

# Savoir sans Frontieres

## As Aventuras de Anselmo Curioso

# BIG BANG



## JEAN-PIERRE PETIT

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

# Saber sem Fronteiras

Association Loi de 1910



**Jean-Pierre Petit, Presidente da Associação**

Ex-Director de Investigação do CNRS, astrofísico e criador de um novo género: a Banda Desenhada Científica. Criada em 2005 com o seu amigo Gilles d'Agostini, a associação Saber sem Fronteiras visa distribuir e partilhar gratuitamente o saber científico e técnico por todo o mundo. A associação, a qual funciona graças às doações que lhes são feitas, retribui o trabalho feito pelos tradutores com uma remuneração de 150 euros por cada BD traduzida (em 2007) e assume os custos havidos com as taxas das transacções bancárias. Cada vez mais numerosos, os tradutores têm contribuído, dia após dia, para o ampliar dos álbuns traduzidos (em 2007: 200 álbuns podendo ser descarregados gratuitamente em 28 idiomas, entre os quais se destacam o laociano e o ruandês).

O presente ficheiro *pdf* pode ser livremente duplicado e reproduzido, quer na sua totalidade quer parcialmente, utilizado pelos professores nas aulas que leccionam com a única condição de que tal não tenha qualquer intuito lucrativo. Pode integrar as bibliotecas municipais, escolares e universitárias, sob a forma de impressão ou ainda através das redes tipo Intranet.

Por iniciativa própria, o autor decidiu por completar, numa primeira fase, álbuns mais simples (nível 12 anos). Igualmente em fase de elaboração: álbuns “falantes” para pessoas analfabetas e “bilíngues” no sentido de aprenderem línguas estrangeiras a partir da sua língua de origem.

A associação está continuamente em busca de novos tradutores cuja língua de trabalho seja a materna, possuindo competências técnicas que os habilite a produzir traduções de qualidade dos álbuns abordados.

**Para entrar em contacto com a associação basta consultar a página principal no respectivo sítio de Internet**

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

**Se desejar fazer uma doação:**

**A partir do estrangeiro → Número de Identificação Bancária Internacional (IBAN) :**

<b>IBAN</b>
FR 16 20041 01008 1822226V029 88

**e → Código Identificador do Banco (BIC):**

<b>BIC</b>
PSSTFRPPMAR


Os estatutos da associação (disponíveis em francês) podem ser consultados no sítio de Internet. A contabilidade está disponível *online* e em tempo real. A associação não retém para si qualquer dinheiro das doações que lhes são feitas, nem sequer para efeitos de pagamento das transferências bancárias, por forma a que os montantes pagos aos tradutores sejam líquidos (pagos na sua íntegra sem quaisquer descontos).

A associação não remunera nenhum dos seus membros, pois os mesmos são benevolentes, assumindo as despesas de funcionamento, mais precisamente da gestão do sítio, as quais não são suportadas pela associação.

Desta forma, podem ter a certeza de que, no quadro deste tipo de “obra humanitária cultural”, qualquer que seja o valor que doar, este será *integralmente* destinado a remunerar os tradutores.

Em média, temos vindo a colocar *online* uma dezena de novas traduções por mês.

# PRÓLOGO




Sofia, sabias que são muitas as vezes em que me ponho a pensar de onde virão as coisas, como terá nascido o Universo...?

Será que **TUDO** foi sempre assim?  
A terra, o céu?


Será que o céu foi sempre azul?

Será que as estrelas brilharam sempre num fundo de céu negro?



No **PRINCÍPIO DE TUDO**, o nosso Universo era muito pequenino e muito quente: um inferno em ponto pequeno

