

Savoir sans Frontieres

Les Aventures d'Anselm Lanturlu


BIG BANG



JEAN-PIERRE PETIT

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>

PRÒLEG

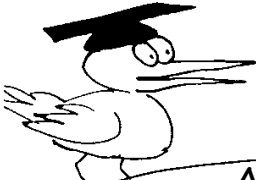


Saps, Sofia, a vegades em demano d'on vénen les coses, com està fet l'Univers...

Sempre ha estat TOT així? La Terra, el cel?


El cel sempre ha estat blau?

Els estels sempre han brillat sobre un fons de cel negre?



A l'INICI DE TOT, el nostre Univers era molt petit i molt calent: un infern minúscul.

I tot ha petat?



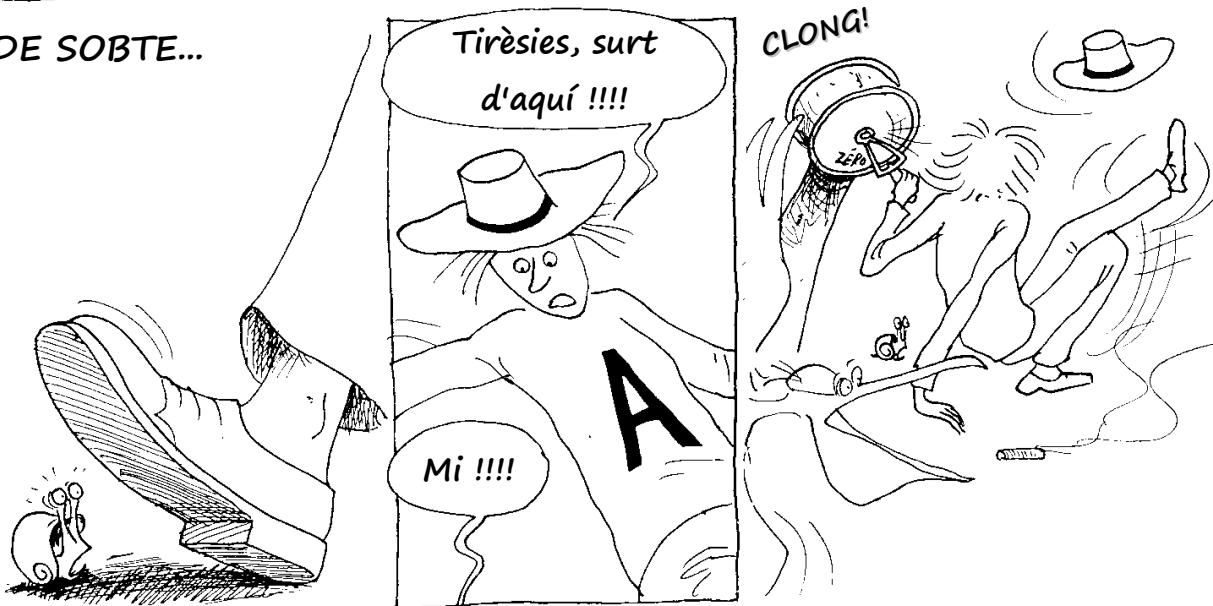
Sí, però és una història molt llarga, i per contar-la hem de remontar a un temps molt molt llunyà.



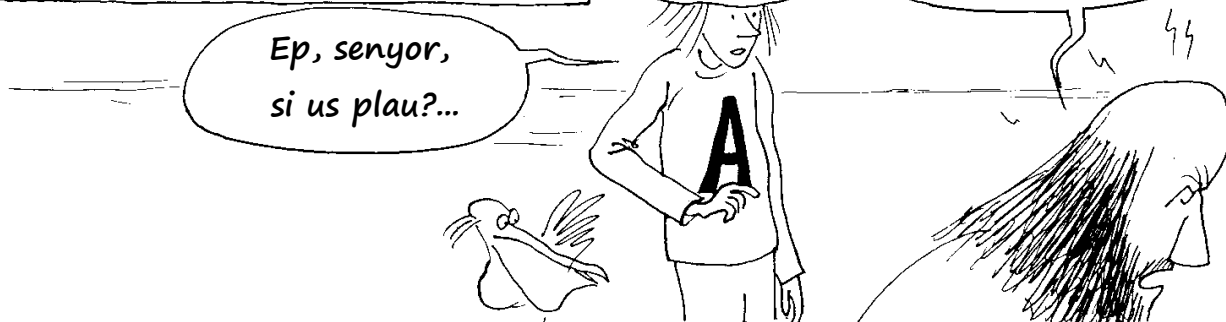
Oh, veniu a veure!



DE SOBTE...



EL COMENÇAMENT DE TOT





I ara! Un altre fracàs!

He caigut a la trampa...



Si és una moqueta el que intenteu posar, ho està fent amb molt poca traça, això és veritat!

Vostre amic té pinta de tenir problemes amb la seva moqueta.

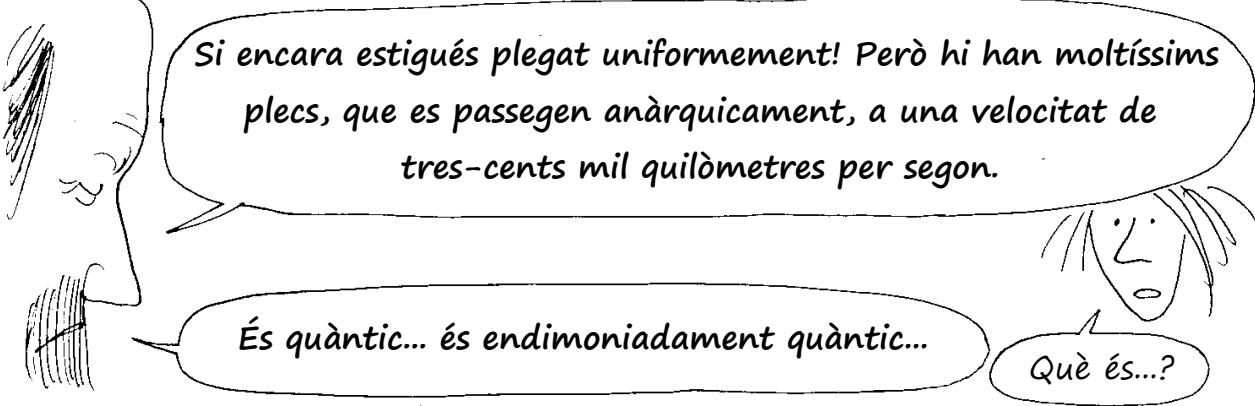


Quin desastre, hi han plecs per tot arreu!...



És normal que hi hagin plecs. Ha volgut ficar-ne massa. La moqueta està comprimida...

Tsss... si no hi hagués compressió no hi hauria energia: solament hi hauria espai...



Si encara estigués plegat uniformement! Però hi han moltíssims plecs, que es passen anàrquicament, a una velocitat de tres-cents mil quilòmetres per segon.

És quàntic... és endimoniadament quàntic...

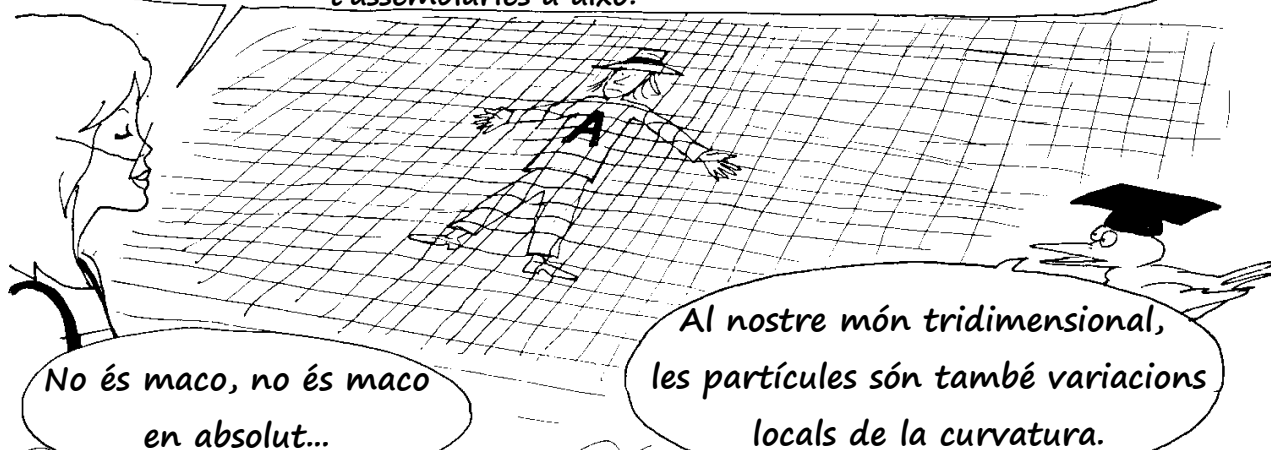
Què és...?



No hi ha gran **COSA** en aquest univers!

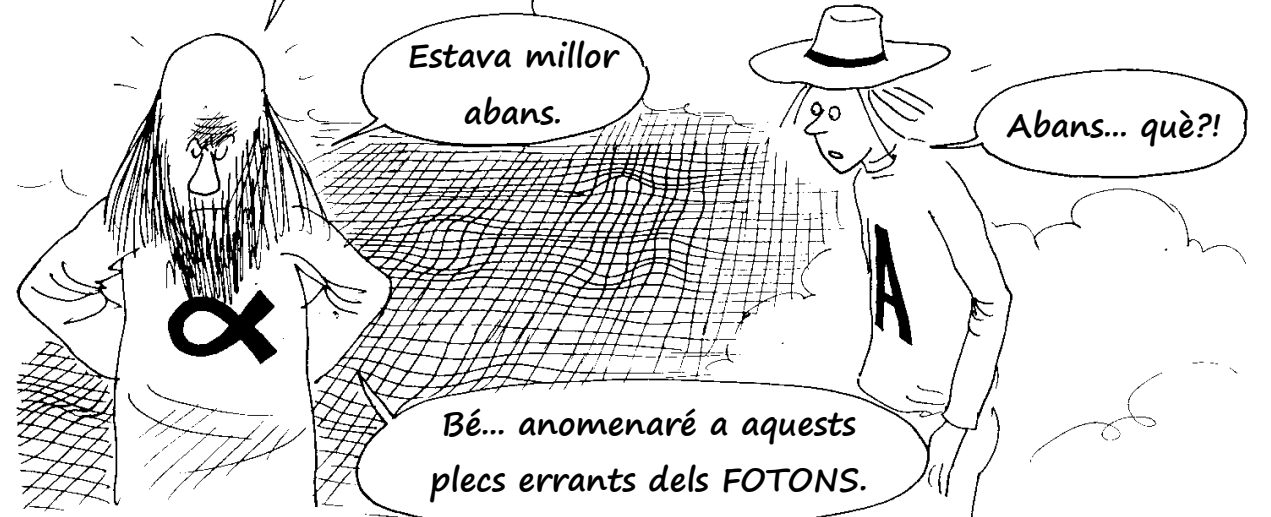
I tant que sí!
Aquí les **COSES** són aquesta espècie d'ondulacions errants.

L'Univers presentat aquí solament té dues dimensions, és per tant una **SUPERFÍCIE** on els relleus representen partícules, masses i radiacions. Si formessis part d'aquest Univers bidimensional, t'assemblaries a això.



No és maco, no és maco en absolut...

Al nostre món tridimensional, les partícules són també variacions locals de la curvatura.



Estava millor abans.

Abans... què?!

Bé... anomenaré a aquests plecs errants dels **FOTONS**.

Ah, en nom de Déu de nom de Déu!
Vet aquí una altra cosa, ara...

Què?

Però mireu això!
N'hi ha per tot arreu!!!!

No solament flocula sinò que a més
pateix turbulències. Bon treball!

Semblen petits remolins. Com
quan fem així amb un llençol.

És curiós. Alguns giren en un sentit
i d'altres en el sentit contrari.

Com els vostres fotons, van a 300.000 km/s.

A aquests remolins errants
els anomenaré NEUTRINS, quan girin
així:

I ANTINEUTRINS quan girin en
sentit contrari:

Està molt agitat. No hi ha res de llis a sobre de la seva moqueta. Els plecs estan, literalment, els uns contra els altres(*).

Aquest Univers és molt, molt inestable. Un fracàs total!...

Si encara hi hagués una mica d'ordre en tot això! Però és un aldarull. Tot està distribuït a l'atzar!

Odio els jocs d'atzar!

L'atzar, amic meu, és el diable!

Ah...

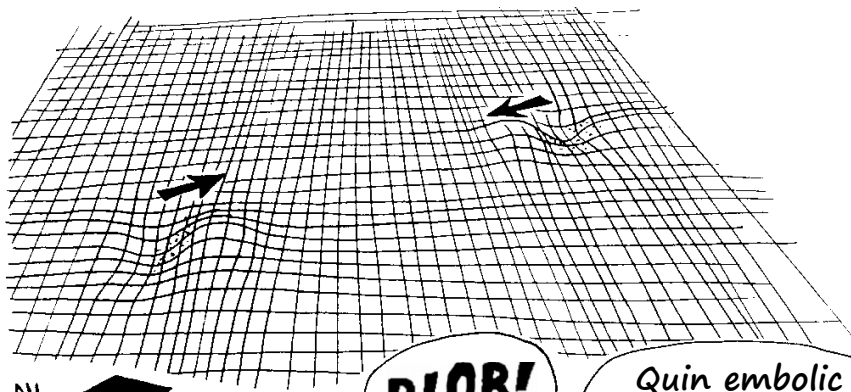
COSMOSOL
EL REVESTIMENT
UNIVERSAL

Ni tan sols jugo als daus...

Oh, mireu! Passa ALGUNA COSA per allà...

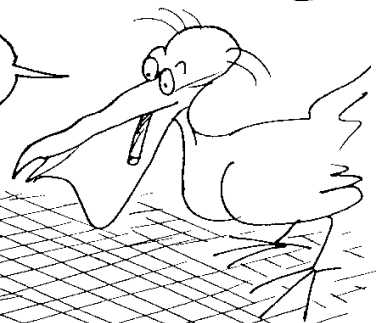
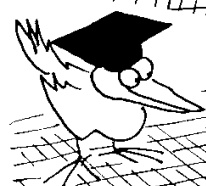
(*) Propietat del que anomenem RADIACIÓ DEL COS NEGRE (el diable sap per què...)

Vet aquí dos plecs errants que
van directes l'un contra l'altre.
Es xocaran.

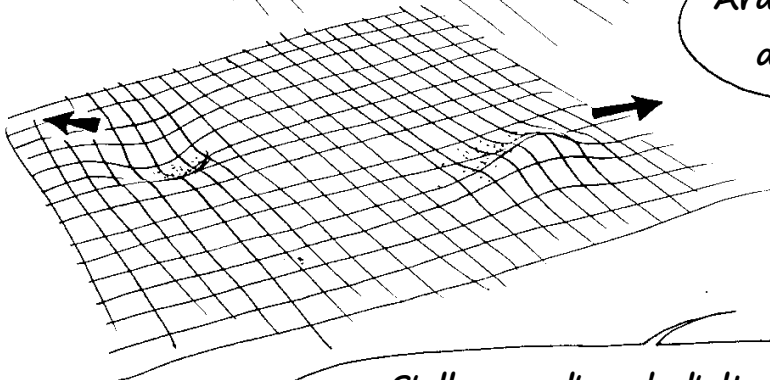


BLOB!

Quin embolic
amics meus!

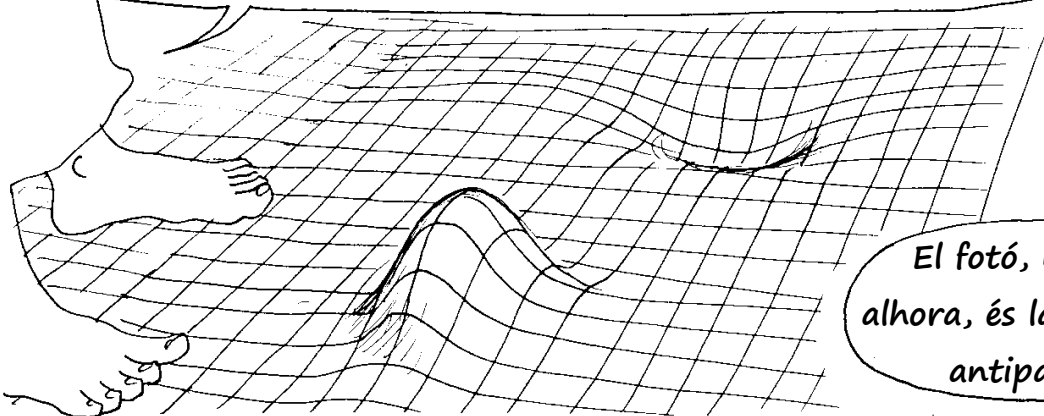


Ara, això fa bonys. Un cap a
dalt i l'altre cap a baix.



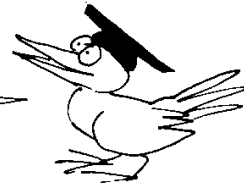
S'allunyen l'un de l'altre a una velocitat
propera a 300.000 Km/segons.

Bé, als bonys els anomenaré MATÈRIA, i als sots ANTIMATÈRIA. Hi ha CURVATURA, aleshores hi ha MASSA.

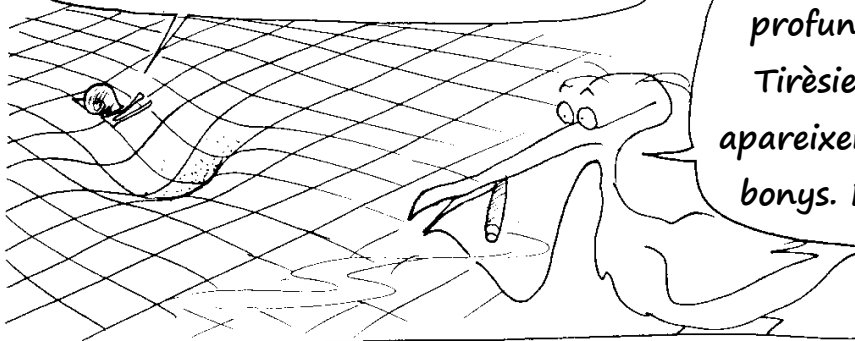


El fotó, bony i sot alhora, és la seva pròpia antipartícula.

