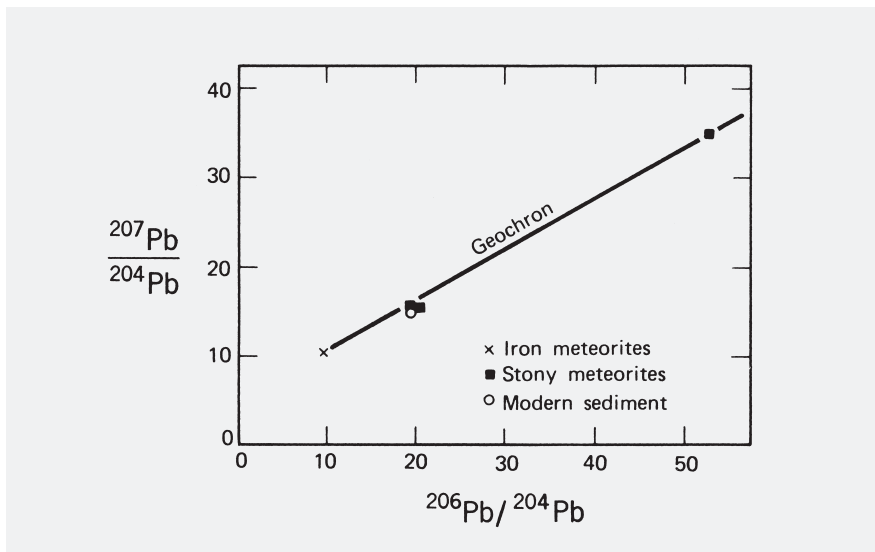
Man sluttede derfor, at disse meteoritprøver var mere oprindelige end mineraler fra jordskorpen. Den nye værdi for Jordens alder skyldtes især geokemikeren Clair Patterson, der i 1956 konkluderede, at

$$\text{Jordens alder} = (4,550 \pm 0,070) \text{ Gy}$$

Værdien var især baseret på målinger af Pb-207/Pb-206, men uafhængige målinger baseret på andre metoder (kalium-argon og strontium-rubidium) gav konsistente resultater. I det halve århundrede, der er forløbet siden, er denne værdi igen og igen blevet konfirmeret. Geovidenskaberne har i perioden været igennem drastiske ændringer (den pladetektoniske revolution, jf. afsnit IV.6), men uden at de har påvirket værdien for Jordens alder. Stabiliseringen gør det rimeligt at slutte, at Jorden *faktisk* blev dannet for ca. 4,55 Gy siden.

Hermed ikke sagt, at resultatet er hævet over *enhver* tvivl, men nok at det er hævet over *enhver rimelig* tvivl. Som alle andre videnskabelige resultater, afhænger det af visse forudsætninger. Det er muligt at tvivle om disse forudsætninger, og man kan ændre på dem, så der opnås meget mindre værdier for Jordens alder. Som nævnt kan man forestille sig, at henfaldskonstanterne har ændret sig i tiden, at $\lambda = \lambda(t)$. En sådan drastisk hypotese må imidlertid være *berettiget* ud over at føre til en mindre værdi for Jordens alder. Hvis dette ikke er tilfældet, vil der være tale om en *ad hoc*-hypotese. I forsøget på at hævde den bibelske kronologi har man inden for »kreationistisk videnskab« netop forsøgt sig med sådanne strategier (jf. afsnit V.6). Den slags forsøg kan have en vis filosofisk og sociologisk interesse, men de bliver ikke taget alvorligt af hverken fysikere eller geologer.

Det her undersøgte problem illustrerer bl.a., at det ikke på forhånd er klart, hvornår noget hører til *naturvidenskabens domæne*, dvs. kan afgøres via videnskabelige metoder. I lang tid hørte spørgsmålet om Jordens alder til det teologiske område, og først i starten af 1800-tallet blev det »overført« til naturvidenskaben. Men til hvilken naturvidenskab? Spørgsmål og problemer hører ikke nødvendigvis sammen med inddelingen i videnskabelige discipliner,



Figur 1. Pattersons blyisokron for meteoritter, sammenlignet med data for oceanbunds-sediment. Ud fra isokronens hældning fås en alder på 4,54 Gy. Kilde: Faure 1986, s. 312.

der jo til dels er det noget tilfældige resultat af sociale processer og praktiske overvejelser. I dette tilfælde var der en langvarig strid mellem geologi og fysik om hvem der havde »ret« til området. Den slags faglige rivaliseringer er ikke usædvanlige i videnskabshistorien, og de kendes stadig. Et velkendt eksempel er kontroversen om kold fusion fra omkring 1990, som vi senere skal se på.