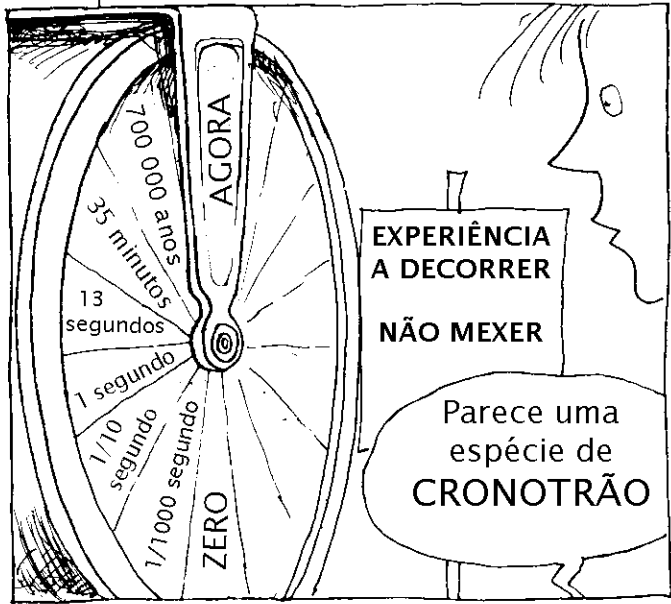
E reventou tudo, foi?



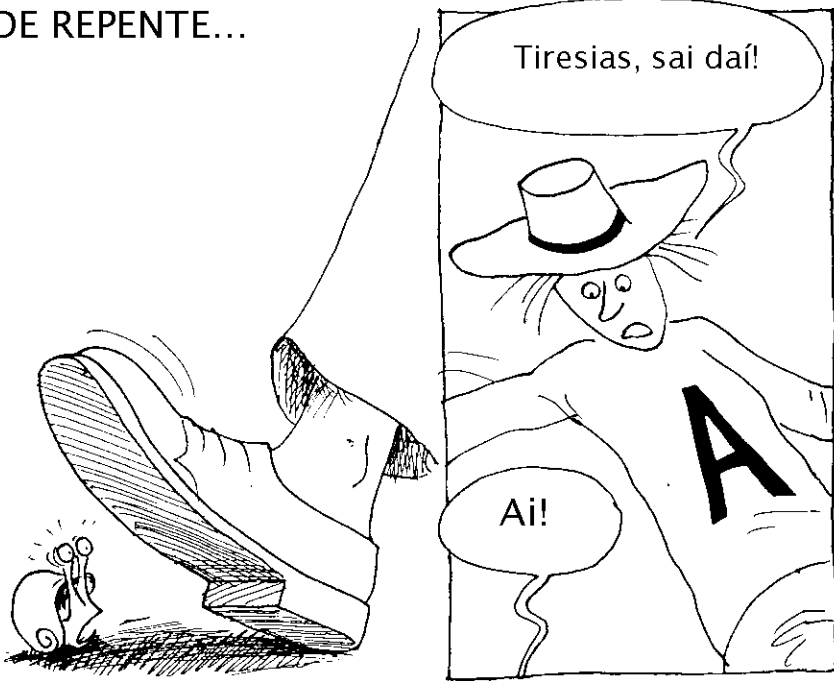
Sim, mas é uma longa história. Para a contar, é preciso recuar no tempo muito mas mesmo muito atrás.



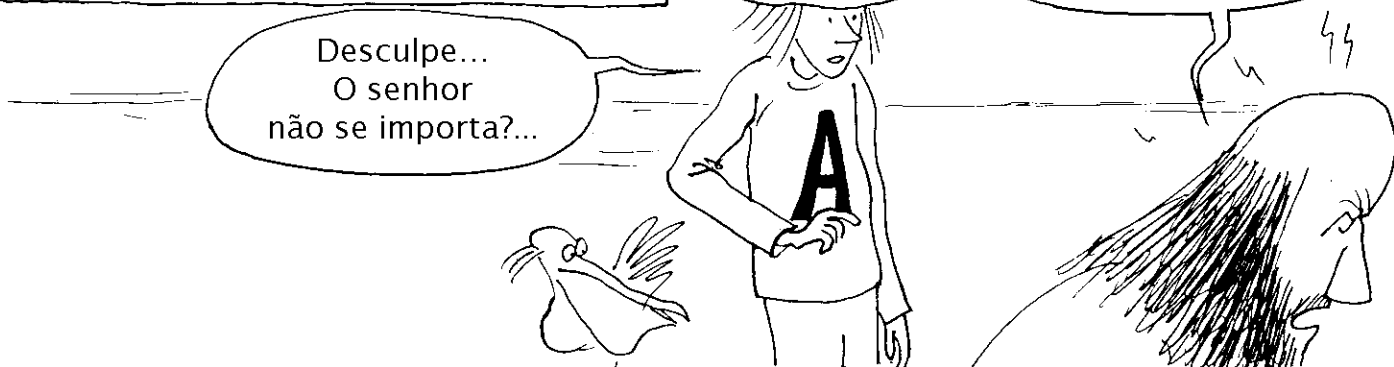
Amigos, vinde ver!