MATÈRIA i ANTIMATÈRIA, nascudes de col·lisions entre fotons, apareixen a velocitats relativistes.

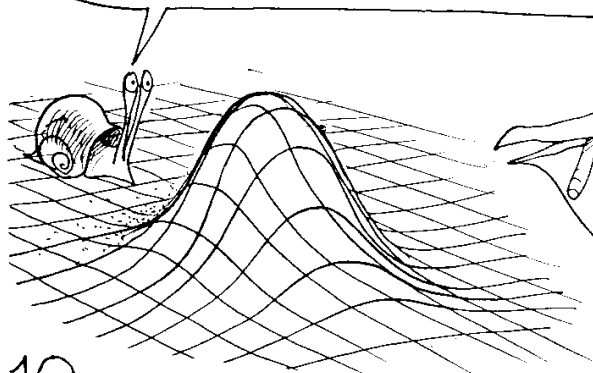


Bony, sot, tot això és arbitrari.



Quin és el sentit d'aquesta profunda reflexió, estimat Tirèsies? Hi han coses que apareixen en sots i d'altres en bonys. Em sembla evident...

És perquè ens trobem a aquesta banda de la moqueta. Si estiguéssim a l'altra banda, els bonys es tornarien sots i els sots es tornarien bonys.



Però... jo solament veig una banda!!!



Tirèsies!!!

No hi ha forma de riure
una mica...

?...

Un altre
epistemopoli(*)

Espereu! En allà... quan un bony i un sot es troben prou lentament,
això dona al seu torn dos plecs errants. És l'operació inversa.

Hmm... simple ANIHILACIÓ
d'una partícula de matèria i la
seva antipartícula. Això dóna
al seu torn dos fotons.

És el
CAOS DESOLAT.

Hmm...

(*) de Epistemologia: la ciència i Poli: Policia

Les creacions i decreacions de partícules, a partir de parells de fotons, es succeeixen a un ritme desenfrenat. Dins d'aquest món caòtic, aquest món de canvis, res d'estructures. Tan sols un formigueig apretat de fotons, de neutrins, d'antineutrins, i de nombroses partícules i antipartícules, fugaces i variades. És el CAOS DESOLAT(*).

Tot això em fa pensar als SEXONS.

Què són els SEXONS?

Són partícules que passen el temps reproduint-se.

Aparentment, hi han plecs errants molt diversos, igual que hi han bonys estrets i alts o amples i plans.

Anomenaré LONGITUD D'ONA λ a aquesta envergadura dels plecs errants, els FOTONS.

Imaginem que creo una oscil·lació errant agitant aquesta corda. Primer la sacsejo suaument. Aplico poca energia i la longitud d'ona λ és gran.

Si ara sacsejo la corda més secament, si li transmeto més ENERGIA, la longitud d'ona λ serà clarament més curta.

mi!

Així doncs, com més energia transporta una ona més petita és la seva longitud d'ona.

Jo diria que l'ENERGIA transportada per un FOTÓ, un gra de LLUM, serà INVERSAMENT PROPORCIONAL a la seva LONGITUD D'ONA λ : E varia com $\frac{1}{\lambda}$.

Així, funcionarà...

COM MÉS PETITS SOM MÉS PESATS SOM



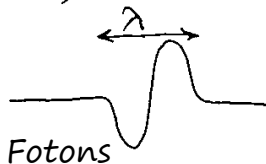
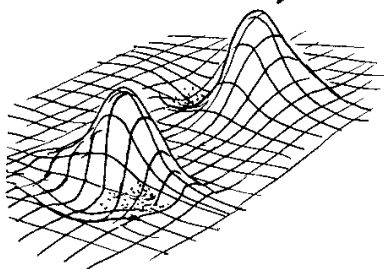
D'acord amb els plecs errants, que vostè anomena FOTONS. Però què diferencia els sots o bonys estrets i alts dels sots o bonys amples i plans?

A aquesta longitud dels sots i dels bonys l'anomenaré LONGITUD D'ONA DE COMPTON λ_c i la MASSA m li serà INVERSAMENT PROPORCIONAL. Que m sigui variant com $1/\lambda_c$

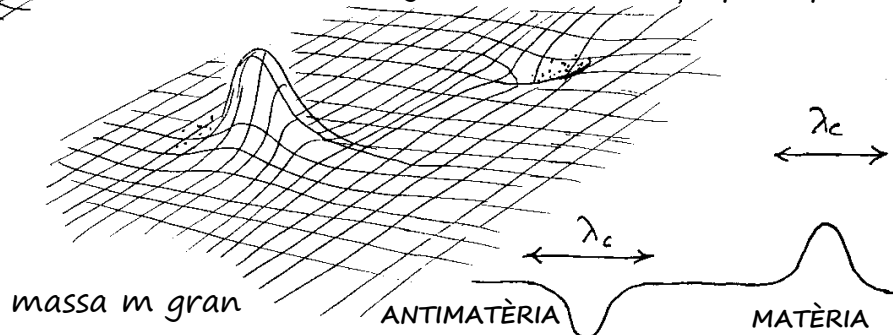
De fotons molt energètics, de longitud d'ona curta, naixeran partícules (i antipartícules) de massa m elevada, estreta i alta.

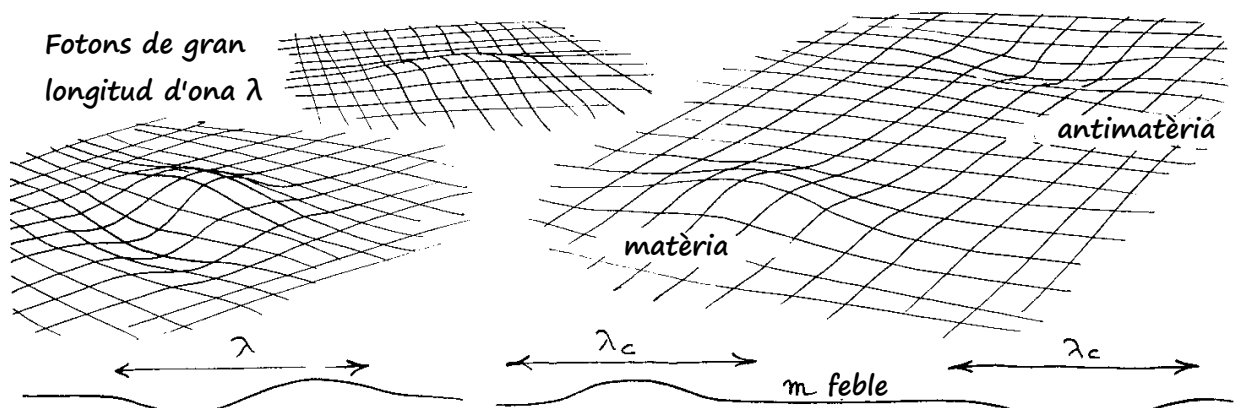


λ feble



λ_c feble: longitud d'ona de Compton petita





Fotons de gran longitud d'ona → partícules de gran longitud d'ona de Compton.
 Al contrari, dels fotons relativament poc energètics naixerà una parella
 partícula-antipartícula d'una gran longitud d'ona, és a dir,
 de massa feble: λ_c gran, m feble.

De fet és, fins i tot, molt més simple.
 Pel que veig $\lambda = \lambda_c$ (*), vol dir que les partícules
 (i antipartícules) són de la mateixa "mida" que
 els fotons que les creen.

El que fa que quan coneixem la MASSA
 d'una partícula qualsevol, immediatament
 coneixem la longitud d'ona de la radiació que
 l'ha creat.

(*) Recordarem que E (energia) = m (massa). Veure TOT ÉS RELATIU.



Els PROTONS i els NEUTRONS tenen gairebé la mateixa massa. Són, ALESHORES, de la mateixa mida. Però l'ELECTRÓ és molt més lleuger. Lògicament, hauria de ser... més gran?!!


Exacte. El PROTÓ i el NEUTRÓ pesen $1,66 \cdot 10^{-27}$ Kg. L'electró pesa $9,1 \cdot 10^{-31}$ Kg. És, aleshores, 1850 vegades més lleuger: aleshores, 1850 vegades més "gran".

Jo... eh...
ostres...

Ja has vist
un protó?

Eh...
NON...

Doncs!



Ah, què bonica és,
la gènesi d'avui!

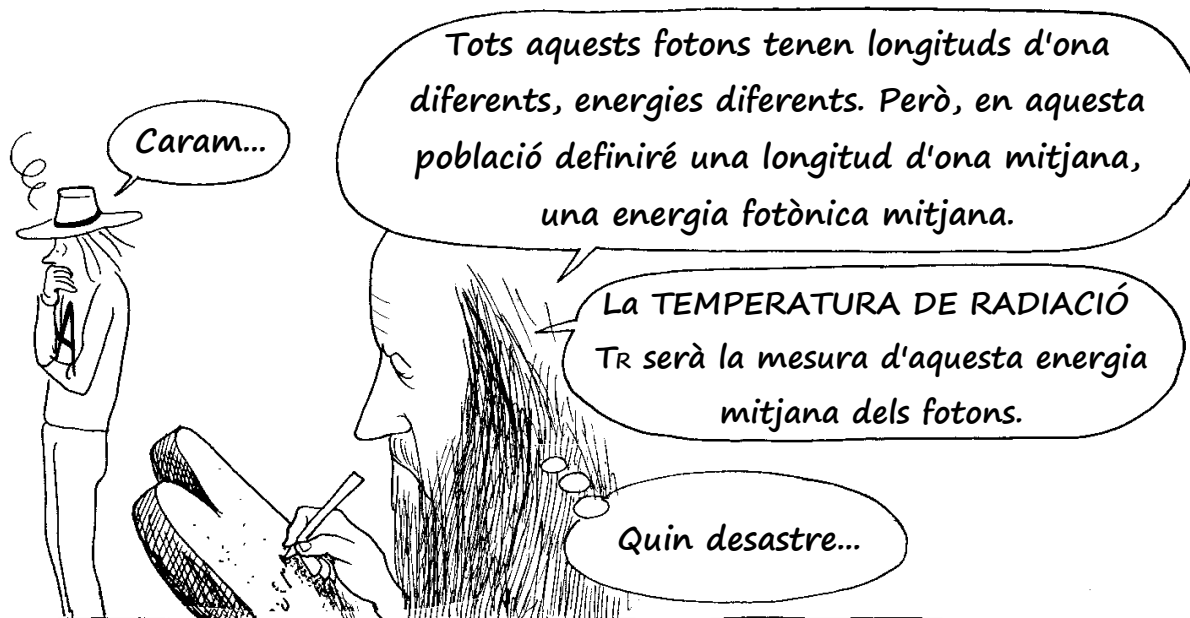
Què fas?

Fabrico un ÀTOM d'HIDROGEN més semblant a la realitat. Amb un gran electró i un minúscul PROTÓ constituint el seu NUCLI.

En nom de Déu de nom de Déu! Quin caos... bé...
Fills meus, m'ajudareu ha ficar una mica d'ordre en aquest aldarull.

LA TEMPERATURA DE RADIACIÓ

T_R



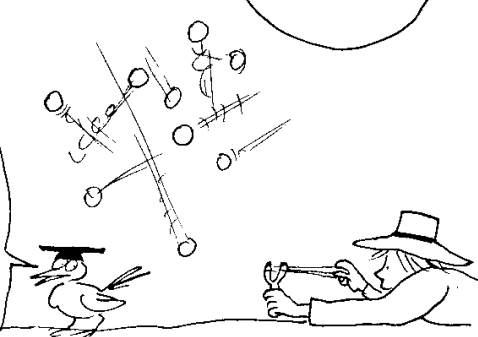
ESTAT D'EQUILIBRI



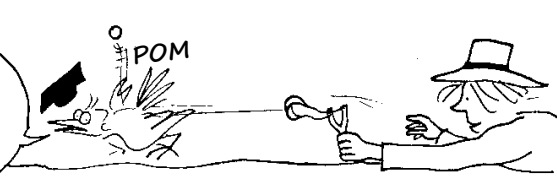
LA TEMPERATURA DE LA MATÈRIA

T_M

Totes aquestes partícules MATERIALS tenen masses m i velocitats V diverses. L'ENERGIA CINÈTICA d'una partícula material és $\frac{1}{2}MV^2$
Però, d'aquesta població, puc definir una energia d'agitació (TÈRMICA) mitjana.



I la TEMPERATURA DE LA MATÈRIA T_M serà la mesura d'aquesta ENERGIA MITJANA D'AGITACIÓ TÈRMICA.



TERMODINÀMICA

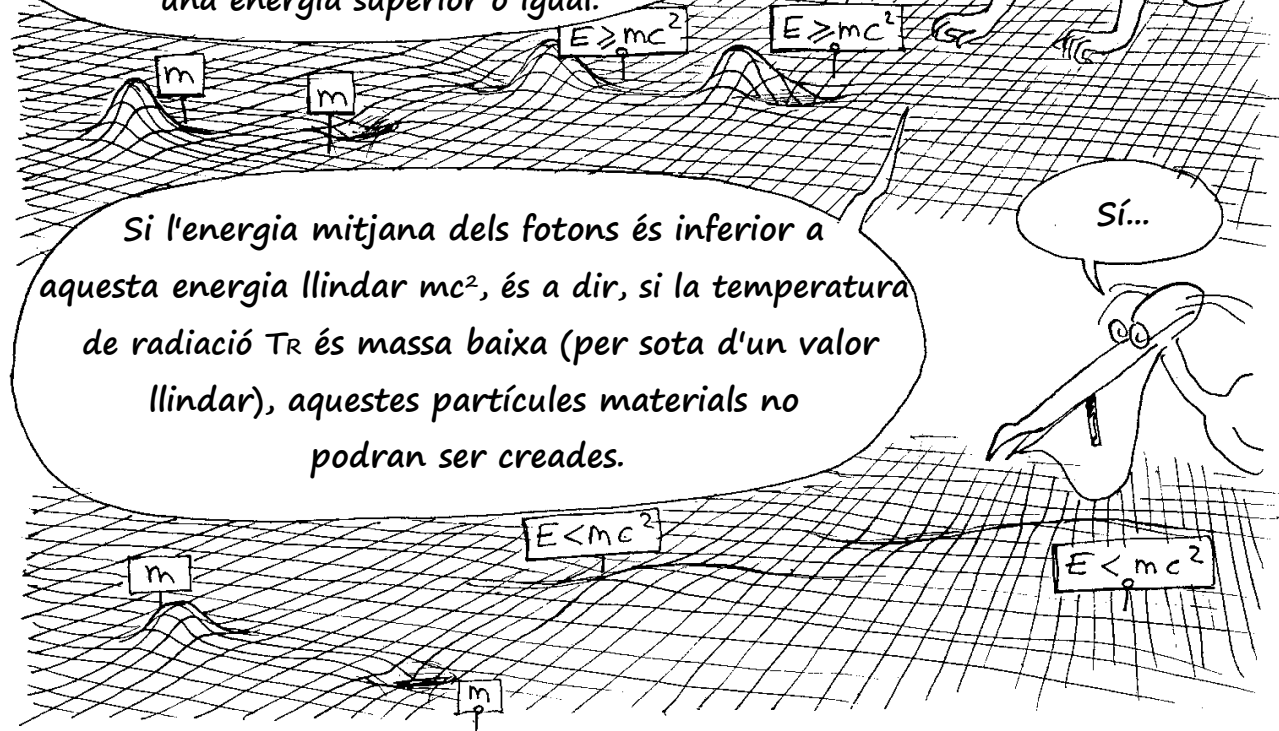
Si una partícula té massa energia, si és massa ràpida, massa "calenta", una col·lisió amb una altra partícula l'alentirà. I viceversa si és massa lenta. Si aquest fenomen d'aparellament energètic de les espècies per col·lisió és prou intens, no solament les temperatures seran iguals, sinò que romandran així encara que distenguis o que comprimeixis aquesta barreja.





LA TEMPERATURA DE LLINDAR

Per crear una PARELLA partícula-antipartícula, de massa comuna m , fa falta una energia $2mc^2$, que és proporcionada per una parella de fotons tenint una energia superior o igual.



Si l'energia mitjana dels fotons és inferior a aquesta energia llindar mc^2 , és a dir, si la temperatura de radiació T_R és massa baixa (per sota d'un valor llindar), aquestes partícules materials no podran ser creades.

DE L'EVOLUCIÓ DE LES ESPÈCIES

La SUPERVIVÈNCIA d'una espècie sempre és problemàtica. Pot ser garantida per un ritme de producció elevat.

El que implica que la temperatura de radiació T_R sigui superior a la temperatura de llindar lligada a l'espècie.

Si la temperatura T_R és més baixa, diverses formes de desaparició són possibles.

La més temible és la anihilació amb l'antipartícula.

PLOP

Al final les partícules tenen la seva pròpia DURADA DE VIDA(*). Passat aquest temps, es descomposen espontàniament en altres partícules i en radiació.

(*)... La seva reserva de CRONOL.
Veure TOT ÉS RELATIU.

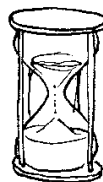


Mira, sexons!



Després arriben les dolentescontres de tot tipus.

El COSMOS és terreny perillós.



El problema és, durar...





Quina temperatura fa?

Agafa un fotó i mesura la seva longitud d'ona λ !

Ostres, vint mil miliards de graus (2×10^{13} K).

Sembla haver-hi, aproximadament, la mateixa quantitat de fotons, de neutrins, de protons, de neutrons, d'electrons, (i les seves antipartícules).

A una temperatura tan elevada, tothom és **RELATIVISTA**. Fins i tot les partícules materials van a velocitats properes a la velocitat de la llum c .

A TOT ÉS RELATIU, havíem vist que quan la velocitat d'una partícula tendeix a la velocitat de la llum, el seu **TEMPS PROPI** es lliga com una salsa.



