

Inden jeg afslutter denne forelæsnung, vil jeg gerne påpege yderligere to interessante konsekvenser af ligning (12):

Hvis vi betragter et rum, der er jævnt fyldt med masser, som fx vores rum er fyldt med stjerner, galakser og hobe af galakser, må vi konkludere, at rummet – bortset fra store lokaliserede krumninger nær bestemte stjerner eller galakser – bør besidde en *samlet* krumning hidrørende fra den kombi- nerede effekt af alle masserne – en tendens til ensartet krumning over store afstande. Rent matematisk er der forskellige løsninger. Nogle af dem svarer til rum, der lukker i sig selv, og som derfor har et begrænset volumen, om- trent som en kugleoverflade. De andre svarer til et krumt rum, som dog ikke er krumt nok til at være lukket; i stedet er rummet af uendelig ud- strækning og har ingen grænser. Dets geometri svarer nogenlunde til den sadelflade, jeg omtalte i begyndelsen af denne forelæsnung.

En anden vigtig konsekvens af ligning (12) er, at sådanne krumme rum må være i en tilstand af jævn udvidelse eller kontraktion. Det betyder fy- sisk, at partiklerne (galaksehobene), som findes overalt i rummet, bør flygte fra hinanden eller nærme sig hinanden. Man kan desuden vise, at for et luk- ket rum med et begrænset volumen vil udvidelsesfasen blive fulgt af en kontraktionsfase (eventuelt med flere udvidelses- og kontraktionsfaser der- efter, sådan at vi bebor et oscillerende univers). Omvendt vil et uendeligt ekspanderende »sadelrum« fortsætte med at udvide sig for altid.

Spørgsmålet om, hvilken af disse forskellige matematiske muligheder der svarer det rum, hvori vi bor, er særdeles aktuelt i denne tid. Det kan kun besvares ved eksperimentel observation af fjerne galaksehobes bevægelse (herunder deres deceleration eller acceleration) eller ved at gøre status over al den tilstedeværende masse i universet. De seneste observationer tyder imidlertid på, at der ikke er den simple sammenhæng mellem universets masseindhold og dets rumlige og tidslige struktur, som man havde antaget tidligere. Vi anser det for sikkert, at vi lever i en ekspanderende fase, men målinger af fjerne supernovæers bevægelse synes at vise, at universets udvi- delse desuden foregår i et accelererende tempo – noget, der er uforeneligt med ideen om gravitationen som den eneste kosmisk betydningsfulde kraft. Spørgsmålet om universets geometriske struktur og dets skæbne er dermed langt fra afgjort.

## 5 Mr Tompkins besøger et lukket univers



Samme aften på strandhotellet kunne man finde professoren og hans datter fordybt i samtale. De talte løs om både kosmo- logi og kunst. Mr Tompkins lod efter bedste evne en bemærk- ning falde af og til, men de fleste gange var han tilfjeds med bare at se til og høre på. Han var fascineret af Maud; han havde aldrig mødt nogen som hun. Men som aftenen skred frem, blev han søvrig og bad sig undskyldt. Han gik op ad trappen og nåede frem til sit værelse, hvor han hurtigt tog sin pyjamas på og faldt sammen på sen- gen, hvor han trak tæppet op over sit hoved. Hans trætte hjerne var ganske konfus.

Mens han lå dér, var der en bestemt tanke, som hele tiden vendte tilbage til ham. Den slags kosmologi, som rigtig fascinerede ham, var et lukket uni- vers – af den slags, hvor man bevæger sig af sted direkte opad fra Nordpolen i en ret linje og ankommer til Sydpolen nedefra, efter at have været universet rundt. Det ville i hvert fald være et univers med et endeligt volumen (han kunne simpelt hen ikke begribe det uendelige volumen i et åbent univers). Vel, professoren syntes at have sine grunde til at tro, at stofætheden havde den kritiske værdi, sådan at man ikke kunne komme til at foretage denne sære slags rejse, og udvidelsen ville ikke blive afløst af en kontraktion og et mere mørkt stof derude, end de havde holdt rede på? Hvad hvis ...?