DE REPENTE...



# O PRINCÍPIO DE TUDO





Raios!  
Ainda não foi desta!

Estou  
tramado...



Se o que pretende mesmo é pôr essa alcatifa  
no sítio, deixe-me que lhe diga que...  
dessa maneira não vai longe...  
Não haja dúvida!

O colega parece que  
se está a dar mal  
com a alcatifa

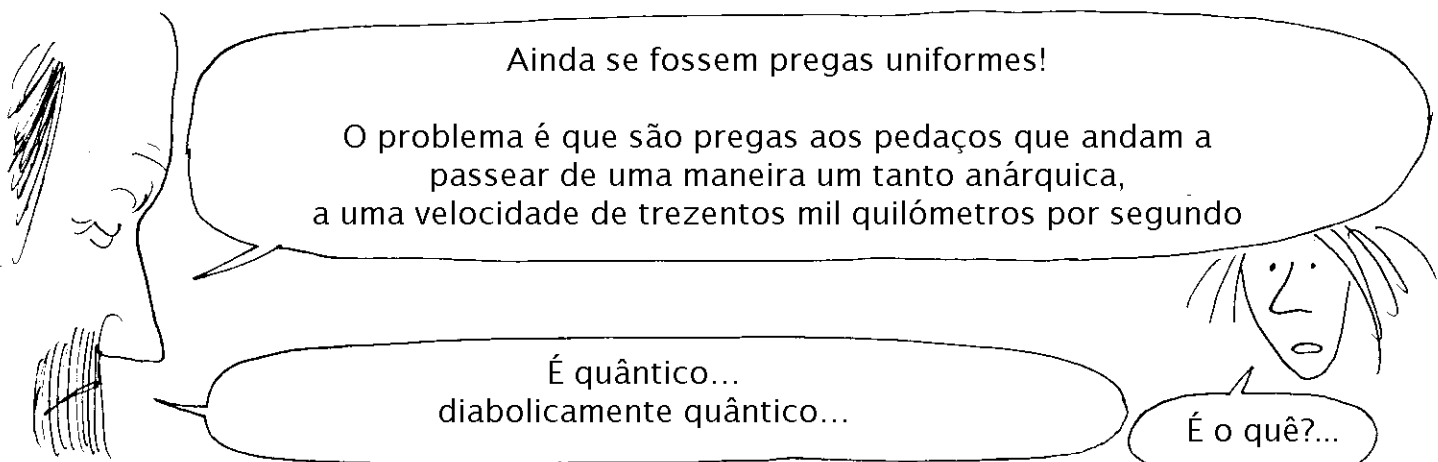


Que desastre...  
pregas por tudo  
quanto é sítio!



Não admira que haja pregas.  
Quis pôr alcatifa em demasia.  
Dessa forma, fica comprimida...