De fet, això provoca un gran problema... Si tothom es passeja a la velocitat de la llum, aleshores el TEMPS(*) ja no passa??!! Ja no hi ha ningú per viure-ho...

Ningú va tan lentament com per tenir un temps escolant-se de forma significativa.



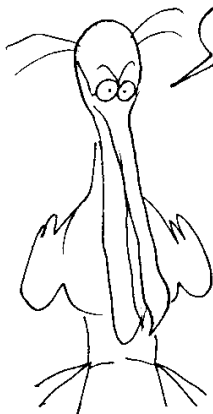
Oh!...

Un món totalment ACRÒNIC serà desprovist de SENTIT.

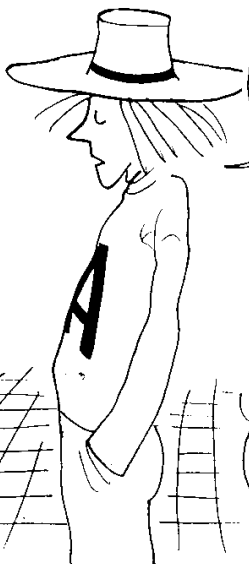


El temps és, pot ser, un luxe que solament alguns univers poden oferir-se?

És diabòlic!



Pff, amb tot el que j'ha he vist i escoltat... L'ESPAI, el TEMPS, L'UNIVERS, tot això no és més que una il·lusió.



El constituent universal de totes les coses?



(*) Un temps còsmic que podria ser una mitjana dels TEMPS PROPIS.

LES PARTÍCULES ELEMENTALS

Vosaltres, en comptes d'estar amb els braços plegats, ajudeu-me a posar una mica d'ordre en aquest desordre de PARTÍCULES ELEMENTALS.

Aquestes tenen longituds d'ona de Compton λ_c molt petites.

Aquestes partícules de massa molt forta són els HIPERONS^(*).

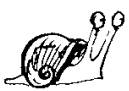
Després venen els HADRONS. El PROTÓ i el NEUTRÓ (així com l'antiprotó i l'antineutró) hi formen part. Són susceptibles d'apropiar-se un NUCLI. Per crear aquestes partícules, fa falta una temperatura de radiació superior a 10^{13} K, és a dir, deu mil miliards de graus.

És la seva temperatura de llindar.


La longitud d'ona de Compton dels Protons i dels neutrons val $1,3510^{-12}$ cm. Una mil·lèsima de milmilionèsima de cm.

PROHIBIT FICAR EL NAS A DINS D'UN NEUTRÓ


(*) Hipotètiques, dins de l'estat de coneixements actuals.



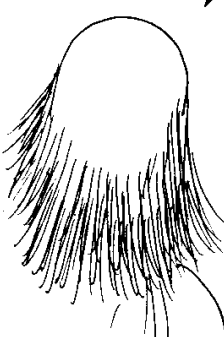
HADRÓ, això prové de
HADRÓS, que vol dir dens,
en grec.



Tirèsies, coneixeu
el grec?



Hi ha, evidentment, la mateixa
quantitat d'ANTIHADRONS que
d'HADRONS.



Per fi, vet aquí els LEPTONS^(*).




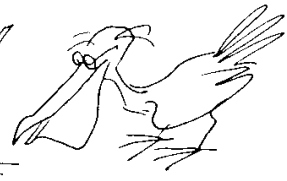
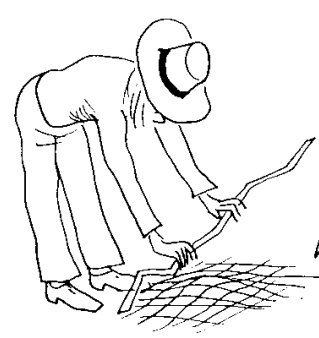
LEPTÓ



ANTILEPTÓ

Per crear-los, n'hi ha prou amb una temperatura
de radiació de 6 miliards de graus
(temperatura de LLINDAR).

El més conegut dels LEPTONS és l'electró, i el seu bessó l'antielectró, o
POSITRÓ. Constatarem que la temperatura de llindar, de creació dels
electrons, és 1850 vegades inferior a la temperatura de llindar
corresponent al protó i al neutró.



És normal, ja que fa falta 1850
vegades menys d'energia per crear
el protó que el neutró.

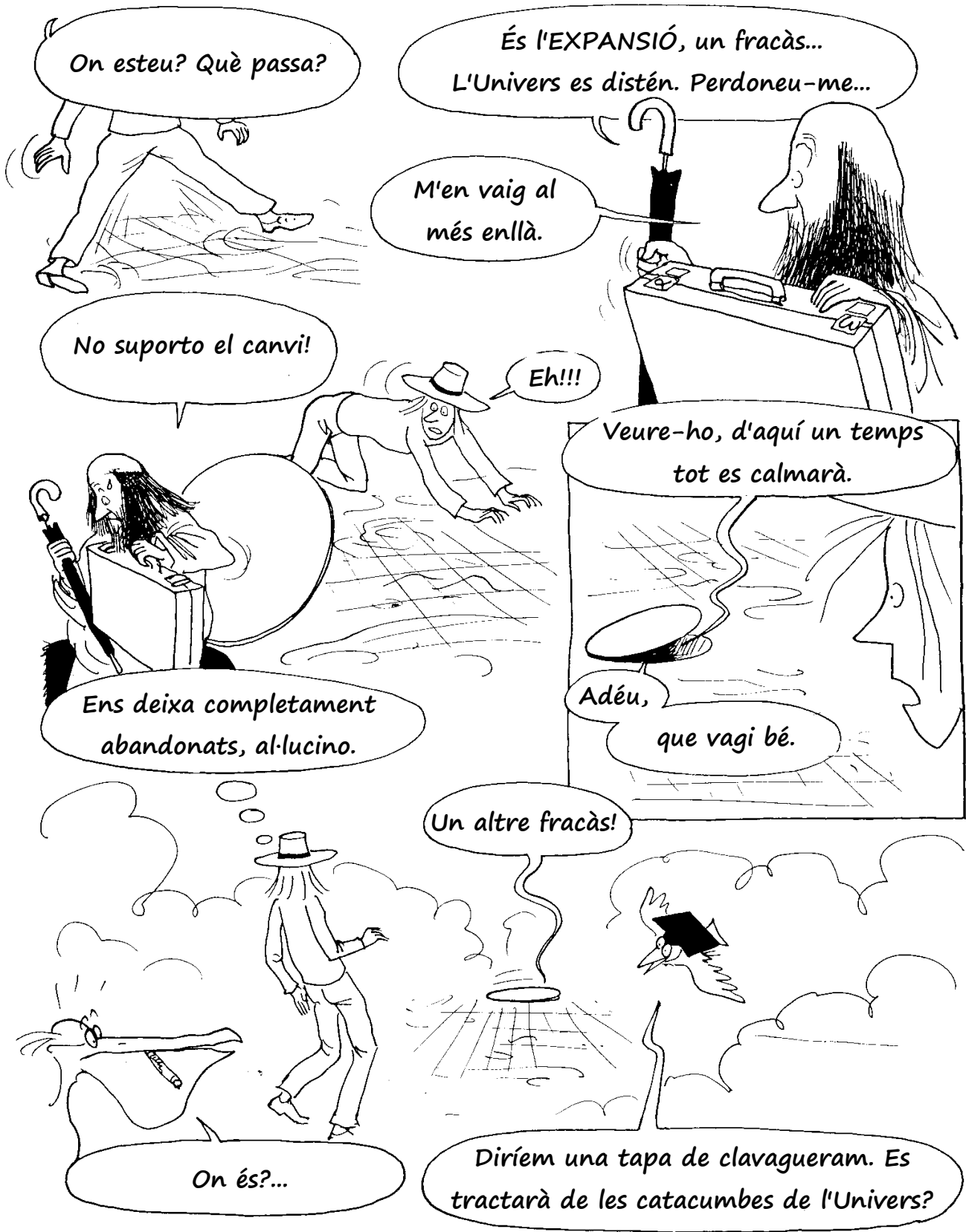
(*) del grec LEPTOS, prim.

TOT CANVIA



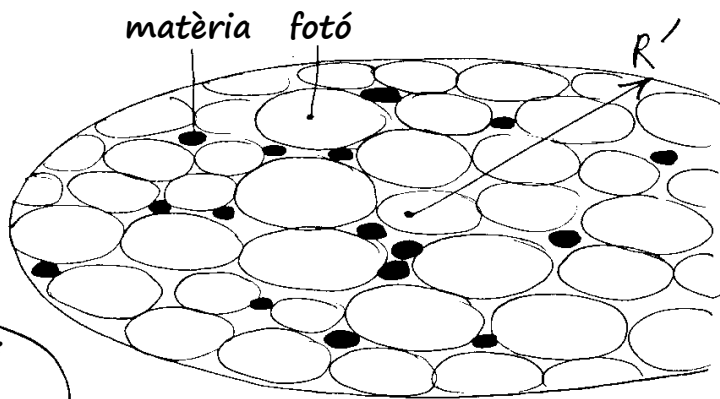
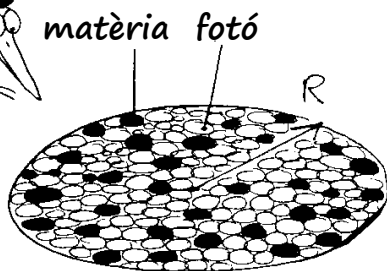
La situació era terriblement cronogènia (el temps solament volia aparèixer). El cronotró es va posar en marxa i això va estar el primer ESDEVENIMENT, el primer INSTANT.





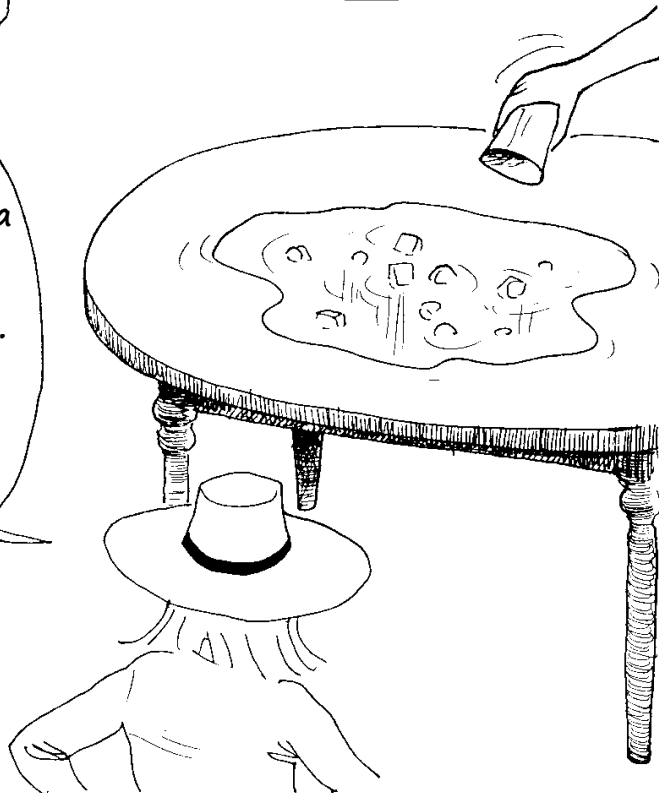
LA CONSERVACIÓ DE LA MASSA

Mireu el que passa: els fotons es dilaten. Les partícules materials no, elles no es dilaten pas.



La matèria, és espai glaçat.

Això fa pensar al que passa quan aboquem a sobre d'una taula un got ple d'aigua i de glaçons. La massa d'aigua s'estén, es dilata. Els glaçons segueixen aquesta expansió, però mantenen la seva dimensió.



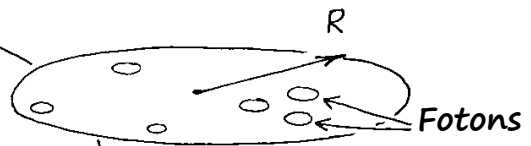
Ja que la dimensió de les partícules està lligada a la seva massa, dedueixo que LA MASSA ES CONSERVA.

Per contra, el conjunt de fotons (que es dilaten) perd ENERGIA.

Si R és el radi de l'Univers, ja que la longitud d'ona λ dels fotons segueix l'expansió (λ varia com R), dedueixo que la temperatura de radiació, que varia com $1/\lambda$, disminueix com $1/R$.

Tot passa com si l'univers creés el seu propi espai, el seu COSMÒTOP^(*), secretant... el buit...

Matèria i llum no són més que dues formes diferents d'una mateixa entitat: L'ENERGIA-MATÈRIA. El fotons mantenen la seva velocitat de 300 000 Km/s però perden la seva energia.



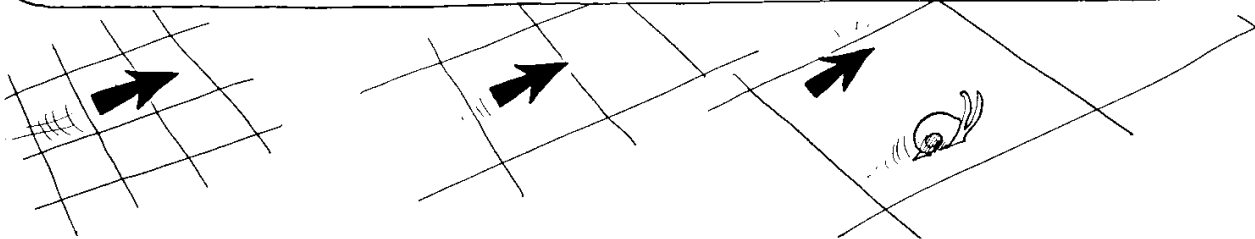
(*) De cosmos: COSMOS i topos: LLOC (el lloc on es troba l'Univers).

Vet aquí una imatge que descriu molt bé l'estirament del fotó i la pèrdua d'energia que flueix.



Però com es comporta la matèria en aquesta expansió?

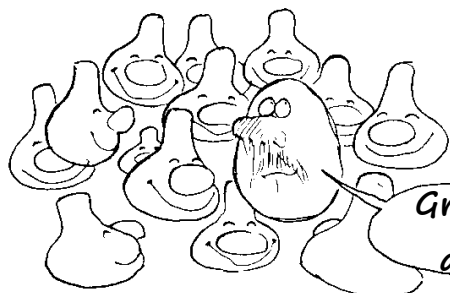
L'Univers secreta l'espai com una closca. Com més passa el temps més camí a fer tenen les partícules. Quan la mida de l'Univers es dobla, aleshores la velocitat d'agitació de les partícules materials disminueix a la meitat. La seva energia cinètica és, doncs, dividida per 4: la velocitat d'agitació varia com la inversa del radi R de l'Univers, encara que la temperatura T_m de la matèria variarà en $1/R^2$.



Uff... em canso...

Però... hem vist tot al moment en que la temperatura de radiació T_R variava a $\frac{1}{R}$.
La matèria tendeix, doncs, a refredar-se més ràpid?

Efectivament. Però les col·lisions fotons-matèria l'escalfen. Molt freqüents, mantenen l'estat d'equilibri termodinàmic ($T_R=T_m$), durant un temps.

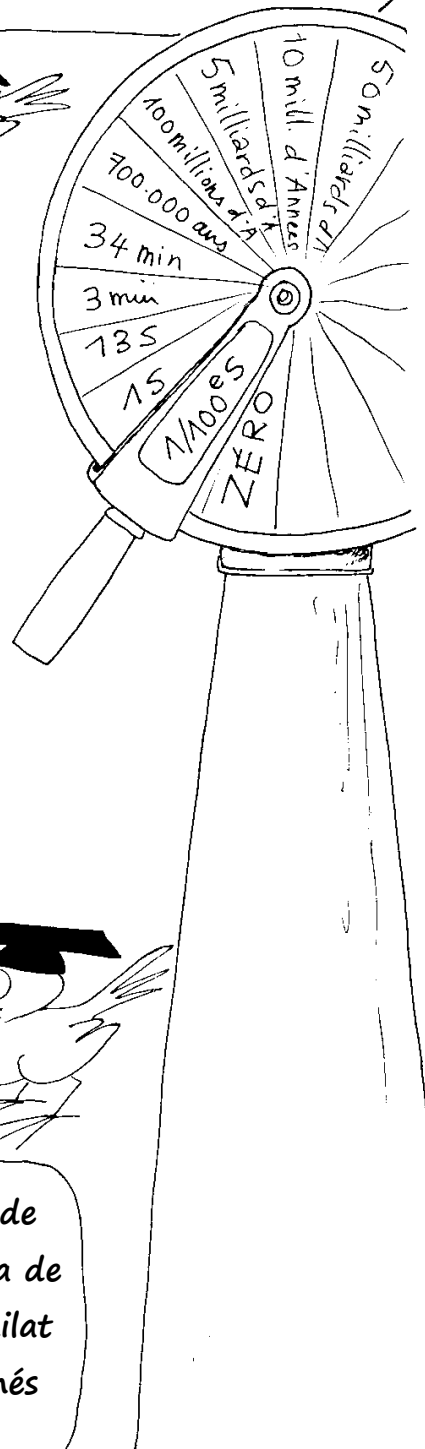
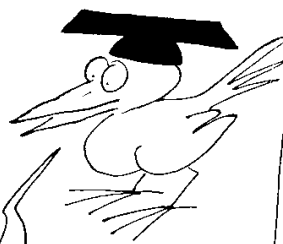


Gràcies,
amics meus.


Una centèsima de segon.



Els protons, els neutrons,
els antiprotons i els antineutrons
solament van a una dècima part de la
velocitat de la llum c .



La temperatura ($T_R=T_m$) ha caigut a cent mil·liards de graus, és a dir, molt per sota de la seva temperatura de l·lindar, que és deu mil mil·liards de graus. S'han anihilat de dos en dos a un ritme desenfrenat i no queda més que una d'un MILIARD.



Sofia, la majoria dels protons, neutrons, antiprotons i antineutrons han desaparegut. Però per què queden encara tants electrons i positrons (antielectrons)?

La temperatura de l'indar dels electrons és tan sols de sis miliards de graus.

Sis miliards de graus solament... has escoltat?

Diríem que es refreda.