Disse tanker blev afbrudt, da han blev klar over, at han lå dårligt. Han havde den mærkelige fornemmelse, at i stedet for at ligge på en behagelig springmadras var han strakt ud på noget hårdt. Han trak tæpperne tilbage

og kikkede ud. Til hans forundring lå han på en stor sten under åben himmel. Hotellet var forsvundet!

Stenen var dækket med grønt mos, og enkelte steder voksede der små buske ud fra sprækker i stenen. Rummet over ham var oplyst af et eller andet glitrende lys, og var meget støvet. Faktisk var der mere støv i luften, end han nogensinde havde set, selv i film med støvstorme i det amerikanske Midtvesten. Han bandt sit lommestørklæde rundt om næsen for ikke at ind-

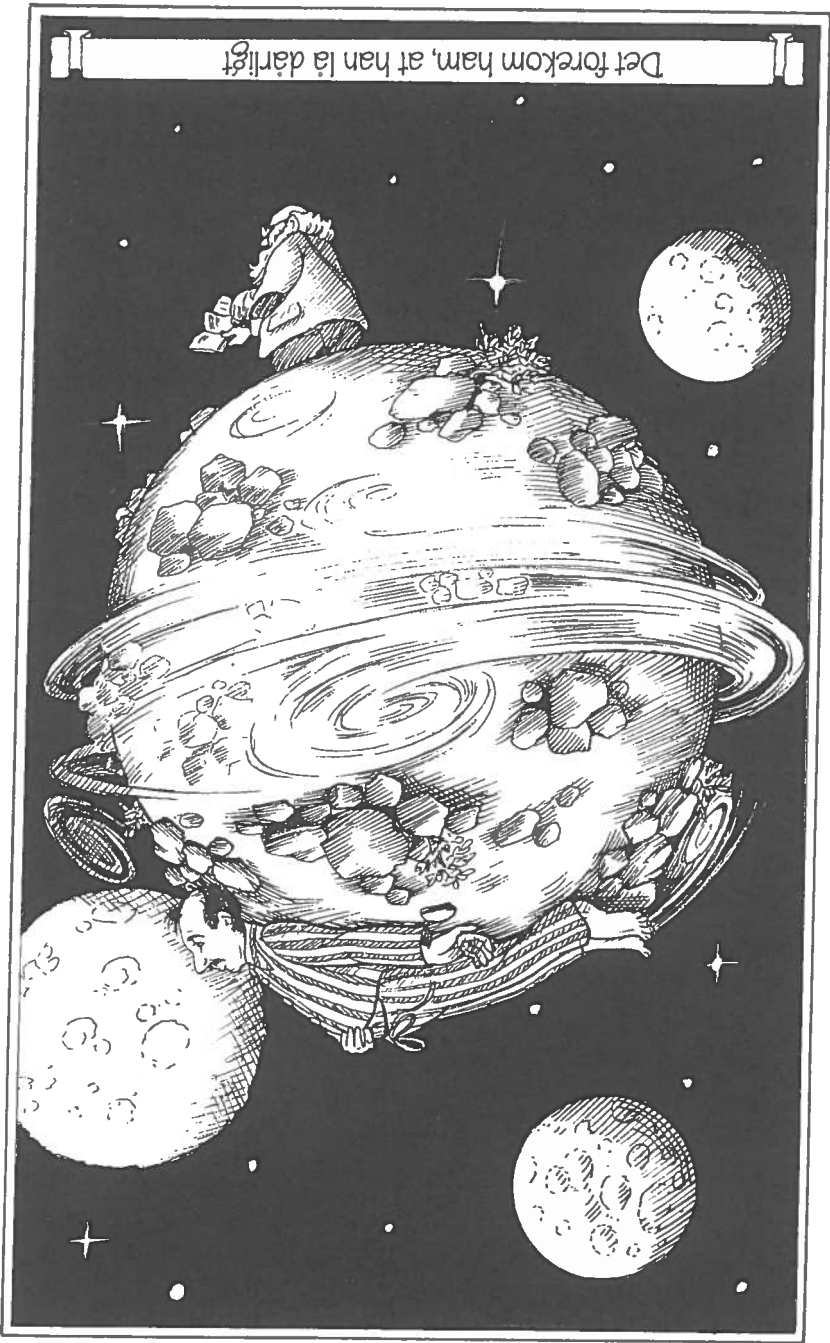
ånde støvet. Men der var farligere ting end støvet i det omgivende rum. Af og til kom der sten, på størrelse med hans hoved og derover, susende gennem rummet og ramte jorden omkring ham. Han bemærkede også et eller to klippestykker, omtrent 10 meter i diameter, som svævede gennem rummet et stykke derfra.