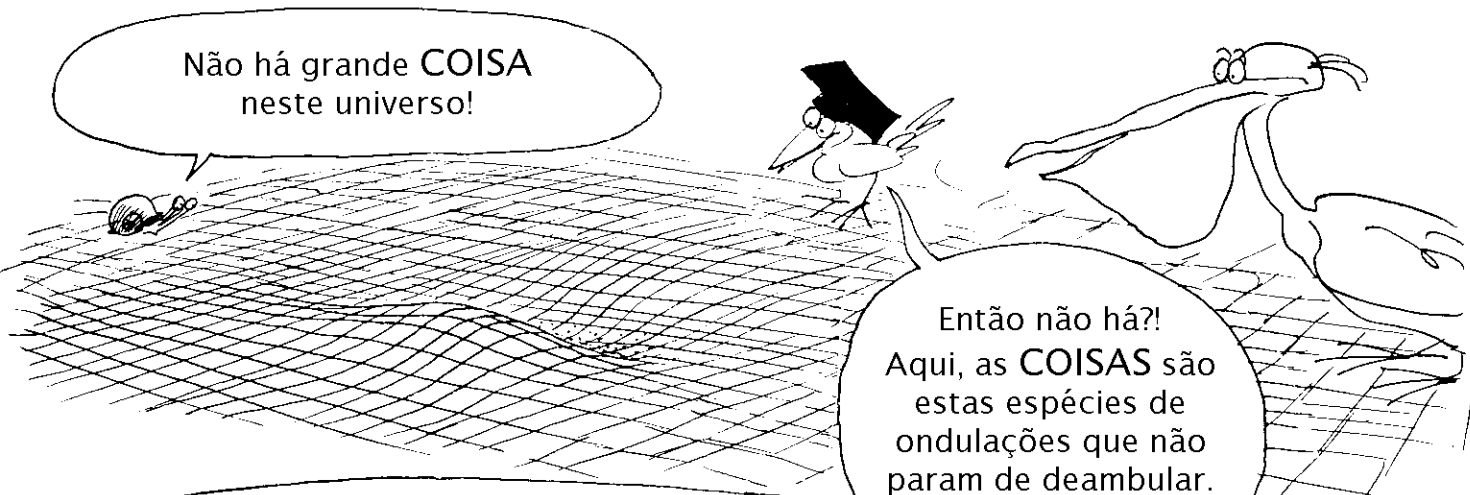
Tsss...  
se não houvesse  
compressão, não haveria  
energia: só haveria espaço...



Ainda se fossem pregas uniformes!  
O problema é que são pregas aos pedaços que andam a  
passear de uma maneira um tanto anárquica,  
a uma velocidade de trezentos mil quilómetros por segundo

É quântico...  
diabolicamente quântico...

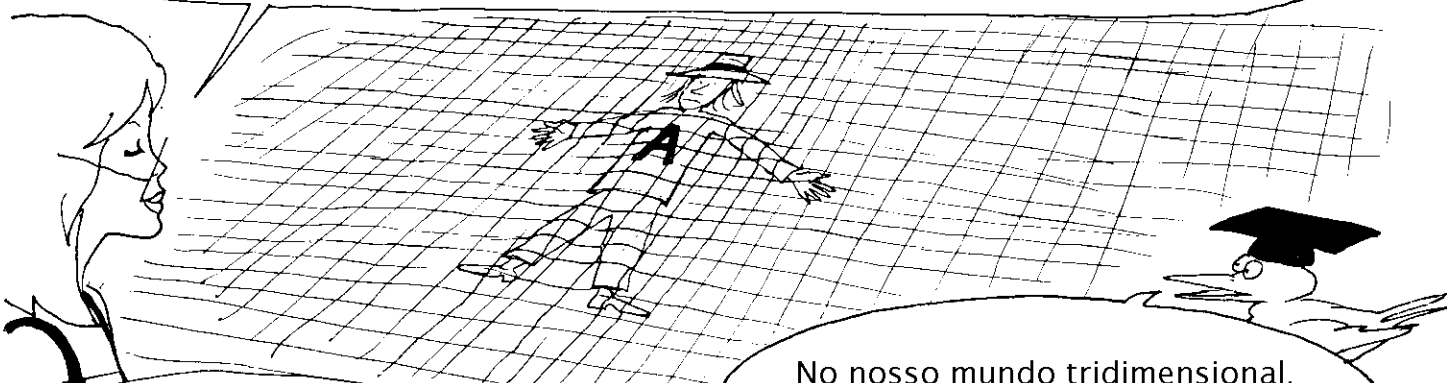
É o quê?...



Não há grande **COISA** neste universo!

Então não há?!  
Aqui, as **COISAS** são estas espécies de ondulações que não param de deambular.

O Universo apresentado aqui não tem mais do que duas dimensões. Ora é uma **SUPERFÍCIE** cujos relevos representam as partículas, as massas e as irradiações. Se pertencesse a este universo bidimensional, este seria o teu aspecto.