Hi ha una cosa estranya: la temperatura és de cent miliards de graus. Els protons, neutrons, antiprotons i antineutrons van a una dècima part de la velocitat de la llum. Però els electrons encara són relativistes.

Sí, per què?

El medi és encara en estat d'EQUILIBRI TERMODINÀMIC:
l'aparellament de totes les espècies, i de la radiació, encara és intens. Les
energies cinètiques de partícules materials són, de mitjana, iguals:

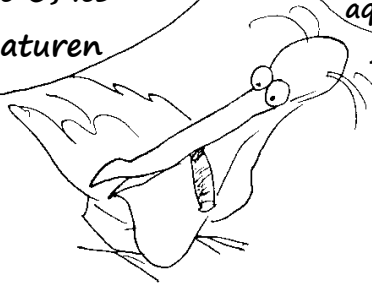
$$\frac{1}{2} M_{\text{protó}} (V_{\text{protó}})^2 = \frac{1}{2} M_{\text{electró}} (V_{\text{electró}})^2.$$



Espera... com la massa de l'electró és
1850 vegades més petita que la del protó
aleshores, necessàriament, per compensar, a
una temperatura donada, la velocitat
d'agitació de l'electró és molt
més elevada.

De fet, com l'energia-llindar de creació
d'una partícula de massa m és simplement
 mc^2 , quan el medi es refreda fins al punt
que la velocitat d'agitació V es torna
significativament més petita que C , les
creacions d'aquestes partícules s'aturen
i té lloc el despoblament.

Dit d'una altra
forma: quan una població
de partícules materials
deixa de ser relativista,
aquesta està anihilada.



Tretze segons.

La temperatura ha caigut a tres miliards de graus.

Oh, mireu els electrons i els antielectrons. Quina hecatombe!

Senyora, estem per sota de la seva temperatura de llindar.

Una veritable massacre de Sant Bartomeu còsmica!

Aquí, un altre cop, solament quedarà un d'un MILIARD!

Quin desapropitament...

Per poc, no quedarà RES...
solament fotons. Una sort...

Potser hi ha
d'altres Universos que
fracassen, al més enllà.

Un dels més grans misteris de la cosmologia
és de no poder explicar per què matèria i
antimatèria no s'han anihilat mútuament...

En aquest punt de la història, sempre és
igual: hi ha un moment on esquivem el
problema de l'ANTIMATÈRIA. Pfff!... desapareguda,
l'antimatèria.

Tirèsies, li recordo les nostres
convencions. Solament els FETS! Res
d'especulacions desenfrenades! (*)

Estic fart dels
epistemopolis.

Psss!...

(*) Un àlbum serà especialment dedicat a les especulacions desenfrenades.
"EL CARNESTOLTES DE LA CIÈNCIA": Antologia de les idees futures.

L'ERA RADIATIVA

De les partícules, ja no queden **MASSES**

Ara ja no queda gran cosa en aquest univers, a part la llum.

L'ENERGIA-MATÈRIA, que es trobava a parts iguals en forma de matèria, antimatèria, fotons i neutrins ara es troba, quasi exclusivament, en forma de fotons i de neutrins, és a dir, de radiació. D'altra banda, cada cop que la mida R de l'Univers es duplica, la densitat de la matèria disminueix. Simple dilució.

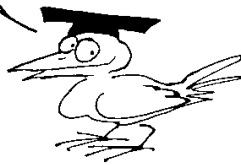
A sobre de la moqueta, quan R duplica, la densitat es divideix per $2 \times 2 = 4$. Al nostre univers tridimensional, de fet, aquesta densitat es divideix per $2 \times 2 \times 2 = 8$.

La densitat de matèria varia amb la inversa del cub de la "mida", del "radi" R de l'Univers.

Però, per nosaltres, els fotons, és molt més dramàtic. L'expansió ens "buida" de mica en mica de tota la nostra energia. La quantitat d'energia-matèria que transportem disminueix amb la inversa del radi R de l'Univers.

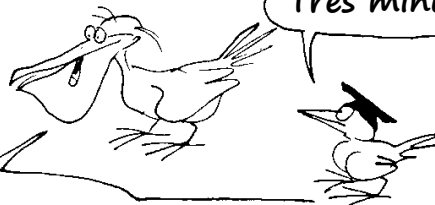
El que fa que la densitat d'energia-matèria que es presenta en forma de fotons varia amb la inversa de la quarta potència de R .

Mentre la matèria quedi acoblada als fotons, aquestes l'escalfen contínuament. I això fins que la seva temperatura (comuna: $T_R=T_m$) cau a 3000 K, és a dir, durant 700 000 anys.



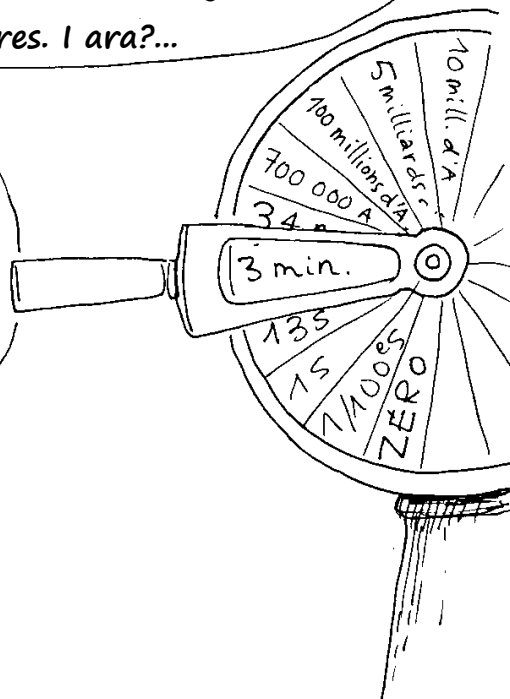
LA NUCLEOSÍNTESI

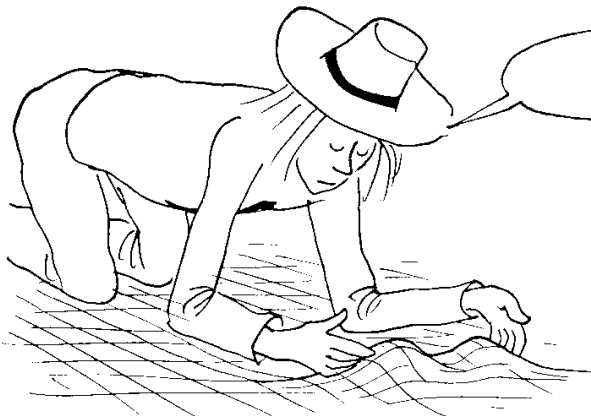
Tres minuts.



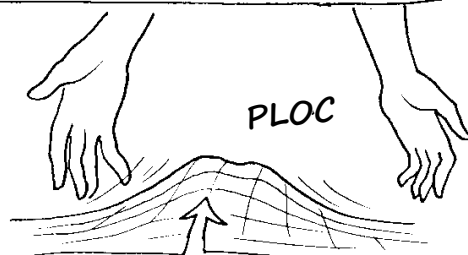
Bé... en relació a l'estat descrit, pàgina 31, a la primera centèsima de segon, la mida de l'Univers R ha estat multiplicada per cent i la temperatura ($T_R=T_m$) ha caigut a un miliard de graus. Gairebé no queda res. I ara?...

Vet aquí dos bonys.
I si provo de empènye'ls, fer-los relliscar l'un cap a l'altre.



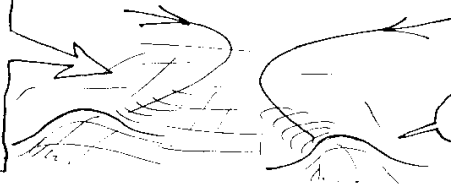


Es comencen a repel·lir.



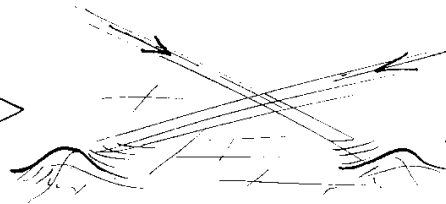
Després s'atreuen per formar un únic objecte.

Quan dos bonys col·lisionen, es presenten tres opcions: si van lentament, reboten l'un contra l'altre.



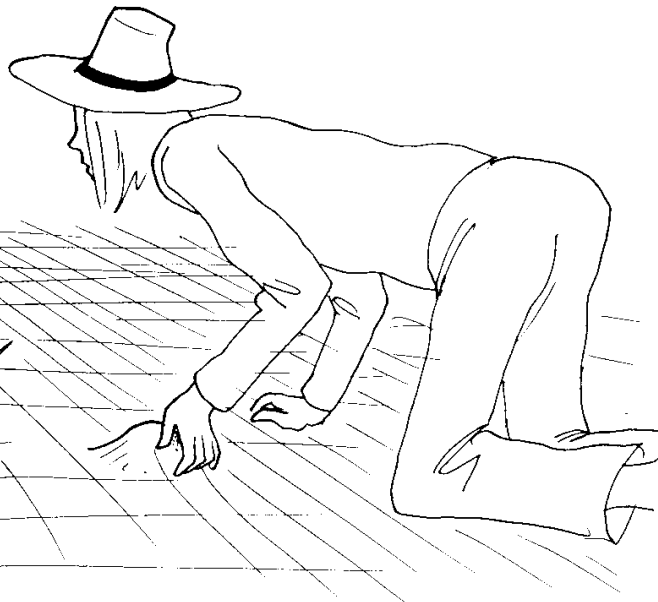
Oh, perdó...

Quan els bonys són molt ràpids, es creuen tan ràpidament que no tenen temps d'interactuar.



?...

Solament poden unir-se, doncs, en condicions ben definides de velocitat d'agitació i de temperatura.



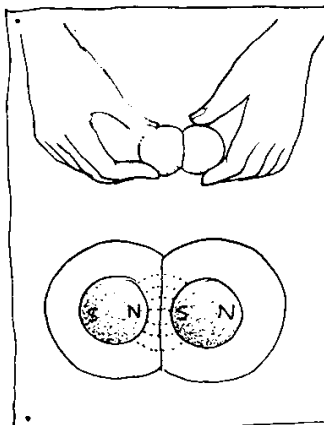
I una col·lisió violenta amb un tercer element trenca les estructures ja formades.



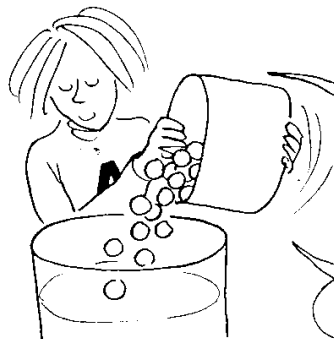
Aquestes reaccions de FUSIÓ generen els primers NUCLIS D'ÀTOMS. Aquesta MORFOGÈNESI va fer aparèixer les primeres FORMES, les primeres ESTRUCTURES de l'Univers.

És molt divertit, tot això. Fa falta una força d'atracció i una força repel·lent. A gran distància, la força repel·lent l'emporta, i a poca distància és el contrari.

Agafaré uns imants, que ficaré a dins d'esferes d'espuma.



L'espuma s'aixafa fàcilment, si premsó dues esferes l'una contra l'altra, aleshores queden enganxades l'una contra l'altra.



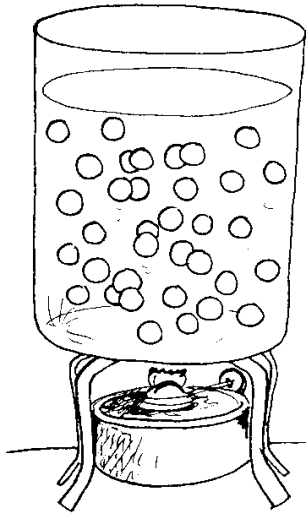
Ficaré aquestes boles a dins d'un gran recipient ple d'aigua...

... per permetre que es moguin.

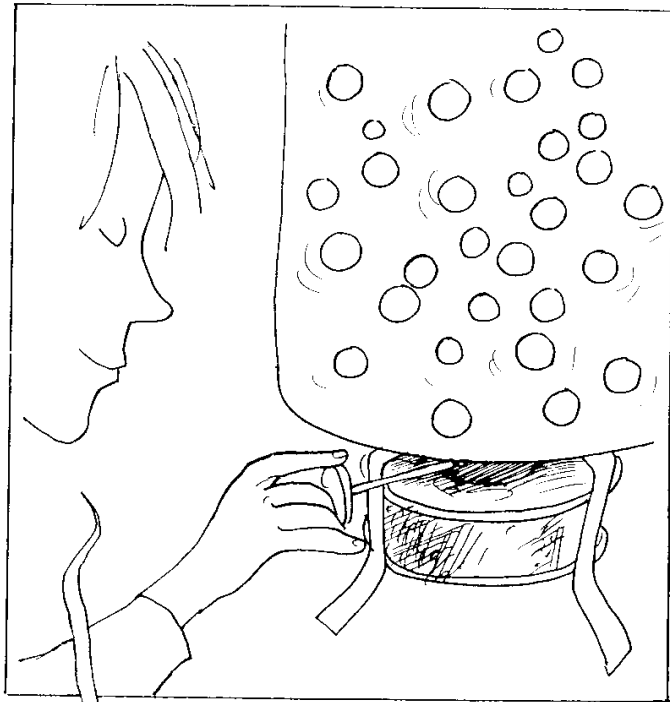
Dues forces intervenen. Una d'atracció: els imants. L'altra repel·lent: l'espuma quan està comprimida. Les forces intervenen quan les boles es toquen. L'abast de la força magnètica aquí és tan gran que cal que l'espuma estigui suficientment comprimida per entrar en joc. Existeix una posició, una configuració on les forces s'equilibren.



L'espuma dona a les boles una densitat pràcticament igual a la de l'aigua. Ara crearé un moviment d'agitació en escalfant-lo.

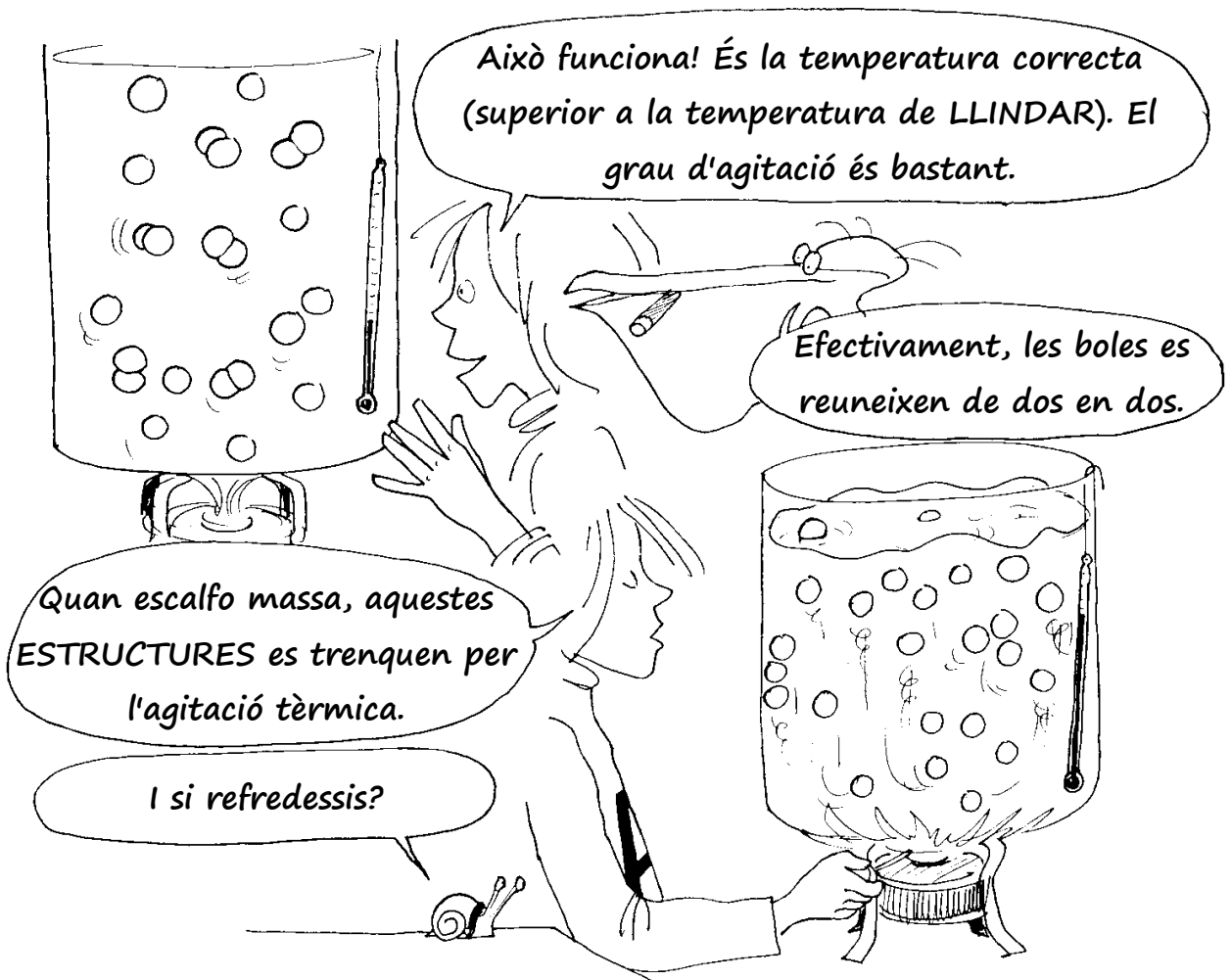


Quan l'escalfament és feble, les boles reboten suaument les unes contra les altres, i no succeeix res en absolut. Quan es xoquen de cara, no hi ha prou energia per comprimir l'espuma, i permetre a la força magnètica, que apareix a curta distància, d'actuar.



Bé, forçaré l'escalfament.