En anden mærkelig ting var, at der tilsyneladende ikke var nogen hori-

sont – på trods af hans høje placering. Han fandt ud af, at han nok hellere måtte udforske sine omgivelser. Sådan kom det sig, at han begyndte at kravle over overfladen. Fordi klippen krummede temmelig skarpt nedad, holdt han krampagtigt fast i de fremspringende kanter i konstant frygt for at falde af. Men så blev han opmærksom på noget mærkeligt. Selvom han havde bevæget sig nedad langs en meget stejl del af klippesiden – så stejl, at han ikke længere kunne se det tæppe, han havde efterladt, mærkede han ikke nogen tendens til at falde, han blev stadig trukket sikkert ind mod overfladen. Opildnet fortsatte han med at kravle. Til sidst nåede han frem til, at han måtte have tilbagelagt omtrent 180° – og burde med andre ord være direkte *under* udgangspunktet – men der var stadig ingen tendens til at falde ud i de omgivende støvfyldte dybder i rummet. Han stod nok på hovedet nu, sammenlignet med, da han begyndte at kravle. Så var det, at det dæmrede for ham: Den klippe, han befandt sig på, havde ingen synlig understøtning. Den var en planet! En lillebitte planet i lighed med de svævende sten, han havde set.

Til hans store overraskelse og lettelse var det i akkurat dette øjeblik, at han næsten busede ind i benene på en velkendt skikkelse. Det var professorren. Han stod der og havde travlt med at nedfælde observationer i en notes-

bog.



„Åh, det er Dem,“ bemærkede professoren henkastet. „Hvad gør De her nede? Tabt noget?“

Mr Tompkins slap forlegent sit greb og rejste sig kækt op. Til hans store overraskelse blev han ikke alene hængende, det føltes ikke engang, som om han ville drive ud i rummet. Han begyndte at forstå, hvad der foregik. Han huskede, at han i sin skoletid havde fået at vide, at Jorden er en stor, rund klippe, der bevæger sig frit i rummet omkring Solen. Alting trækkes ind mod dens centrum, så der er ingen fare for at „falde af“, uanset hvor man befinder sig på dens overflade. Nu blev han blidt, men bestemt, trukket ind mod centrum for denne nye „planet“ – en planet så lillebitte, at dens befolkning kunne tælles på to fingre.

„Godaften,“ sagde Mr Tompkins, „Sikke en lettelse at se Dem.“  
Professoren løftede sine øjne fra notesbogen. „Der er ingen atterner her,“ sagde han. „Der er ingen Sol“, og dermed vendte han tilbage til sin notesbog.

Mr Tompkins følte sig utilpas, tænkt at møde det eneste levende meneske i hele universet, og at han så skulle være så optaget! Uventet kom en af de små meteoritter ham til hjælp. Med et brag ramte stenen bogen i professorens hænder og gav den et ordentligt puff. Den fløj op i rummet og bort fra deres lille planet. „Nej,“ sagde Mr Tompkins, „jeg håber, at det ikke var vigtigt. Jeg vil ikke tro, at vores tyngekraft er stærk nok til at trække den tilbage.“ Mens de kikkede, fortsatte bogen sin rejse ud i rummets fjerneste afkroge og blev mindre og mindre.

„Bare rolig,“ svarede professoren. „Forstå De, det rum, som vi befinder os i nu, er ikke af uendelig udstrækning. Jo, jeg ved godt, at De utvivlsomt har lært i skolen, at rummet er uendeligt, og at to parallelle linjer aldrig skærer hinanden. Det er imidlertid ikke sandt for rummet i dette specielle univers – det, vi er i nu. Vores normale univers er som bekendt overordentlig stort, omtrent 100.000.000.000.000.000.000.000 kilometer i diameter for nærværende, hvilket til de fleste formål er sådan ret uendeligt. Hvis jeg havde mistet min bog i det, ville det have taget ufattelig lang tid, før jeg fik den tilbage – selv hvis vi antog, at det var et univers af samme lukkede type som dette her. Her er situationen derimod en helt anden. Netop inden notesbogen blev revet ud af mine hænder, havde jeg beregnet, at dette rum

kun er omtrent ti kilometer i diameter, selvom det udvider sig. Jeg ventet bogen tilbage på under en halv time.