Não é lá muito bonito, nada mesmo...

No nosso mundo tridimensional, as partículas também são variações locais da curvatura.



Era melhor antes

Antes... de quê?

Enfim...  
Chamarei a estas pregas deambulantes **FOTÕES**.



Ah, valha-me Deus, valha...!  
Só me faltava esta, agora...

O quê?

Mas olhem só para isto!  
Há por tudo quanto é sítio!!!

Esta coisa não só flocula como,  
ainda por cima, é turbulenta.  
Que lindo serviço!

Parecem remoinhos...  
como quando se faz isto aos  
lençóis de uma cama

É curioso.  
Alguns giram num sentido e outros,  
em sentido contrário.

E, tal como os seus fotões, movem-se  
a uma velocidade de 300.000 km/Seg.

Chamarei a estes remoinhos  
deambulantes **NEUTRINOS** quando girarem  
assim :

E **ANTINEUTRINOS** quando girarem  
em sentido contrário:

Mas que agitação! Não há nem uma única parte plana na sua alcatifa. As pregas estão literalmente umas contra as outras (\*)

Este universo é muito mas mesmo muito instável; um autêntico fiasco...!

Se, pelo menos, houvesse alguma ordem nisto!  
Mas, não há.  
Tudo é distribuído ao acaso!

Eu cá não suporto joguinhos com o acaso!

O acaso, meu amigo, é o diabo!

Ah...

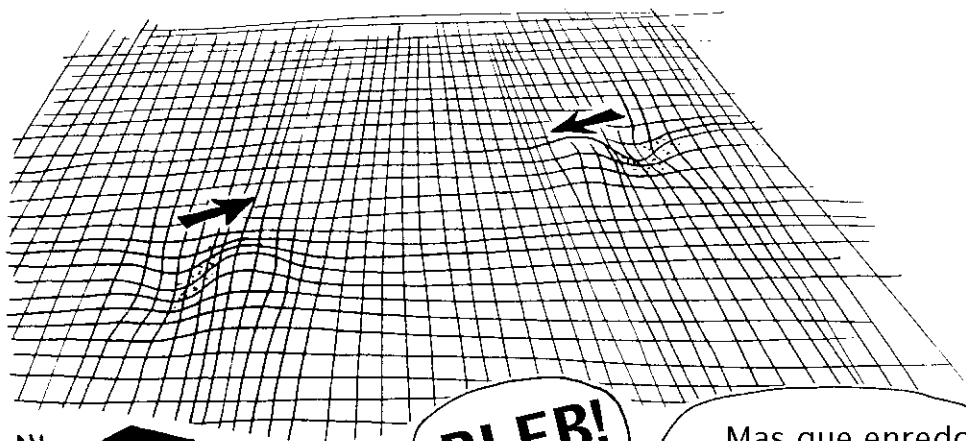
COSMOSOL  
O REVESTIMENTO  
UNIVERSAL

Nem sequer com dados eu jogo...

Vejam!  
Parece que se está a passar **QUALQUER COISA** ali adiante...

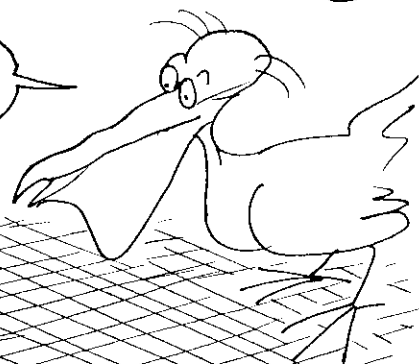
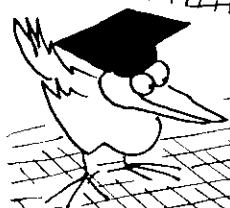
(\*) Propriedade de aquilo a que se chama **RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO** (vá se lá saber porquê, coisas do diabo...)

Lá estão as duas pregas deambulantes a irem ao encontro uma da outra. Vão acabar por chocar uma contra a outra.