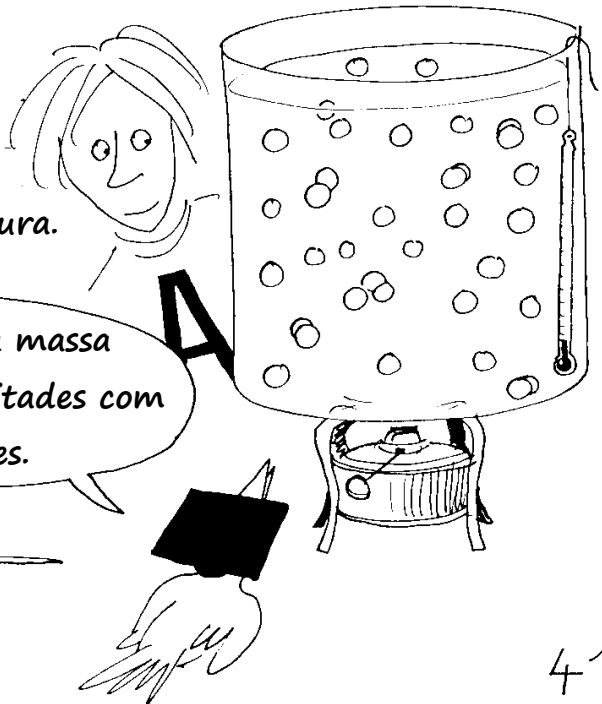




Anselm deixa que l'aigua es refredi. La TURBULÈNCIA baixa. A un moment concret, algunes boles s'uneixen. Però, com que la temperatura continua baixant, aquesta NUCLEOSÍNTESI s'atura.

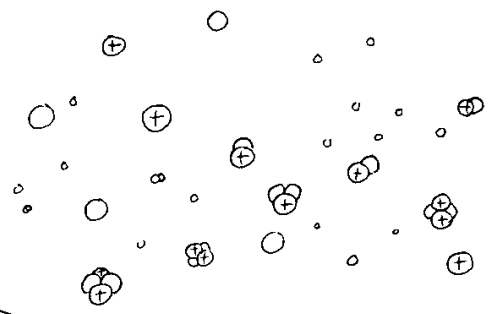
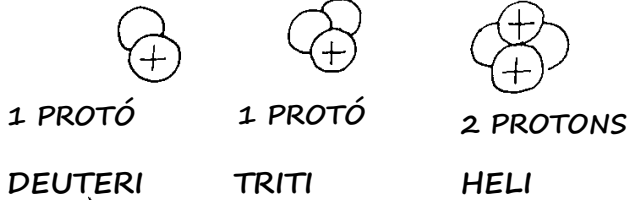
No hi ha res més a fer, ara. Està massa fred. Les boles no estan bastant agitades com per poder-se unir entre elles.

Estem per sobre del LLINDAR.



Passa el mateix quan la temperatura de l'Univers baixa per sota del **miliard de graus**, és a dir, al cap d' **alguns MINUTS**. Aleshores estructures de dues, tres o quatre "boles" es formen:

⊕ PROTÓ ○ NEUTRÓ



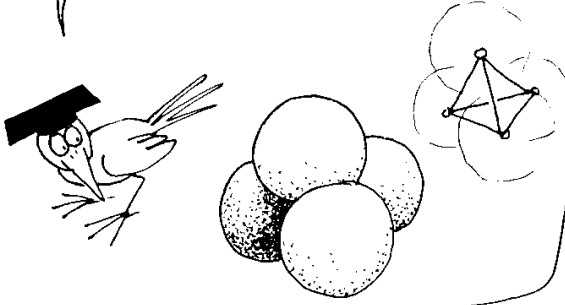
Però el DEUTERI i el TRITI tan aviat com es formen, es combinaran seguint la REACCIÓ NUCLEAR:

$$\oplus + \oplus \oplus \rightarrow \oplus \oplus \oplus + \circ$$

deuteri + triti dona heli més neutró

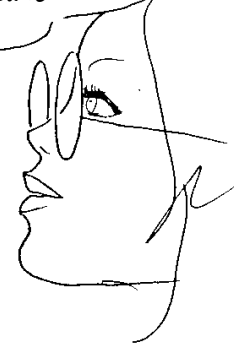
En aquest punt, l'Univers és una BOMBA D'HIDROGEN.

Aleshores, tot es transformarà en heli?

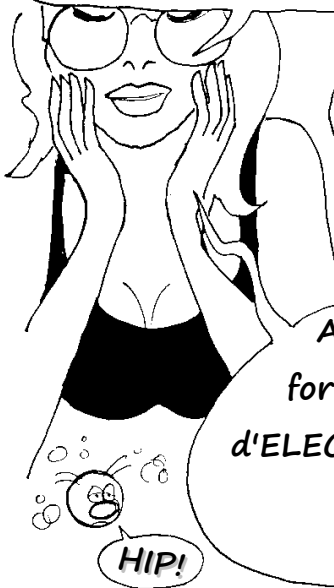


El nucli d'heli és molt simètric, compacte i sòlid. Si la temperatura es mantingués, tota la matèria es convertiria en heli. Però als 34 minuts, la temperatura baixa a 300 milions de graus i aquesta nucleosíntesi s'aturarà.

Els nucleons ja no tenen bastant potència com per vèncer la repulsió electrostàtica (+ rebutja +). El joc haurà acabat.



Els últims neutrons lliures s'han desintegrat. Són naturalment inestables i es transformen, en 109 segons, en una parella PROTÓ-ELECTRÓ.



Des de l'inici,
han passat 34 minuts.

I ara?

34 min

3 min

13 s

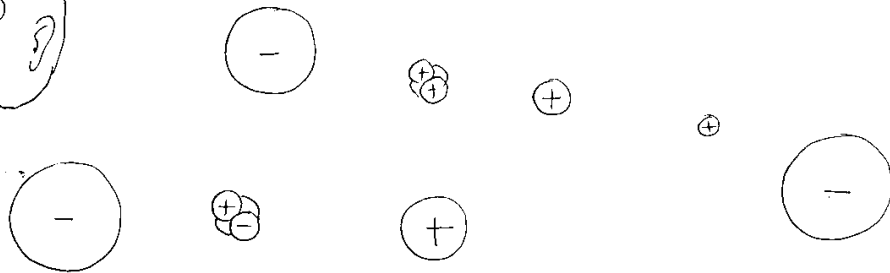
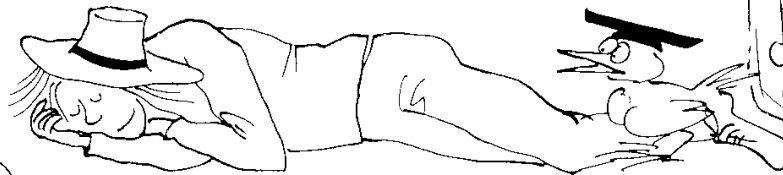
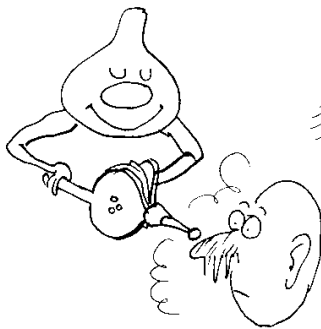
7 s

1/100 s

ZERO

Al final d'aquesta etapa, tenim una sopa primitiva formada de FOTONS, de NEUTRINS, de PROTONS, d'ELECTRONS i de NUCLIS D'HELI. La matèria ha quedat repartida, per pes, així: 25% d'HELI contra 75% d'HIDROGEN (protons lliures).

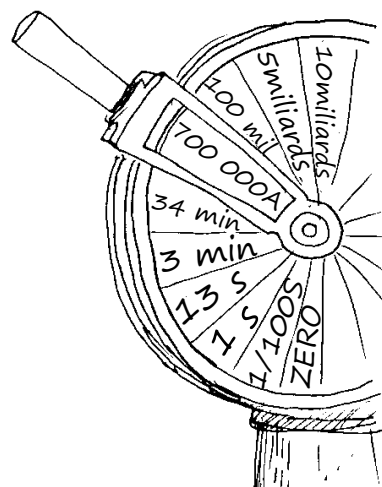
Durant 700 000 anys no passa RES en absolut. L'Univers es distén contínuament, i amb ell els fotons. El gas dels fotons segueix donant calor a la matèria, per a que les dues temperatures T_R i T_m es quedin iguals (equilibri termodinàmic).



I la temperatura baixa a 3000 kelvins.

L'UNIVERS TRANSPARENT

Un altre mecanisme MORFOGENÈTIC apareix. Les forces elèctriques tendeixen a lligar els electrons als nuclis per crear àtoms. L'agitació tèrmica ha baixat bastant com per que aquestes estructures no es trenquin, tan aviat es creen, a les col·lisions amb un altre àtom o amb altres components de la barreja.



Poc a poc, tots els electrons lliures són capturats pels nuclis.

Aquests àtoms estranys... amb els seus grans electrons. No m'acostumo!

I l'Univers es torna TRANSPARENT.

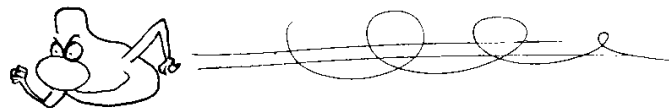
Què vols dir amb transparent. Abans era opac?!!

Abans, els fotons interactuaven constantment amb la matèria. Cap fotó no aconseguia obrir-se camí al mig d'aquest medi.

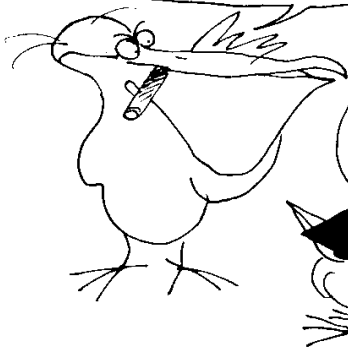
Pffff!

I EL DESACOBLAMENT

Ara s'ha acabat, els fotons poden travessar tot l'Univers sense adonar-se que la matèria existeix: hi ha un DESACOBLAMENT. Per dues raons. Primer hi ha més espai. Segon els fotons interactuen menys amb la matèria neutra (Àtoms).



Però, a veure, els telescopis ens envien imatges que, d'alguna forma, ens arriben "en directe del passat..."



Sí, però fins i tot amb un telescopi fantàsticament potent, mai no podrem observar un fenomen que va passar a una època on l'Univers tenia menys de 700 000 anys.

El passat, el passat molt antic de l'Univers es quedarà necessàriament borrós, ennuvolat.

Sí, és impossible psicoanalitzar l'Univers.



Com la matèria i els fotons han deixat d'interactuar, d'intercanviar energia, L'EQUILIBRI TERMODINÀMIC S'HA TRENCAT, i la temperatura de la matèria T_m comença a baixar més ràpidament (com la inversa del quadrat del Radi de l'Univers) que la temperatura T_R dels fotons, la temperatura de la radiació, que disminueix solament com la inversa d'aquest radi R .


Hola!

Ara que cadascú s'espavili.

Ei! Què passa? Sembla que es fa de nit. I fa molt de fred, de sobte...

L'Univers coneix ara una espècie de crepuscle. Segueix refredant-se. El cel passa de violeta a vermell fosc, després cau la nit com una placa freda. Encara hi ha un milió de fotons originals per cada àtom d'heli o d'hidrogen. Però aquests fotons, distesos per l'expansió, s'han tornat exsangües.

El BIG BANG, s'ha acabat. Els números van ser enlluernadors. Per poc no queda res (una partícula d'un miliard!).
Fa fosc com a dins d'un túnel.



Caram, quin fred més bèstia!

La longitud d'ona dels fotons és de $0,15\text{mm}$, el que correspon a una temperatura de radiació $T_R = -173^\circ\text{C}$.

Els àtoms es passegen a 150 m/s , el que dóna una temperatura de matèria de -267°C .

Bé, crec que he entès, més o menys, com funciona l'Univers.

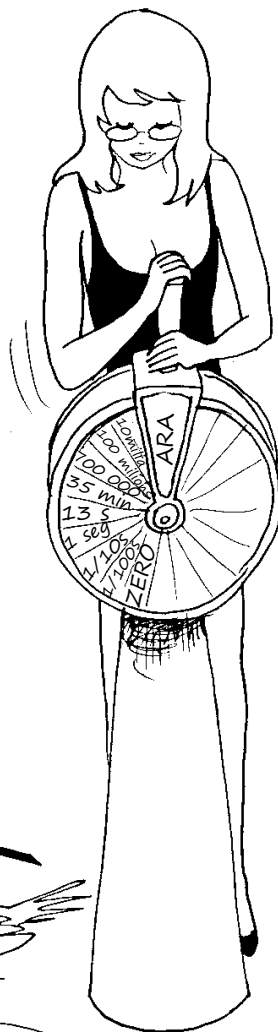
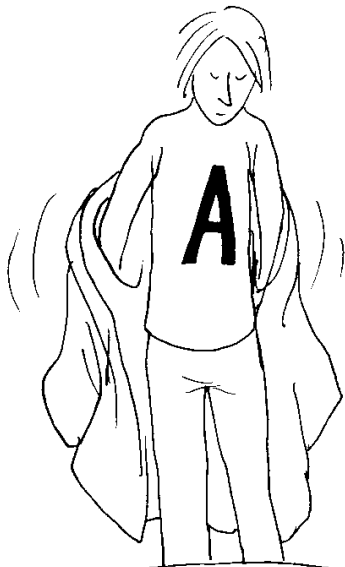
Però queda un qüestió important: per a què serveix?

Sí, Anselm té raó, quin sentit té això?

Això era útil?



Per respondre a la pregunta de Lleó, marxem d'aquest Univers de moqueta i situem-nos en el present.

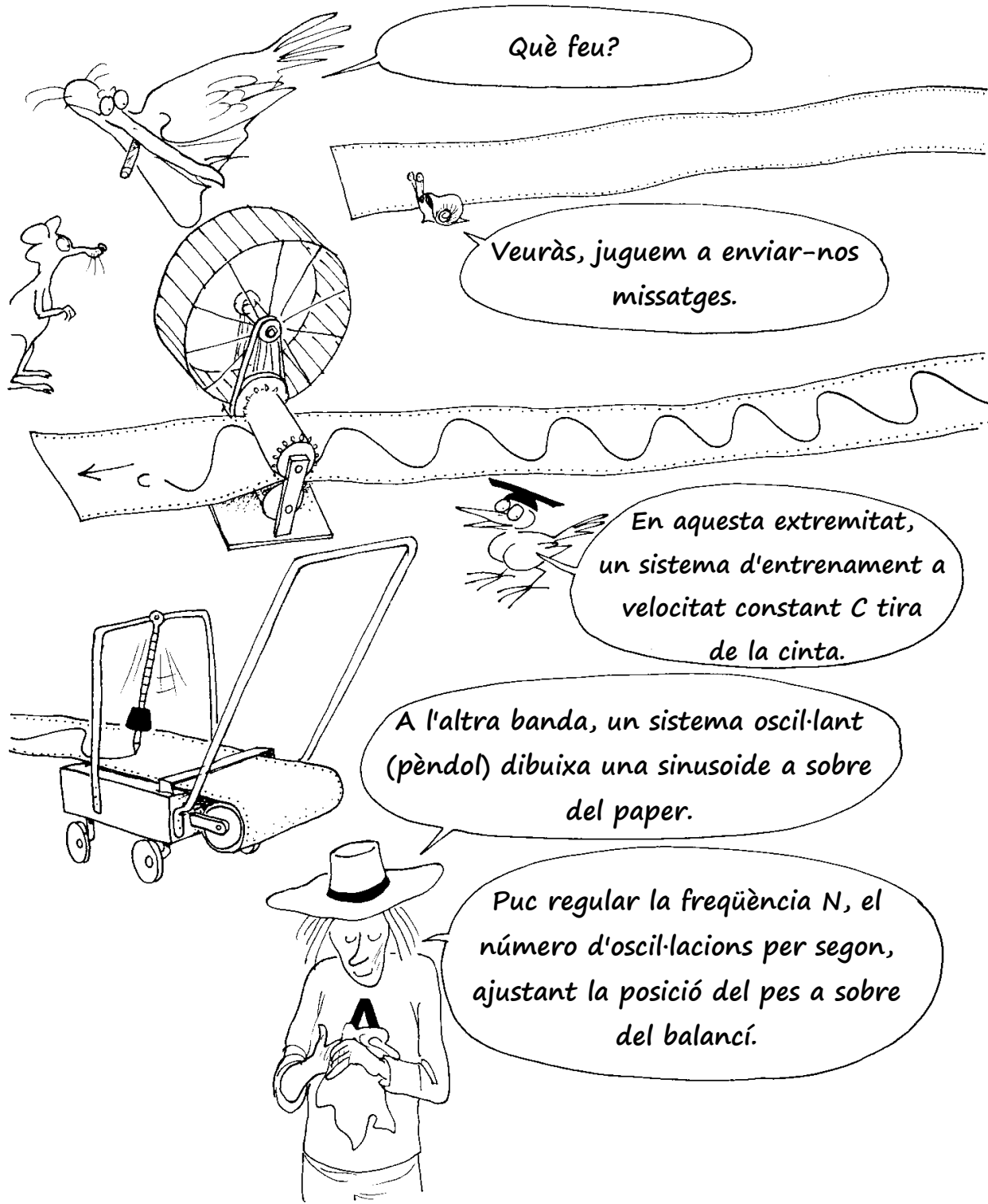


I tot el que ve després?
La formació de les galàxies,
dels estels...?
Ho deixem estar?...