„Siger De, at bogen kommer til at lave en af de her returejser i en ret linje?“ forsegte Mr Tompkins sig. „Ligesom den med at starte på Nordpolen ...“  
„... og vende tilbage på Sydpolen? Ja,“ svarede professoren. „Netop. Det samme vil komme til at ske med min bog – medmindre den bliver ramt undervejs af en anden sten og bliver bøjet bort fra den slagne vej.“  
„Og det har intet at gøre med gravitationen fra vores lille planet, som trækker den tilbage?“

„Nej, det har slet intet at gøre med det. Hvad gravitationen herfra angår, er bogen forsvundet ud i rummet. Her, tag denne kikkert og se, om den stadig er i syne.“

Mr Tompkins satte kikkerten for øjnene, og selvom støvet fordunklede hele billedet noget, kunne han akkurat se professorens notesbog bevæge sig gennem rummet langt, langt borte. Han blev noget overrasket af, at alle de fjerne genstande, også bogen, havde et lyserødt skær over sig. Men ikke nok med det. „Deres bog er allerede ved at vende tilbage,“ råbte han spændt. „Jo, jo, den bliver helt bestemt størt nu.“

„Nej, nej,“ sagde professoren, „den er stadig på vej væk. Lad mig lige få den.“ Han tog kikkerten tilbage og stirrede vedholdende. „Nej, som jeg sagde, er den stadig på vej væk. At den synes at vokse i størrelse – som om den var på vej tilbage – skyldes en ejendommelig fokusering, som lysstrålerne oplever i dette lukkede og sfæriske rum.“

Han sænkede kikkerten og kløede sig i sit grånende hoved. „Hvordan kan jeg forklare det ...? Jo. Lad os sige, at vi var tilbage på Jorden, og lad os tænke os, at man kunne få lysstråler til at krybe langs dens overflade (måske som følge af brydning i atmosfæren). Under disse omstændigheder kunne der ske det, at hvis en løber stak af fra os, ville det ikke gøre noget, hvor langt han løb, ved hjælp af en stærk kikkert ville vi stadig kunne se ham. Hvis vi nu ser kloden for os, bemærker vi, at de mest lige linjer på dens overflade, meridiane, først divergerer fra den ene pol, men at de så, efter at have passeret ækvator, begynder at konvergere mod den modsatte pol. Hvis lysstrålerne kunne følge meridiane, ville De fra Nordpolen kunne se løberne blive mindre og mindre, men kun til han havde krydset ækvator. Her-

efter vil man se ham blive størt, det ville se ud, som om han vendte tilbage til Nordpolen – men i baglæns løb! Ved ankomsten til Sydpolen vil han ses i alle retninger og fyldte hele horisonten, ganske som om han stod lige ved siden af. Man ville naturligvis ikke kunne røre ved ham, lige så lidt som man kan røre det billede, der dannes i et kugleformet spejl.

„Lige nu,“ fortsatte professoren, „kan denne opførsel af lyset, som det udbreder sig over Jordens todimensionale krumme overflade, bruges som en analogi for, hvordan lysstråler opfører sig i dette sært krummede tredimensionale rum, vi befinder os i. Jeg tror faktisk, at billedet af bogen er ved at

ankomme.“

Da han sagde dette, syntes billedet af bogen kun at være nogle meter væk, og det kom nærmere. Det var stort nok til, at man ikke længere behøvede en kikkestok til at se det med. Bogen så dog noget besynderlig ud, kunne næppe genkendes overhovedet, hvilket ifølge professoren skyldtes turene var ikke skarpe, men syntes udviskede, og skriften på omslaget kunne knap nok kendes igen. Hele bogen så ud som et fotografi, der var taget ude af fokus og underfremkaldt.