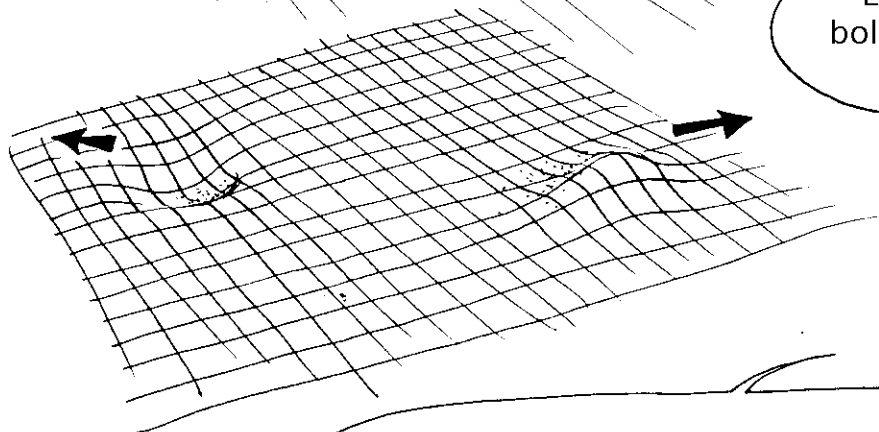


**BLEB!**

Mas que enredo, meus amigos!



E agora, estão-se a formar bolhas. Uma para cima e outra para baixo.



Estão-se a afastar uma da outra a uma velocidade que não anda muito longe dos 300.000 km/segundo.

Ora bem.  
Chamarei aos relevos **MATÉRIA**  
e **ANTI-MATÉRIA** às concavidades.  
Havendo **CURVATURA** é porque há **MASSA**.

O fóton, simultaneamente  
em relevo e côncavo, é a  
sua própria anti-partícula.

**MATÉRIA e ANTI-MATÉRIA**,  
nascidas das colisões entre fótons,  
aparecem a velocidades relativistas.

Relevos, concavidades,  
é tudo muito arbitrário.

O que queres dizer com essa  
tua profunda reflexão,  
meu caro Tiresias?  
Há coisas que aparecem sob a  
forma côncava, e outras em  
relevo.  
A meu ver, até é evidente...

Isto é porque estamos do lado de cá da alcatifa. Se estivéssemos  
do lado de lá, os relevos passariam a ser concavidades, e as  
concavidades seriam relevos.

Mas...  
Eu não vejo nada senão  
um único lado!!!

**Tiresias!!!**

Já deu para ver que não se pode brincar...

?...

Mais um chui epistemológico

Reparem, ali...!  
Quando um relevo e uma concavidade se encontram lentamente, volta a dar duas pregas deambulantes.  
É a operação inversa!

Hmm...  
Simples **ANIQUILAÇÃO** de uma partícula de matéria e da respectiva anti-partícula.  
Isso volta a dar dois fotões.

É o caos primigénio.

Hum...

As criações e aniquilações de partículas, a partir de pares de fótons, sucedem-se a um ritmo desenfreado.

Neste mundo caótico, este mundo de sucessivas mudanças, não há estruturas. Somente um formigueiro constante de fótons, de neutrinos, de antineutrinos e de numerosas outras partículas e antipartículas, fugazes e variadas.

É o **CAOS PRIMIGÊNIO** (\*)

A mim, faz-me pensar nos **SEXÕES**

E o que é isso, os **SEXÕES**?

São as partículas que passam o tempo a reproduzirem-se

Ao que parece, há pregas deambulantes de diferentes larguras, assim como há relevos estreitos e altos ou largos e planos.

Chamarei **COMPRIENTO DE ONDA  $\lambda$**  à extensão das pregas deambulantes, os **FOTÕES**

Vamos supor que crio uma oscilação deambulante ao sacudir esta corda.

Começo por sacudi-la devagar, transfiro pouca energia e o comprimento de onda  $\lambda$  é grande.

Se eu agora sacudir a corda com mais vigor, transfiro-lhe mais **ENERGIA**. Ora, o comprimento de onda  $\lambda$  é visivelmente mais curta.

Ena!

Assim sendo, quanto mais energia uma onda transportar, mais pequeno será o seu comprimento de onda.