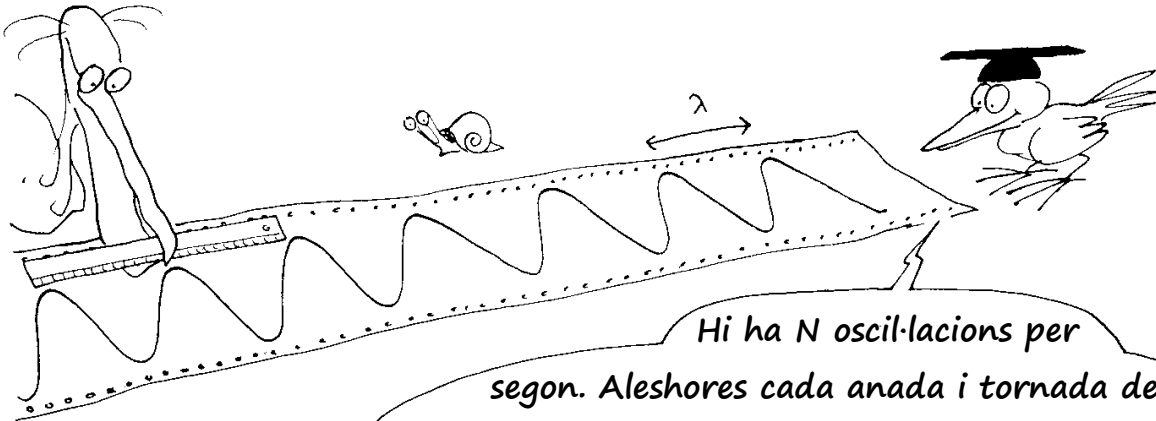


No, tot això serà explicat d'aquí
MIL SOLS.

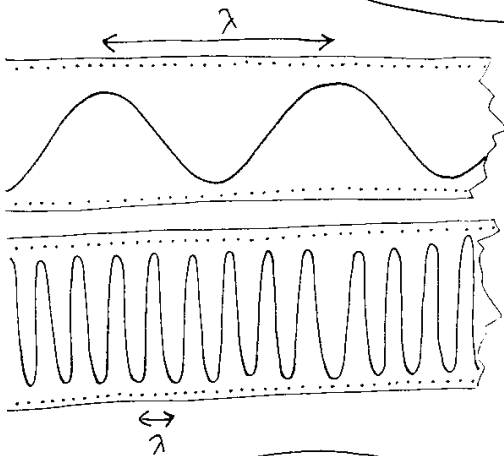
L'EFECTE DOPPLER



Ah, d'acord. I jo puc mesurar la longitud d'ona a la recepció.



Hi ha N oscil·lacions per segon. Aleshores cada anada i tornada del pèndol es fa en un $N^{\text{ème}}$ de segon: és el PERÍODE de l'ona. Durant aquest temps, la cinta avança de $\lambda = \frac{c}{N}$ (longitud d'ona).



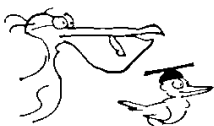
Baixa freqüència, gran període, gran longitud d'ona.
Alta freqüència, curt període, feble longitud d'ona.

Això permet comunicar.

La comunicació és important.

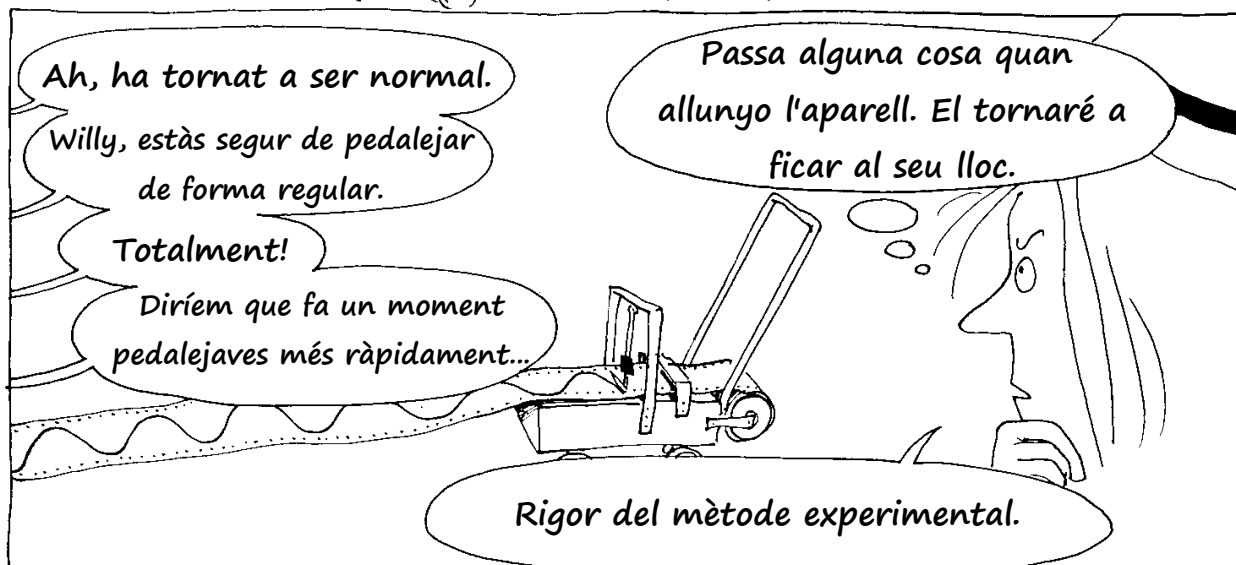
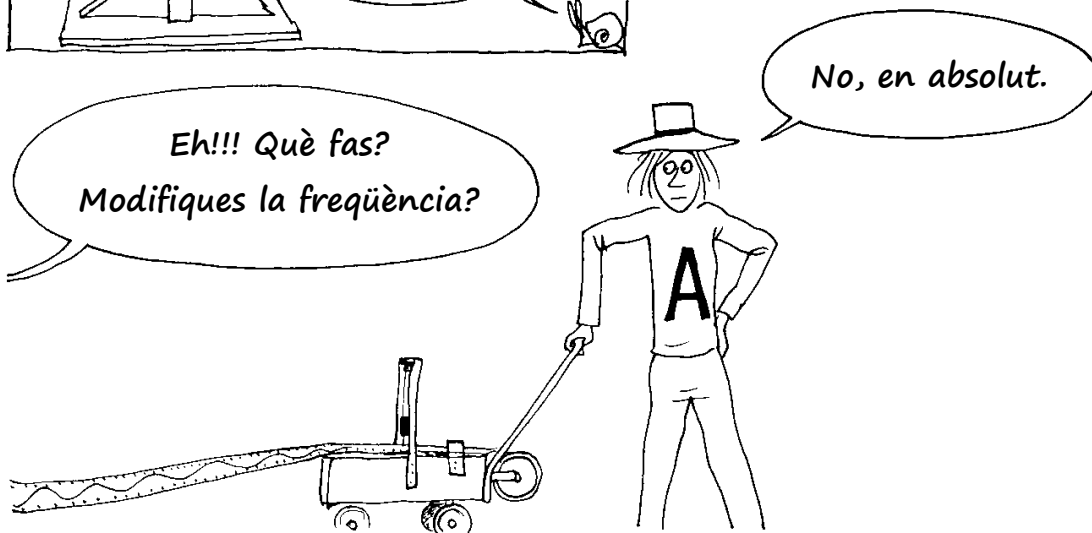
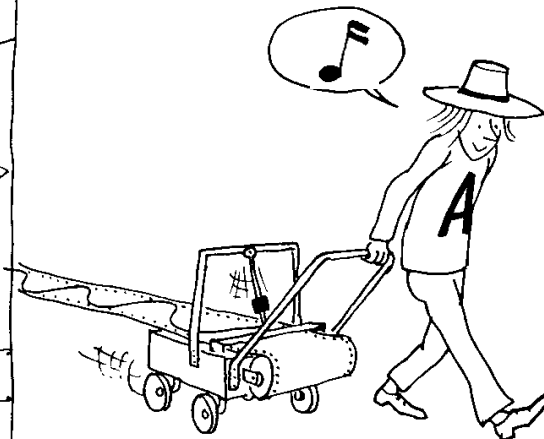
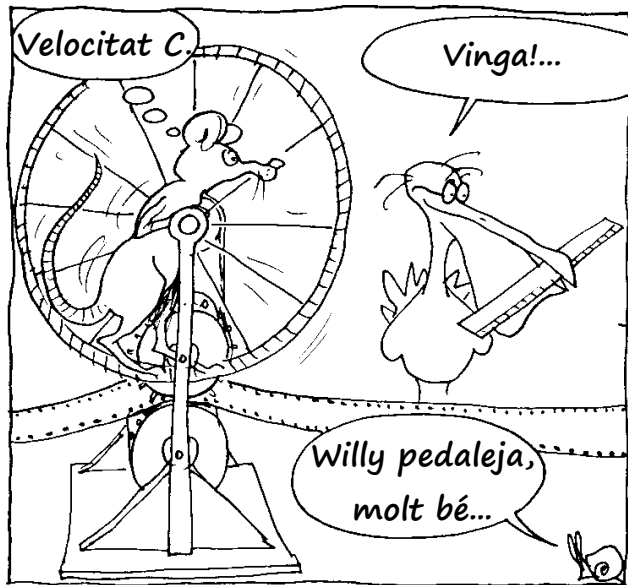


Bé. Faré un intent de transmissió a una distància més gran.



Preparats?



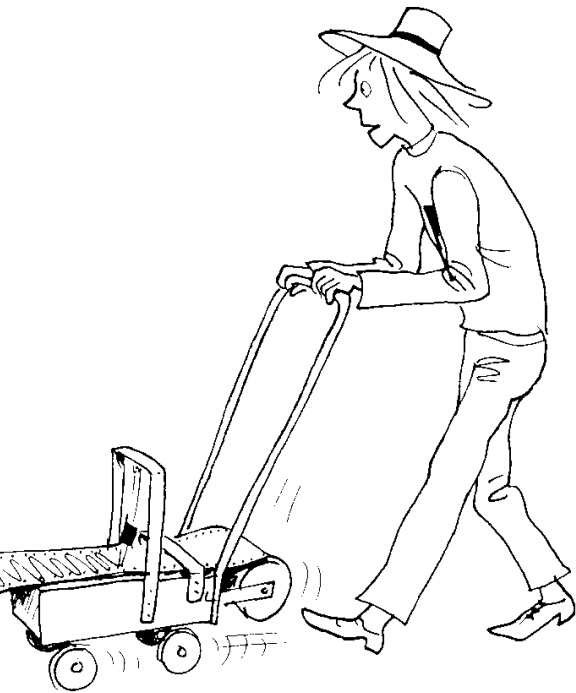




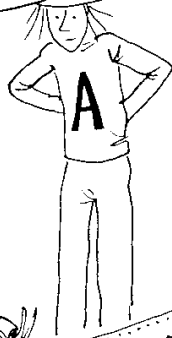
Willy, pedaleja, vinga!

Però si JO pedalejo!

Si no esteu contents, veniu a pedalejar per mi!



Aleshores nois, expliqueu-me el vostre cas.

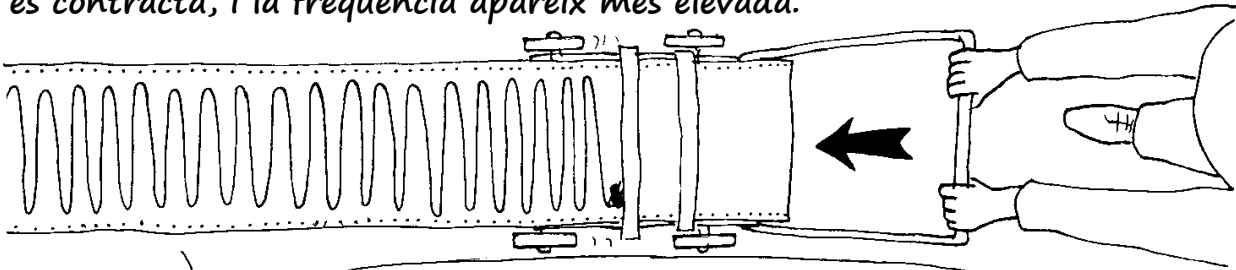


(A)

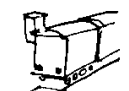
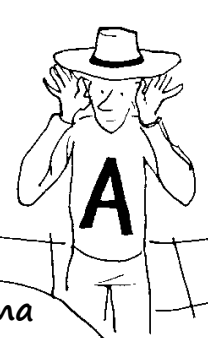
Ha tornat a la normalitat. Però fa un moment hi ha hagut un creixement de la longitud d'ona (A), és a dir, una baixada aparent de la freqüència, a la recepció. Més tard, després d'un interval normal (B), hem tingut un creixement de la freqüència, a la recepció, és a dir, un escurçament de la longitud d'ona λ .



Quan el carro s'apropa, avança a sobre de la cinta, la sinusoide es comprimeix, es contracta, i la freqüència apareix més elevada.



És exactament el que passa quan escoltes el xiulet d'un tren que passa a la teva vora. Quan s'apropa el so és més agut. Quan s'allunya el so és més greu.

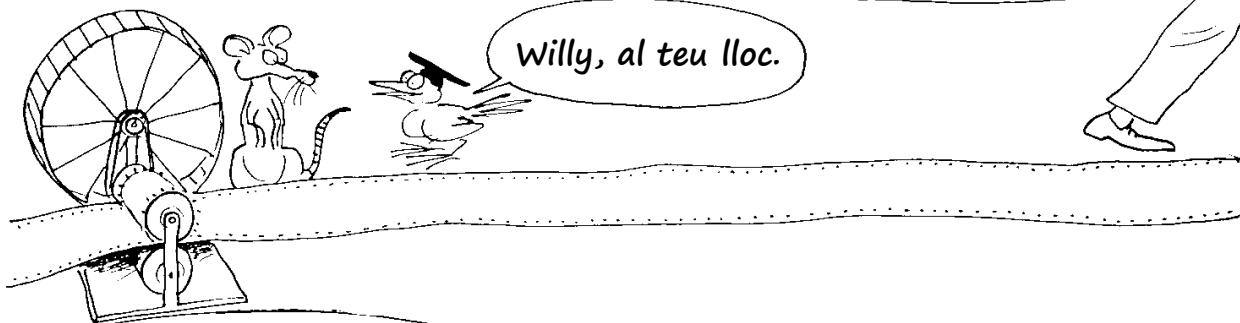


Aleshores, amb un sistema com aquest, quan conec a priori la longitud d'ona del senyal que seria emès per una font immòbil, puc calcular la velocitat d'aproximació o d'allunyament (recessió) de la font.

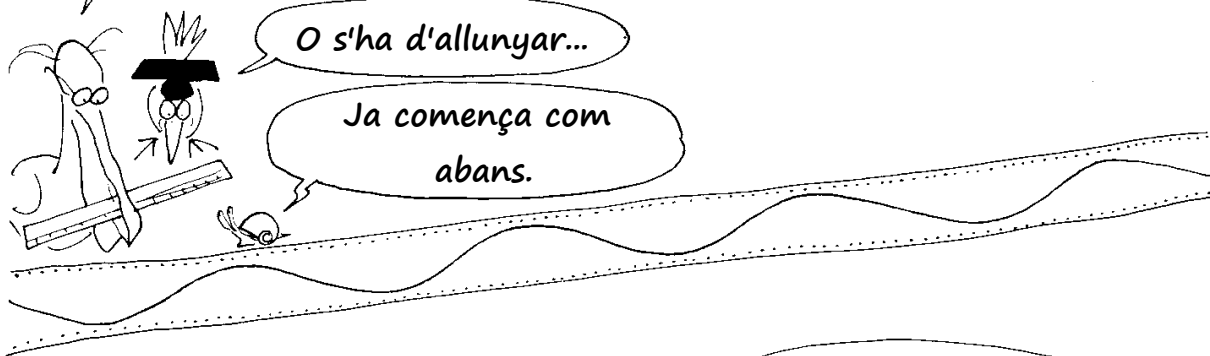


I el que és vàlid pel so també ho és per la llum. Els objectes que s'allunyen semblen més vermells, i els que s'apropen, més blaus.

Bé, retornem a les nostres experiències de transmissió a distància.



Ha canviat la freqüència?!



Sí, això és!
S'ha d'allunyar més.



Però que dieu, ximples,
no m'allunyo pas perquè estic
AQUÍ!...



LA FUITA DE LES GALÀXIES

I aleshores?!!

Això vol dir...

... que l'espai es mou.

Quina angoixa!!!

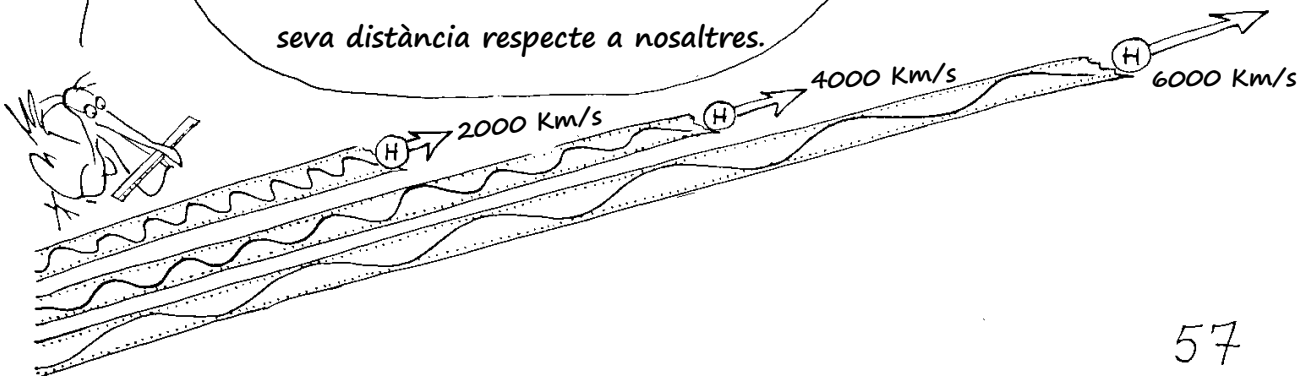
Tot fot el camp!...

Aquesta història de moqueta que es distén...

Exactament, és d'aquesta forma que en 1930, Edwin Hubble va descobrir l'EXPANSIÓ DE L'UNIVERS, en s'adonant que les galàxies llunyanes ens fugien: per l'efecte DOPPLER-FIZEAU, són cada cop més vermelles a mida que s'allunyen.

Aquests àtoms d'hidrogen emeten en principi en una longitud d'ona de 21 cm. L'efecte Doppler m'indica les velocitats de fuga de 2000, 4000, 6000 Km/s.

Hubble pot avaluar la distància separant-nos d'aquestes galàxies, basant-se en la seva lluminositat aparent. I va deduir que aquesta velocitat de fuga era senzillament PROPORCIONAL a la seva distància respecte a nosaltres.