„Man kan se nu, at det kun er et billede – ikke den rigtige bog,“ sagde professoren. „Se, hvordan den er slemt forvrænget af lyset, der har måttet rejse halvvejs rundt om universet. Og læg mærke til, hvordan De kan se andre små planeter bag ved bogen – gennem dens sider.“

Mr Tompkins rakte ud og forsøgte at gribe „bogen“, idet den fløj forbi, men hans hånd gik simpelthen lige igennem billedet uden at møde nogen modstand.

„Nej, nej,“ formandede professoren. „Bogen selv er nu meget tæt ved universets *modsatte* pol. Som sagt er det, De ser her, kun et billede – faktisk to billeder af den. Det andet billede er lige bag Dem, og da de to billeder er kort øjeblik faldt sammen, da var den virkelige bog præcis i den modsatte pol.“ Mr Tompkins hørte ikke efter, han var alt for fordybt i sine tanker, idet han prøvede at huske, hvordan billeder af objekter dannes i den elementære optik af konkave og konvekse spejle og linser. Da han til sidst gav op, bevægede de to billeder sig udad i modsatte retninger.

„Og alle disse besynderlige virkninger skyldes stoffet i universet?“  
„Det er rigtigt. Det stof, vi står på – vores lille klode – får rummet til at

des?“

krumme i vores umiddelbare nabolag, og det er årsagen til, at vi holdes fast til dens overflade. Men derudover skal gravitationen fra denne planet lægges sammen med, hvad der kommer fra alle de andre masser i universet, hvorved den samlede krumning opstår, som afføder disse linseffekter. Faktisk har man i den almene relativitetsteori skilt sig helt af med begrebet gravitations'kraft' som sådan, og man taler simpelthen kun om krumning.“

„Men sig mig engang, hvis der nu ikke var noget stof, ville vi så have den slags geometri, jeg har lært i skolen, og ville parallelle linjer så aldrig mødes?“

„Det er rigtigt,“ svarede professoren, „men der ville heller ikke være nogen materiel skabning til at konstatere det.“ I mellemtiden var billedet af bogen kommet langt væk i den oprindelige retning, og nu begyndte det at komme tilbage for anden gang. Det så endnu mere beskadiget ud end før, og kunne næppe genkendes overhovedet, hvilket ifølge professoren skyldtes, at denne gang havde lysstrålerne rejst rundt om hele universet. „Og hvis vi nu lige tager en tur til den anden side af vor planet ...“ tilføjede han, idet han tog Mr Tompkins ved armen og slæbte ham de få meter om på den anden side. „Der,“ erklærede han, idet han pegede i den modsatte retning. „Der. Kan De se den? Her kommer min bog. Den er lige ved at afrunde sin rejse hele vejen gennem universet.“ Med et triumferende grin strakte han hånden ud, greb bogen og tog den i lommen. „Det kedelige ved det her univers er, at der er så meget støv og så mange sten. Det gør det næsten umuligt at sandsynligt er det billeder af os selv og de omgivende objekter. Det eneste er, at de er så deformationeret af støv og uregelmæssigheder i rummets krumning, at jeg ikke engang kan se, hvad der er hvad.“

„Sker det samme i vores normale univers – det, vi boede i engang?“ spurgte Mr Tompkins.

„Sikkert ikke – ikke hvis vi har ret i, at tætheden er kritisk. Men,“ tilføjede professoren med et blink i øjet, „man må indrømme, at det stadig er sjovt at tænke sådan noget igennem, ikke sandt?“

Lige nu havde himlen ændret sig betydeligt. Der syntes at være mindre støv nu, så Mr Tompkins kunne fjerne lommeterklædet fra sit ansigt. De små sten passerede meget sjældnere forbi og ramte overfladen af deres pla-

net med meget mindre energi. Og de andre planeter var drevet meget længe bort nu og kunne knap nok ses på denne afstand.

„Nå, jeg må sige, at livet er blevet en hel del mindre skræmmende,“ kommenterede han. „Men det er unægtelig blevet ret koldt.“ Han tog sit tæppe op og svøbte det om sig. „Kan De forklare ændringerne i vores omgivelser?“ spurgte han professoren.