Direi portanto que a **ENERGIA** transportada por um **FOTÃO**, um corpúsculo de **LUZ**, será **INVERSAMENTE PROPORCIONAL** ao seu **COMPRIENTO DE ONDA  $\lambda$**  e varia como  $1/\lambda$

Assim, até pode ser....

# QUANTO MAIS PEQUENOS, MAIS PESADOS...



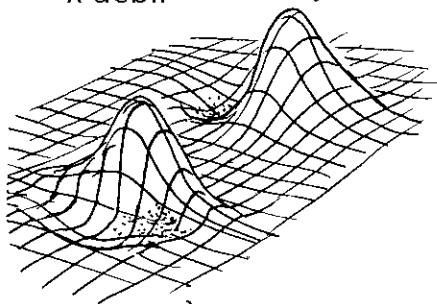
Até concordo com isso das pregas deambulantes a que chama **FOTÕES**.  
No entanto, o que diferencia as concavidades ou os relevos estreitos e altos das concavidades ou relevos largos e planos?

Chamarei à largura das concavidades e dos relevos o **COMPRIENTO DE ONDA COMPTON  $\lambda_c$** .  
A **MASSA  $m$**  será **INVERSAMENTE PROPORCIONAL** a ela.  
Isto é,  $m$  varia como  $1/\lambda_c$ .

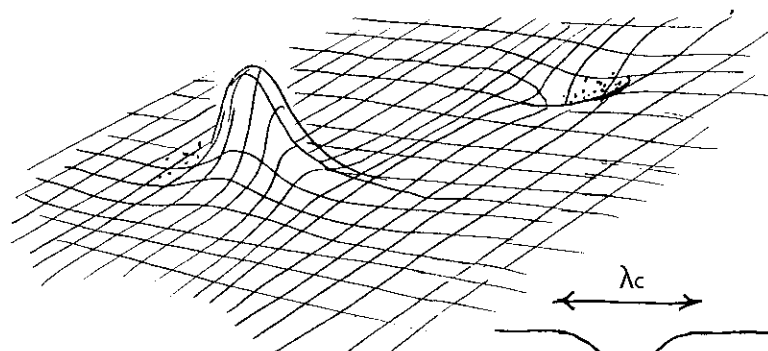
Fotões muito energéticos cujo comprimento de onda é curto darão origem a partículas (e anti-partículas) de massa  $m$  elevada, estreita e alta.