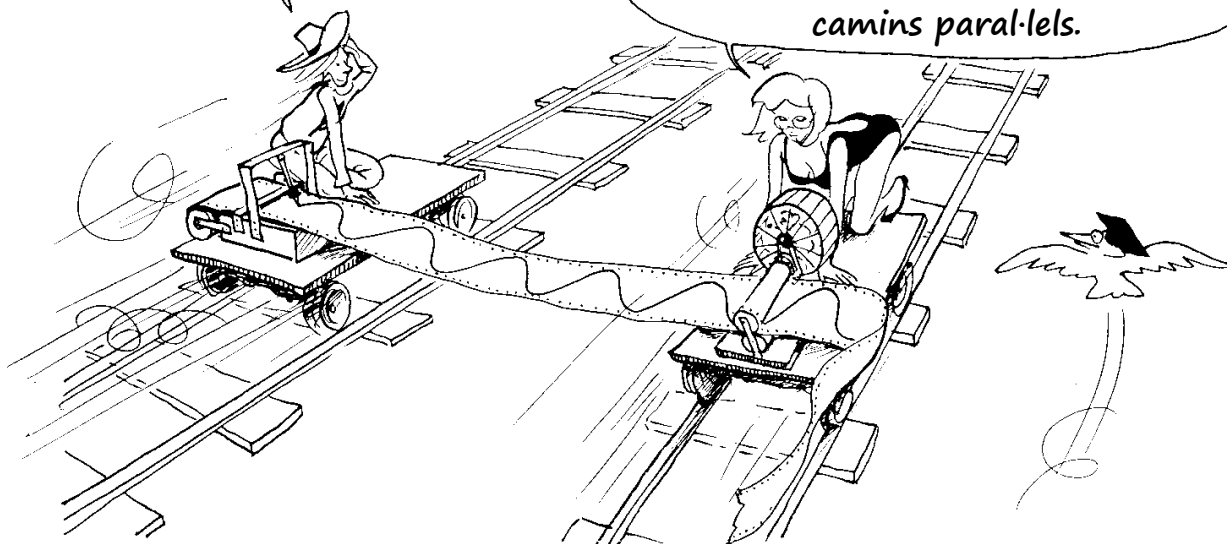
Espereu, què vol dir això?
Els objectes acceleren quan s'allunyen
de nosaltres?

No exactament. La moqueta es
dilata per tots els costats. Imagina un
punt A que, al temps $t=0$, es troba a
un metre de tu. Al cap d'un segon, es
troba a $1m20$. La seva velocitat de
fuita és, aleshores, de 20 cm/s .

Dins del mateix lapse de
temps, un punt B, situat inicialment a
2 metres de tu. Es trobarà a $2m40$
(en B') i la seva velocitat RESPECTE A
TU és de 40 cm per segon .

L'efecte DOPPLER indica
les VELOCITATS RELATIVES.

No hi ha variació de longitud
d'ona quan l'emissor i el receptor van
a la mateixa velocitat per
camins paral·lels.



Aleshores, tot el nostre Univers es troba en expansió?



Espereu, tinc una altra idea. Suposem que el temps... s'accelera.



Però això... no vol dir res?!!



Les oscil·lacions dels àtoms, com per exemple dels àtoms d'hidrogen, són com el "pols" de l'Univers. Imagina un Univers on el seu pols s'accelera. Com més envellim, més ràpid bat aquest "pols". Les imatges del passat ens arriben com una pel·lícula a càmera lenta. I l'efecte Doppler és tan sols una il·lusió.



I tant, Tirèsies, podem imaginar-ho tot, i això que dius és com dir que les lleis de la física evolucionen en el temps, cosa que va predir Fred Hoyle.

EL FONS DEL CEL ÉS FRED



Però existeix un altre argument a favor de l'expansió, i del seu corol·lari, el BIG BANG.

Mi!

Fa un moment, hem vist que solament un fotó sobre un miliard havia pogut transformar-se en matèria.



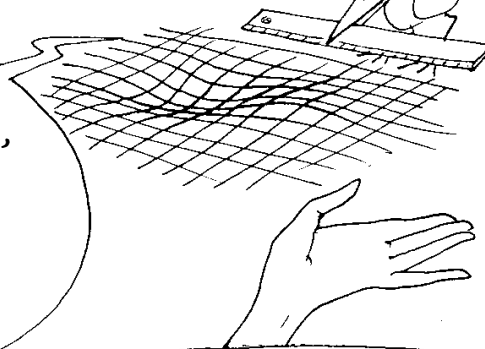
I en antimatèria!



Aleshores, hauria de quedar una gran quantitat d'aquests fotons primitius, aproximadament 500 per centímetre cub. (I la mateixa quantitat de neutrins, més difícils de detectar).



La seva longitud d'ona hauria de ser de cinc mil·límetres, el que correspondria a una temperatura de radiació T_R de tres graus absoluts (-270°C).



Aquests fotons, d'energia molt feble, Penzias i Wilson els van detectar en 1964. Ells són la veritable cendra del BIG BANG, una prova tangible d'aquest gran ball còsmic.



Mi!!!

Ei...

L'HORIZZÓ COSMOLÒGIC

Sofia, segons la LLEI DE HUBBLE,
la velocitat de fuga dels objectes creix
amb la distància...

Així doncs, lògicament, han
d'existir objectes que s'allunyen de
nosaltres a velocitats iguals o, fins i tot,
superiors a la velocitat de la llum?!!

Aleshores, ja no
podem rebre
aquesta llum?!

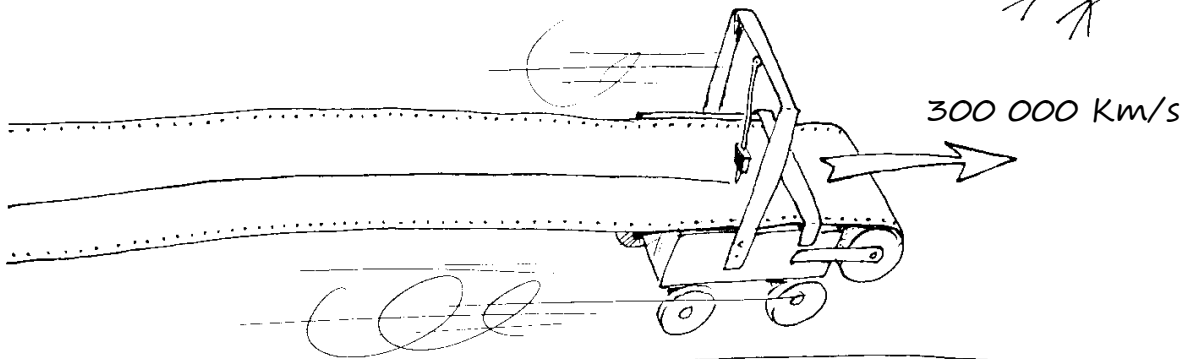
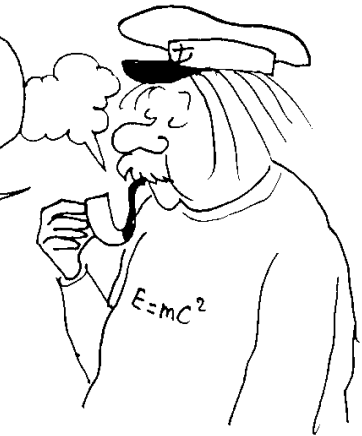
Per què? Si un avió s'allunya
de mi a una velocitat supersònica,
puc escoltar igualment el soroll
que produeix, no?



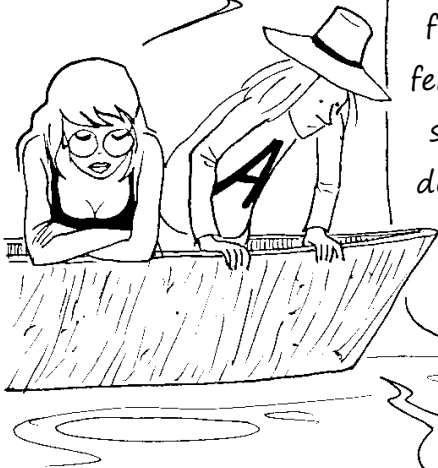
Anyells meus,
no és així que cal
veure les coses.

El fet de desplaçar-se incideix sobre el TEMPS (*).
Un objecte que es desplaça a una velocitat apropant-se a
300 000 Km/s, de la velocitat de la llum, es troba,
respecte a nosaltres, observadors, a dins d'una "bombolla
de temps" diferent. Percebem el seu missatge com una
espècie de pel·lícula a càmera lenta.

I si aquest objecte es mou, respecte a nosaltres,
a la velocitat de la llum, el derrapatge temporal és
total. El seu temps sembla lligar-se com una salsa.



Per culpa d'aquesta relliscada, d'aquest
derrapatge dels temps l'un respecte a l'altre, la
freqüència de les ones, a la recepció, baixa. I aquest
fenomen, d'essència relativista, acaba de superposar-
se, afegir-se a l'efecte DOPPLER. Quan la velocitat
de fuga de l'emissor, respecte a nosaltres, arriba a C,
la freqüència de les ones rebudes baixa a zero.
Més energia, més ones, més missatges!



Onades a freqüència nul·la,
ja no són onades!

(* Veure TOT ÉS RELATIU, del mateix autor, edicions BELIN.

Pels objectes que ens envolten, una velocitat relativa igual a 300 000 Km/s és atesa sobre una esfera anomenada HORIZZÓ. No és la frontera DE LES COSES QUE EXISTEIXEN sinó la frontera de les COSES QUE PODEM CONÈIXER. L'Univers accessible pot no ser més que una porció d'un univers més vast. Aquest horitzó es troba a una desena de miliards d'anys-llum. L'abast del telescopi terrestre actual més potent, el PALOMAR, és d'un miliard d'anys-llum.

La Direcció

Però què significava, fa un moment, aquest radi R de l'Univers?



La història va començar quan l'Univers datava d'una centèsima de segon. Imagina que en aquest moment, haguéssim dibuixat un cercle, o millor encara, una esfera, de radi R i que seguim l'expansió d'aquesta esfera com referència al llarg del temps. Res més...

Fent-lo sense prejudicar el fet que l'espai pugui ser finit o infinit (*).

Té uns ulls preciosos.

Eh, vosaltres dos!


Aquest còmic encara no s'ha acabat!

HiHiHi


Encara us necessitem.

(*). Veure EL GEOMETRICÓ, mateix autor, edicions Belin.


ELS MODELS DE FRIEDMANN




Sofia, què provoca l'expansió de l'Univers?




Són les forces de PRESSIÓ. Tot passa com si l'Univers hagués EXPLOTAT com una bomba.




I res no s'oposa a aquesta expansió?




Les forces de gravetat tendeixen a fer condensar-se l'Univers sobre ell mateix, a fer-lo IMPLOSIONAR.




No podem concebre un univers on les forces, de pressió i gravitacionals, s'equilibressin?



Podem mostrar que l'equilibri és impossible. A la mínima desviació respecte a l'equilibri, aquest Univers "estàtic" explota o implosiona.



EXPLOSIÓ

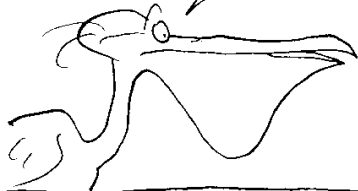


IMPLOSIÓ

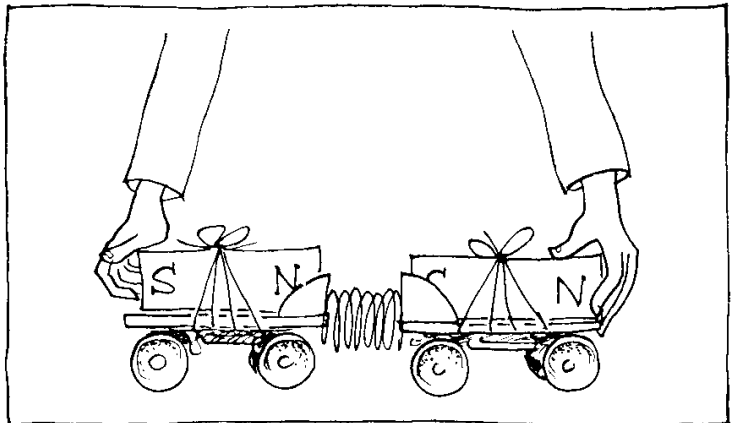
Però, aleshores, digueu-me, el nostre Univers hauria pogut... implosionar en comptes d'explotar?

En cert sentit és una sort...

Qui diu, doncs, que el temps, ell mateix, no hauria engegat... marxa enrere...



Psss!...



Anselm ha lligat dos imants a sobre de dos patins. S'atreuen. Però una molla comprimida tendeix a apartar els patins l'un de l'altre.



Veus, els imants representen les forces de gravitació, atractives, cohesives. La molla representa les forces de pressió.





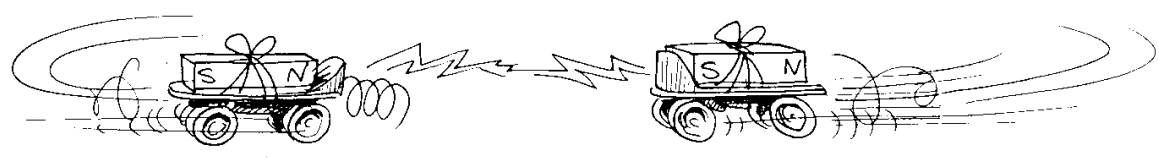
Quan allibero el conjunt, els patins són projectats lluny l'un de l'altre.

Dos casos es presenten: o l'impulsió comunicada als patins és prou forta, i s'allunyen l'un de l'altre indefinidament. Com més s'allunyin menys la força d'atracció, que varia com l'invers del quadrat de la distància, serà sensible.



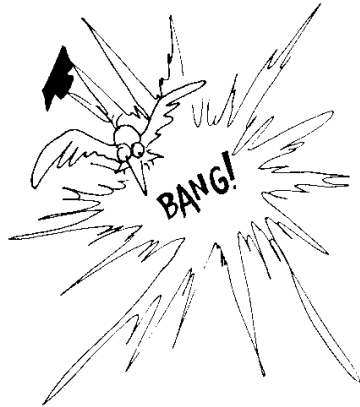
Si les friccions són inexistent, els patins acabaran per adquirir una VELOCITAT CONSTANT.

O l'impulsió donada per la molla és massa feble, o els imants massa forts. Aleshores els patins tornaran, "cauran" l'un contra l'altre, a velocitat creixent.

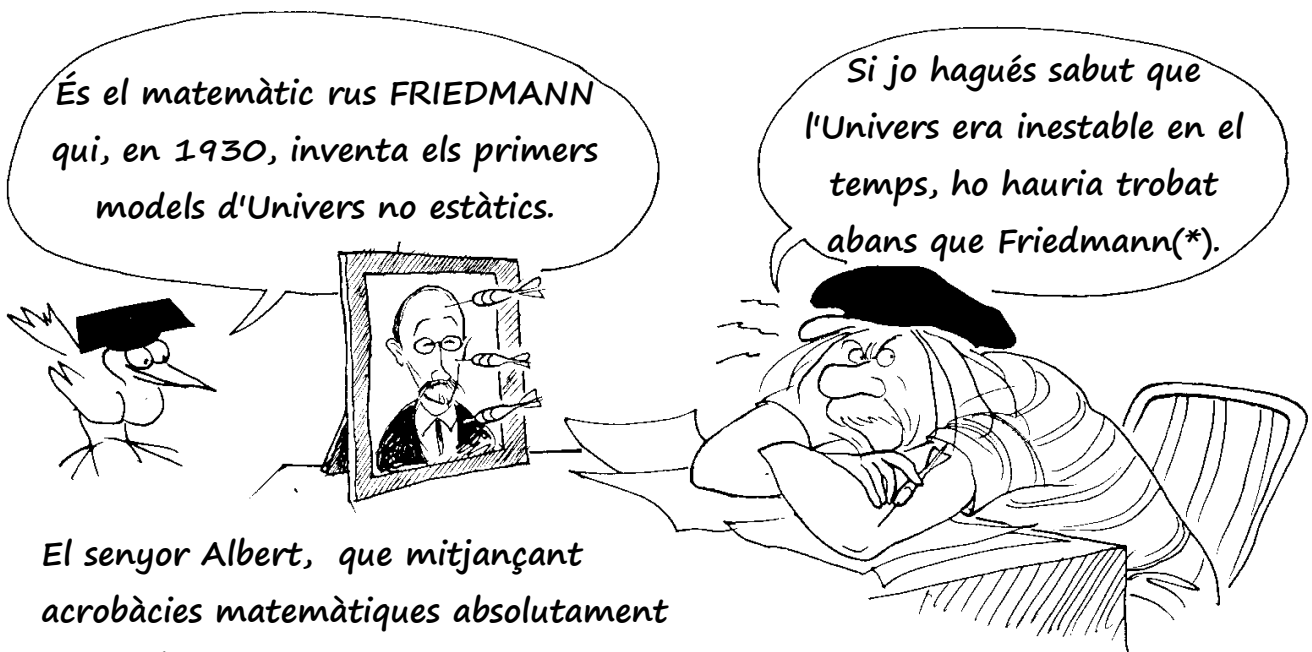


Això evoca dos tipus d'Univers possibles:

Primer escenari: l'expansió continua indefinidament. Quan els últims estels s'apagaran, serà la nit, el fred absolut, la MORT TÈRMICA.



Segon escenari: les forces de gravetat acaben per emportar-lo. Després d'una situació d'extensió màxima, l'Univers "recau sobre ell mateix". Totes les estructures, galàxies, estels, són polvoritzades. Els àtoms es trenquen. I el BIG BANG es viu al contrari, fins a un nou rebot de l'Univers, una nova fase d'expansió.



És el matemàtic rus FRIEDMANN qui, en 1930, inventa els primers models d'Univers no estàtics.

Si jo hagués sabut que l'Univers era inestable en el temps, ho hauria trobat abans que Friedmann(*).

El senyor Albert, que mitjançant acrobàcies matemàtiques absolutament impossibles, havia creat en 1917 el seu model estacionari, va quedar consternat. Friedmann li havia robat la seva victòria. Va deixar de banda la relativitat general durant molts anys.