Kelvins svar på spørgsmålet om Jordens alder havde støtte i datidens højest udviklede videnskab, fysikken, og fik yderligere epistemisk autoritet af komplekse matematiske beregninger. Alligevel var svaret aldeles forkert. Episoden minder os om, at vi kan have stor og berettiget tillid til et videnskabeligt resultat, og dog kan det vise sig at være bygget på sand. Det er vigtigt at slå fast, at

- *al videnskab er fejlbarlig*

dvs. *kan* være forkert. Det betyder naturligvis ikke, at al videnskab dermed er fejlagtig! I almindelighed er der ingen sammenhæng mellem begrundelsen for et videnskabeligt udsagn og dets sandhedsværdi. Kelvins resultat var helt forkert,

men dog særdeles velbegrundet. Omvendt fandt de Maillet tidligere en værdi for Jordens alder af den rette størrelsesorden, men det var dårligt begrundet og baseret på vilkårlige forudsætninger, nærmest en tilfældig overensstemmelse.

Spørgsmålet om Jordens alder kan i dag forekomme at være et rent teknisk problem, der ikke har nogen etiske eller samfundsmæssige konsekvenser. Hvem andre end fysikere og geologer kan hidse sig op over, om Jorden har bestået i 4,6 Gy eller i måske blot 100 My? Men historien viser, at spørgsmålet engang blev tillagt stor etisk værdi på grund af dets kobling til den religiøse tradition. Der er stadig folk, der finder, at en alder på 4,6 Gy nærmest er en krænkelse af deres religiøse følelser. Der er endvidere en mere indirekte forbindelse mellem studier af Jordens alder og etisk-samfundsmæssige problemer, sådan som Pattersons karriere eksemplificerer.

Pattersons studier af blyisotopers forekomst i jordskorpen var rent grundvidenskabelige, men de førte ham og hans medarbejdere til at undersøge blyforbindelsers hyppighed i biosfæren og den dermed forbundne menneskeskabte forurening af miljøet. I en åbenhjertig og retrospektiv artikel fra 1994 skrev Patterson herom: »Opdagelsen af den blyforgiftede biosfære ændrede min videnskabelige tilgang til at spørge, hvorfor mennesker begik denne uhyggelige forbrydelse, og til at søge efter evidens om de faktorer i de historiske data, der fik dem til at handle på den måde.«⁶ Efter Pattersons mening var det nødvendigt med en ny form for videnskabelighed for at rette op på fortidens synder: »Jeg tror, at videnskabsmænd, der er interesserede i sager om den menneskelige bevidsthed, kan skabe udviklinger, der fører til fremskridt for [sådan] videnskabelig viden, der vil tillade folk at lave radikalt nye uddannelsesinstitutioner på grundlag af en sådan viden, der virkelig vil gavne menneskeheden.«

Den 72-årige Patterson mente ikke, at den eksisterende forskningsstruktur, præget som den er af konkurrencementalitet og *publish-or-perish*-filosofi, var egnet til hverken en nyorientering mod samfundsgavnlig videnskab eller til at skabe videnskabelig erkendelse af høj kvalitet. Her er hans pessimistiske vurdering af det moderne forskningssystem:

Kvaliteten og integriteten af nutidens formuleringer inden for den videnskabelige vidensmatrix er dalet betragteligt på alle videnskabelige områder, med en stærk positiv korrelation til den voldsomme vækst i kvantiteten af såkaldte videnskabelige publikationer. Udarbejdelse og publicering af videnskabelige artikler er blevet til en parodi på, hvad der tidligere var en værdifuld aktivitet. Forskere producerer nu dusinvis af artikler om året med deres navn påhæftet

forfatterkollektiver. Den videnskabeligt arbejdende hjerne kan ikke producere og publicere egentligt værdifuldt arbejde mere end en gang om året, eller en gang hvert andet år. De overdrevne publikationsrater korrelerer med et almindeligt forfald i videnskabelig kvalitet, både hvad angår indsats og produkt.⁷