„Det er let, vores lille univers udvider sig, og mens vi har været her, er dets radius vokset fra ti til halvanDET hundrede kilometer. Det fandt jeg ud af straks efter, at jeg var kommet hertil, efter at jeg havde bemærket denne udvidelse ud fra rødfarvningen af de fjerne objekter.“

„Åh, jeg lagde godt nok mærke til, at alting var lysere i de store afstande,“ sagde Mr. Tompkins, „men hvorfor betyder det udvidelse?“

„Jamen det er ikke vanskeligt at indse,“ sagde professoren. „Jeg vil gå ud fra, at De kender til det fænomen, at sirenen fra en ambulance på vej mod Dem lyder meget som en høj tone, men efter at ambulancen har passeret Dem, bliver tonen betydeligt lavere? Det er den såkaldte Dopplereffekt, nemlig at tonehøjen (eller lydens frekvens) afhænger af hastigheden af kilden til modtager. Når hele rummet udvider sig, vil ethvert objekt i det bevæge sig bort fra observatøren med en hastighed, der er proportional med afstanden fra ham. Derfor vil lyset udsendt fra sådanne objekter have lavere frekvens, og det betyder rødere lys. Jo fjernere objektet er, desto hurtigere bevæger det sig, og jo rødere forekommer det os. I vores normale univers, som ligeledes udvider sig, tillader denne rødfarvning eller rettere kosmologiske rødforskydning, som vi kalder den, astronomerne at beregne afstandene til meget fjerne galakser. Den nærmeste større galakse, Andromedagalaksen, hvis afstand er 2,5 millioner lysår (et „lysår“ er, som navnet antyder, den afstand, som lys tilbagelægger på et år), udviser ingen rødforskydning. Men effekten begynder at blive mærkbar ved afstande på en milliard lysår og derover. Der findes umådeligt fjerne galakser, som har rødforskydninger på langt over 1 – rekorden i dag er ca. 6,50 – svarende til afstande på omtrent ti milliarder lysår. Dette rekordgamle lys blev udsendt, da universet var omtrent 7,5 gange mindre end i dag. Den nuværende udvidelses-hastighed er omtrent 0,000.000.01 % pr. år. Vores lille univers her vokser forholdsvis meget hurtigere og bliver omtrent 1 % større pr. minut.“

„Vil udvidelsen af dette univers her nogensinde holde op?“ spurgte Mr.

Tompkins.

„Naturligvis,“ sagde professoren. „Jeg fortalte Dem i en af forelæsningerne, at et lukket univers som dette her indebærer, at udvidelsen til sidst vil gå i stå og blive fulgt af en kontraktionsfase. I et så lille univers vil udvidelsesfasen ikke vare mere end et par timer, ville jeg tro.“

„Et par timer,“ gentog Mr. Tompkins. „Men det betyder, at der ikke kan være længe til, før ...“ Hans stemme døde ud, mens konsekvenserne dæmrede for ham.

„Ja,“ mumlede professoren. „Jeg tror, at vi netop nu observerer tilstanden med maksimal udvidelse. Det er derfor, at det er blevet så koldt.“

Faktisk afgav den termiske stråling, der fyldte universet, og som nu var fordelt over et meget stort volumen, kun en meget lille mængde varme til deres planet, temperaturen lå omkring frysepunktet.

„Det er heldigt for os, at der oprindeligt var så megen stråling til stede, at vi får lidt varme selv på dette stadium i udvidelsen,“ fjøede professoren til. „Ellers kunne det blive så koldt, at luften omkring vores klippe ville kondensere til væske, og vi ville fryse ihjel.“

Han stirrede koncentreret i sin kikkekert endnu en gang. „Ja,“ sagde han efter en stund. „Sammentrækningen er allerede begyndt. Det bliver snart varmt igen.“

Han gav kikkekerten til Mr. Tompkins, der tog den og afsøgte himlen. Han bemærkede, at alle de fjerne objekter havde skiftet farve fra lysrød til blå. Dette skyldtes, ifølge professoren, at alle himmellegemerne var begyndt at bevæge sig imod dem. Han huskede ligeledes professorens analogi med den høje tone fra et modkørende tog.