Segons els models de Friedmann, l'Univers està en expansió indefinida si la densitat (actual) de matèria és inferior a 5×10^{-30} grams per centímetre cub. Aquest Univers tindria, a més a més, un volum, una extensió espacial infinita.

(*) Autèntica observació d'EINSTEIN.

les ~~LA~~ GEOMETRIA ~~es~~ DE L'UNIVERS

L'Univers és, per nosaltres, una hipersuperfície de quatre dimensions, on es barregen l'espai i el temps. Les idees evocades a les pàgines anteriors corresponen cadascuna a una presentació diferent d'aquesta ENTITAT-UNIVERS que és L'ESPAI-TEMPS.

L'Univers...
quina FORMA té?

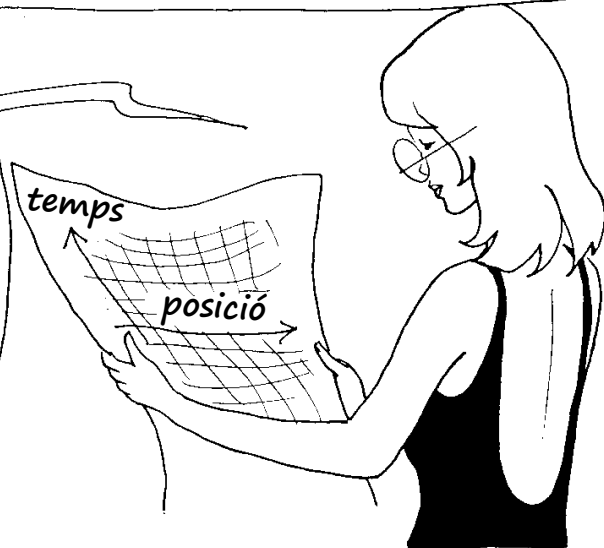
Ai no...!

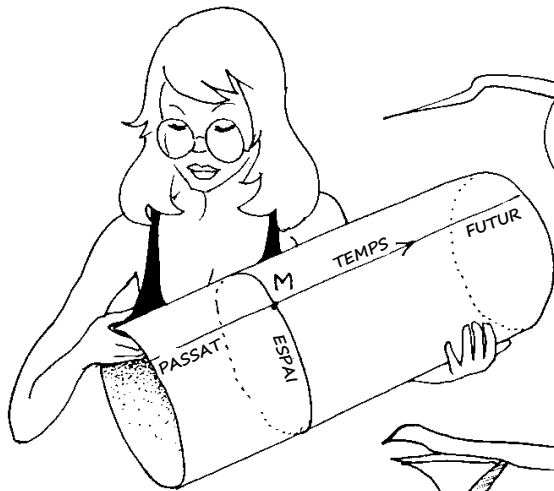
Recordem que el nombre de dimensions d'un espai és el nombre de quantitats que fan falta per definir la posició d'un punt.



Cita ¹ dimarts a les onze a l'angle de la ² Sexta avinguda i del ³ Cinquè carrer al ⁴ Tercer pis : quatre quantitats.

Mitjançant un dibuix, solament podem representar espais de DUES dimensions, SUPERFÍCIES. Estudiarem, doncs, espais-temps de 2 dimensions, éssent una la posició i l'altra el temps.



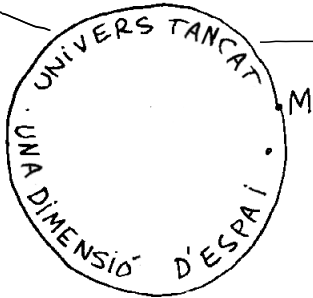


Així, el primer model d'Univers tancat, el model estàtic d'Einstein, es pot representar mitjançant un cilindre.

Espereu, si ho comprenc bé, aquest cilindre, nosaltres estem... a dins?

No, a sobre!

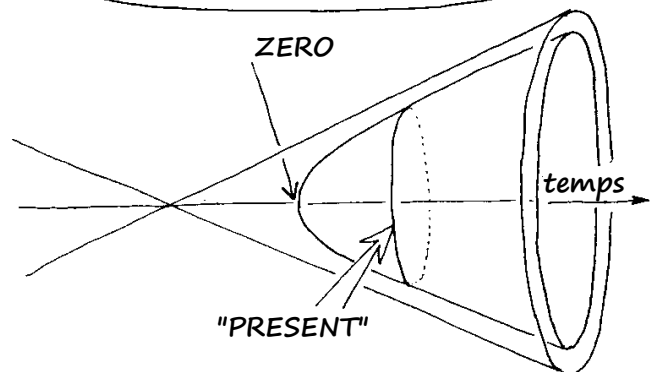
A un moment donat, un objecte és aquest punt M a sobre de la superfície, i el conjunt de l'Univers es redueix a aquest cercle.

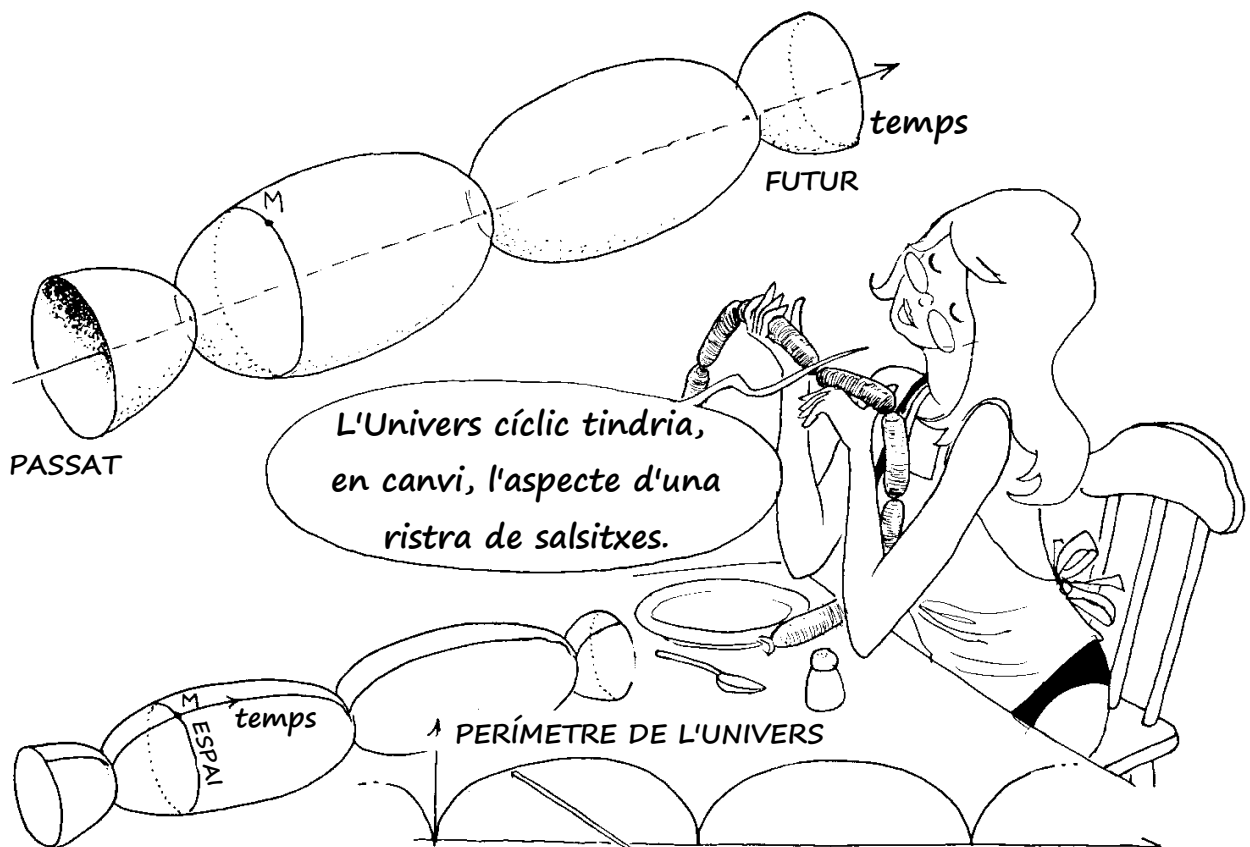


Quan l'objecte està immòbil descriu una generatriu del cilindre, al llarg del temps.

És fàcil representar la dilatació d'aquest univers tancat en funció del temps, el que dona un model d'univers no estacionari.

Vet aquí, per exemple, l'imatge en 2 dimensions d'un espai-temps en expansió indefinida.





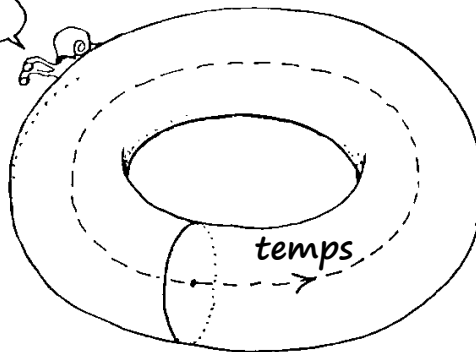
L'Univers cíclic tindria, en canvi, l'aspecte d'una ristra de salsitxes.

Però, per cert, per què el temps hauria de ser necessàriament "OBERT", és a dir, infinit al mateix temps cap al futur i cap al passat?



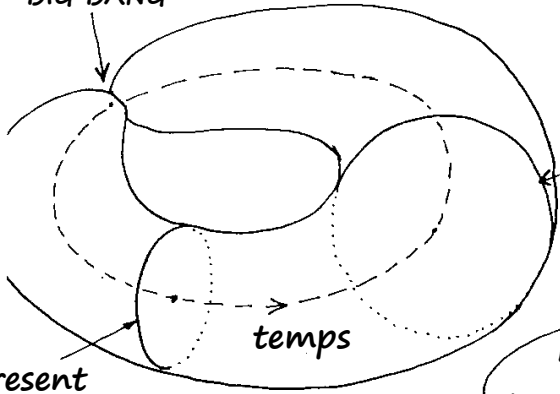
Cap problema...
si tanquessim sobre
si mateix el model d'Einstein,
obtindríem... un TOR.

Un altre
cop!...



A dins d'aquest ESPAI-TEMPS totalment tancat, els mateixos esdeveniments es reproduïxen idènticament al cap d'un temps τ , seria el PERÍODE d'aquest univers estrany.

SINGULARITAT
BIG BANG



També podem tancar sobre si mateix un univers cíclic.

ESTAT D'EXPANSIÓ
MAXIMAL



Es transforma en una ristra de salsitxes,
tancada sobre si mateixa, amb una sola salsitxa!

S'ha desmaiat,
era previsible...



EPÍLEG

Vet aquí el que sabem sobre l'inici de l'Univers.



Bé... el que CREIEM SABER. Ha canviat moltes vegades des de fa 5000 anys!

... "Però aquest esforç reconegut per comprendre l'Univers, és una de les rares coses que eleven la vida humana per sobre de la farsa, atorgant una mica de dignitat a la tragèdia".

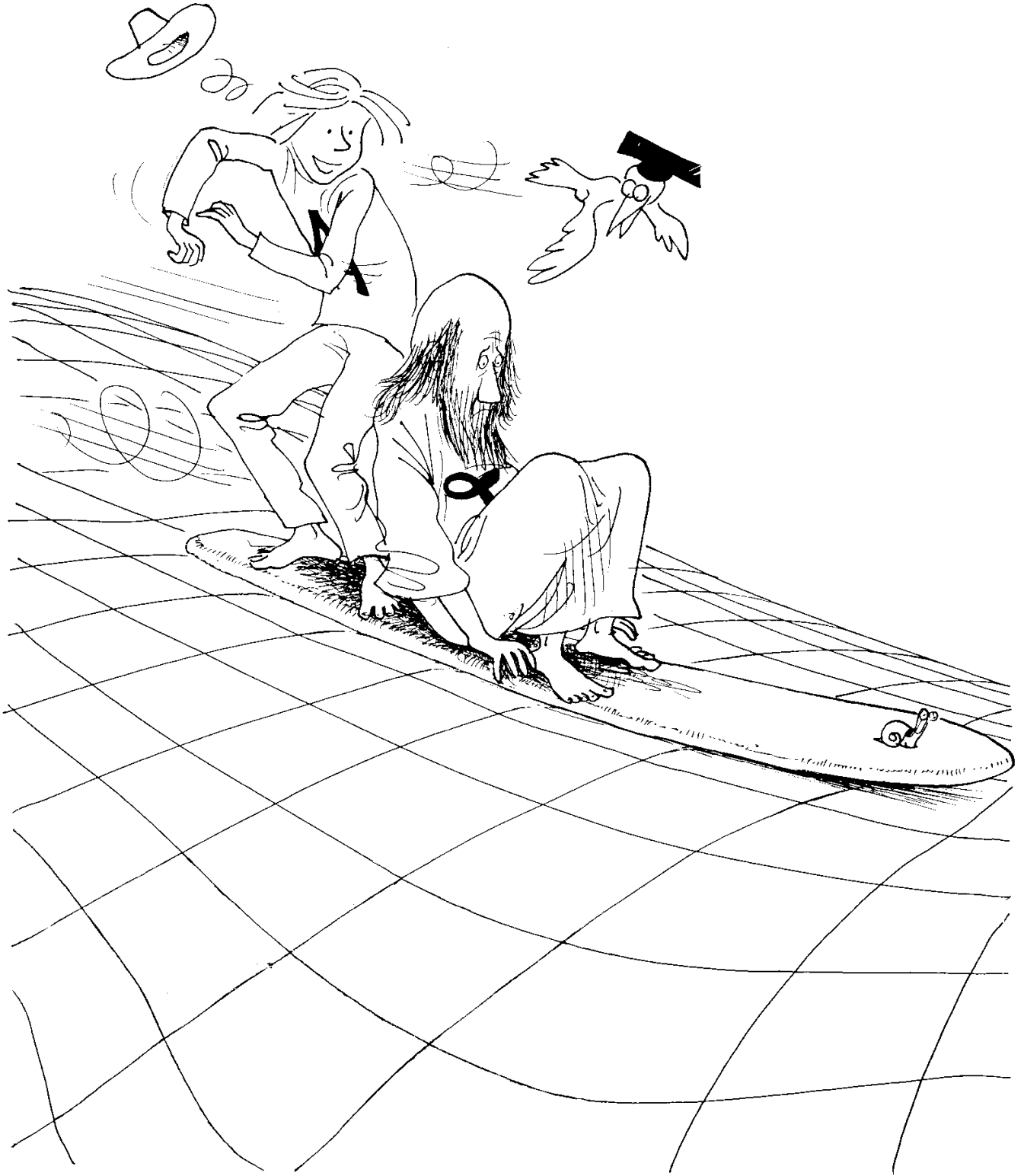
Steven Weinberg



La continuació del BIG BANG (formació de les galàxies, dels estels, etc...)
en MIL SOLS.





72

FI



EL COSMODRAMA



TEMPS	TEMPERATURA	DENSITAT	FENÒMENS
ABANS ...	$T \geq 10^{12}$ graus		?
1/1000 ^a segon	300 miliards de graus		SOPA INDIFERENCIADA DE FOTONS, DE NEUTRINS, D'ANTINEUTRINS (EL FOTÓ ÉS LA SEVA PRÒPIA ANTIPARTÍCULA), DE PROTONS, D'ANTIPIOTONS, DE NEUTRONS, D'ANTINEUTRONS, D'ELECTRONS I D'ANTIELECTRONS (POSITRONS).
1/100 ^a segon	100 miliards de graus	4 miliards de g/cm ³	HECATOMBE D'HADRONS (PROTONS, ANTIPIOTONS, NEUTRONS, ANTINEUTRONS). QUEDARÀ UN D'UN MILIARD. LA RESTA S'HA ANIHILAT AMB ELS ANTIHADRONS PRESENTS, PER REGENERAR FOTONS.
1/10 ^a segon	30 miliards de graus		RES A DIR. MASSA CALOR PER QUE ES FORMIN NUCLIS D'ÀTOMS.
1 segon	10 miliards de graus	380 000 g/cm ³	ELS NEUTRINS "FAN LA SEVA VIDA". DEIXEN D'INTERACTUAR AMB LA MATÈRIA.
13 segons	3 miliards de graus		HECATOMBE ELECTRONS-ANTIELECTRONS. AQUÍ TAMBÉ QUEDARÀ UN D'UN MILIARD.
3 minuts	1 miliard de graus		NUCLEOSÍNTESI: FORMACIÓ DELS NUCLIS D'HELI. DESAPARICIÓ DELS NEUTRONS LLIURES. (DURADA DE VIDA: 109 segons).
35 minuts	300 milions de graus	1 g/cm ³	LA NUCLEOSÍNTESI S'HA ACABAT: 25% D'HELI, 75% D'HIDROGEN.
700 000 ANYS	3000 graus		DESPRÉS DE L'ANIHILACIÓ DE GAIREBÉ TOTA LA MATÈRIA I ANTIMATÈRIA, L'UNIVERS VIU UNA "ERA RADIATIVA", ON L'ENERGIA-MATÈRIA ES TROBA PRINCIPALMENT EN FORMA DE RADIACIÓ. QUAN LA TEMPERATURA BAIXA A 3000°, ELS ÀTOMS NEUTRES ES FORMEN, I ELS FOTONS DEIXEN D'INTERACTUAR AMB LA MATÈRIA: UNIVERS "TRANSPARENT".
100 milions d'anys	TR=-173°C TM=-267°C		DEIXANT DE SER ESCALFATS PELS FOTONS, ELS ÀTOMS NEUTRES D'HIDROGEN I D'HELI HAN VIST BAIXAR DRÀSTICAMENT LA SEVA TEMPERATURA. FORMACIÓ DE LES GALÀXIES, PRIMERS ESTELS.
5 miliards d'anys			FORMACIÓ DE LA TERRA.
10 miliards d'anys	TR=-270°C (3 graus Kelvin)	10 ⁻³⁰ g/cm ³	DESENVOLUPAMENT DE LA VIDA.
AVUI			INVENCÍÓ DE LA BOMBA ATÒMICA...