Mens han gned sin krop for at holde sig varm, bemærkede han: „Nå, jeg bliver nu glad, når temperaturen stiger igen.“ Men så slog en tanke ned i ham. Han vendte sig ivrigt mod professoren. „Hvis alting trækker sig sammen nu, kan vi så ikke regne med, at alle de store klipper i universet vil samles, og at vi bliver knust mellem dem?“

„Jeg spekulerede over, hvor lang tid det ville tage Dem at regne det ud,“ svarede professoren roligt. „Men der er ingen grund til bekymring. Tænk bare: Et godt stykke tid før det sker, vil temperaturen være steget så meget,

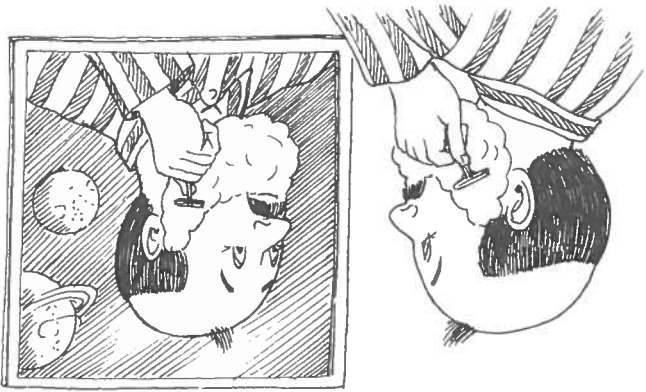
at vi vil være fordampet! Jeg vil foreslå, at De bare lægger Dem ned og ob-serverer, så længe De kan.»

«Ah nej!» stønnede Mr Tompkins. »Jeg begynder at få det varmt allerede, selv i min pyjamas.»

Der gik ikke lang tid, før den varme luft blev ulidelig. Støvet, der var blevet meget tæt nu, samlede sig omkring ham, og han følte det, som om han skulle kvæles. Han kæmpede for at betri sig fra tæppet, da hans hoved pludselig kom ud i kølig luft. Han tog en dyb indånding.

«Hvad sker der?» råbte han til professoren – for kun at opdage, at hans ledsager ikke længere var hos ham. I stedet genkendte han i det svage morgenlys sit hotelværelse. Med et lettelssens suk viklede han sig ud af sit tæppe, det var blevet noget krøllet oven på, hvad der måtte have været en meget urolig nat.

«Gud ske lov, at vi stadig er i udvidelse!» fremstammede han, mens han gik ud på badeværelset. »En skæg oplevelse,« tænkte han, idet han rakte ud efter barbermaskinen.



## 6 Den kosmiske opera



Det var feriens sidste aften, og Mr Tompkins og Maud tog sig en spadseretur på stranden ved vandkanten. Var der virkelig kun gået en uge, siden de havde mødt hinanden første gang? Selvom han til at begynde med havde været ret nervøs for at tale med hende – han var jo lidt generet – kendte de hinanden så godt nu, at samtalen flød frit. Det var usædvanligt, syntes han, at en person skulle have så mange interesser. Hvad mere var, så havde han frydefuldt bemærket, at hun tilsyneladende havde lige så megen fornøjelse af at være sammen med ham, som han havde ved at være sammen med hende. Han kunne ikke forestille sig hvorfor. Bortset fra, at professoren ved en enkelt lejlighed havde ladet skinnene igennem, at hans datter var blevet slemt skuffet engang, hendes forlovelse med en eller anden betydningsfuld forretningsmand var blevet afbrudt brat. Måske følte hun sig bare sikker sammen med ham og hans temmelig ensformige, men betryggende liv.

Han kikkede op på Mælkevejen. »Jeg må sige, at din far har åbnet en hel ny verden for mig. Det er trist, hvordan de fleste mennesker bare går gennem livet uden nogensinde at sætte pris på, hvor usædvanlig verden er.»

Han tog en håndfuld småsten op og kastede dem sløvt efter en sten, der stak op af vandet. Så skulede han hastigt til hende. »Hvorfor vil du ikke vise mig dine skitser?«

»Det har jeg sagt til dig. De er ikke af den slags, man viser til nogen. De er arbejds-skitser – ideer. Bare ideer. Det er det hele. De skal bruges til at indfange *forneelsen* ved et sted. De ville ikke sige dig noget. Først når