$\lambda$  débil



$\lambda$  débil: comprimento de onda Compton pequeno



Fotões

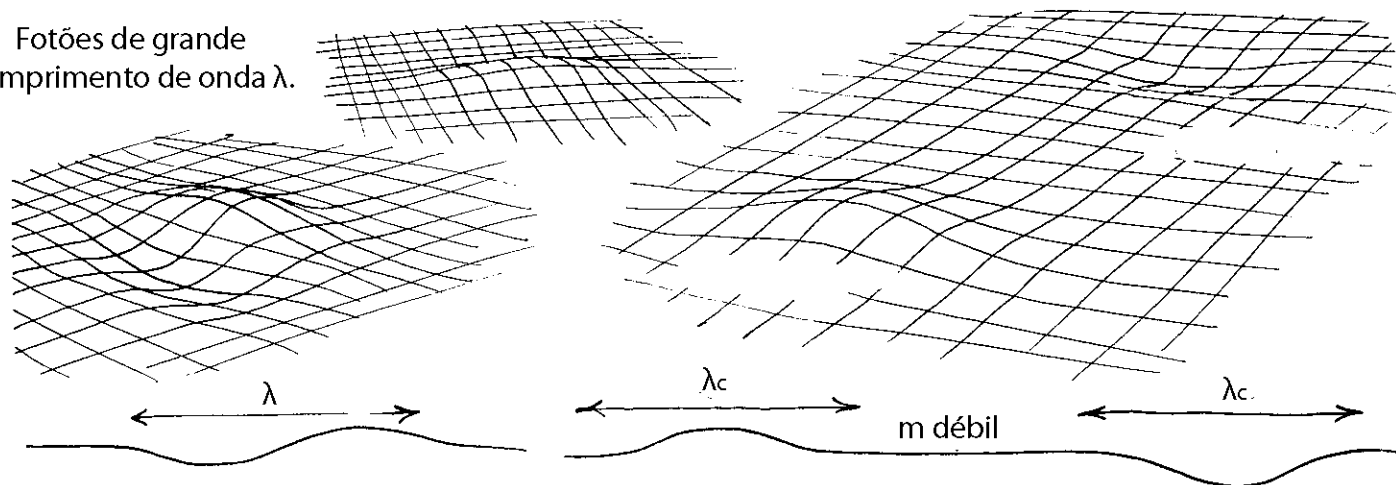
massa  $m$  grande

ANTI-MATÉRIA

MATÉRIA



Fotões de grande comprimento de onda  $\lambda$ .



Fotões de grande comprimento de onda -> partículas de grande comprimento de onda Compton Inversamente, fotões que forem relativamente pouco energéticos darão origem a um par partícula - anti-partícula de grande comprimento de onda, isto é, cuja massa é débil:  $\lambda$  grande,  $m$  débil.

Aliás, consegue ser muito mais simples.  
Por aquilo que estou a ver,  $\lambda = \lambda_c$  (\*), o que significa que as partículas (a anti-partículas) são do mesmo "tamanho" que os fotões que as criam.

Por isso, quando se conhece a **MASSA** de uma partícula qualquer, sabe-se logo o comprimento de onda da irradiação que a criou.

(\*) Lembremo-nos que  $E$  (energia) =  $m$  (massa). Ver TUDO É RELATIVO, do mesmo autor.

Desculpe, não se vá embora!  
Há aqui algo que não bate certo nesta história toda!  
Algo que não faz sentido nenhum...

BING

Oh, peço desculpa!

!!!

Os **PROTÕES** e os **NEUTRÕES** têm praticamente a mesma massa.  
Têm **PORTANTO** o mesmo tamanho.  
No entanto, o electrão é bem mais leve.  
Indo pela lógica, não deveria ser... maior!?!

Exacto.


O **PROTÃO** e o **NEUTRÃO** pesam  $1,66 \times 10^{-27}$  kg.  
O electrão pesa  $9,1 \times 10^{-31}$  kg.  
Ora, é 1850 vezes mais leve e, por conseguinte,  
1850 vezes "maior".

Eu... ora bem...  
como hei-de dizer...


Já alguma vez viste  
um protão, é isso?

Hum...  
NÃO...


Então?




Ah, sim, é bem bonita a génese de hoje em dia!



O que andas a engendrar?



Estou a fazer um **ÁTOMO DE HIDROGÉNIO** que seja mais conforme com a realidade: com um grande electrão e um **PROTÃO** minúsculo formando o seu **NÚCLEO**.



Valha-me Deus, valha!  
Que caos... Enfim...  
Meus filhos, ajudem-me lá a pôr um pouco de ordem nesta barafunda.

# A TEMPERATURA DA RADIAÇÃO

Tr

Raios...

Todos estes fótons têm comprimentos de onda diferentes, energias diferentes. Porém, para esta população, vou definir um comprimento de onda médio e uma energia fotônica média.

**A TEMPERATURA DE RADIAÇÃO**  
Tr será a medida desta energia média dos fótons.

Que desgraça...

## ESTADO DE EQUILÍBRIO

Então, uma mistura pode ter várias temperaturas?!?!?

Sim, mas veremos isso na página 46.

Entretanto, as partículas fazem trocas de energia entre elas, ou com os fótons, através das colisões.

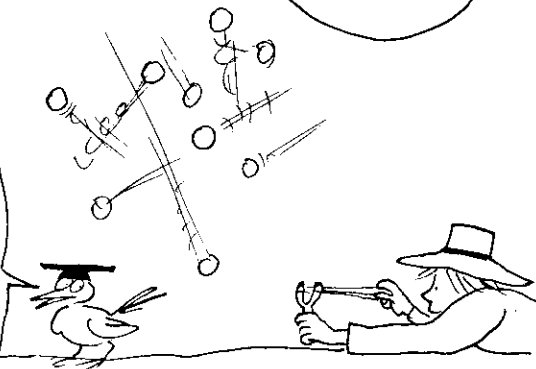
Este mecanismo tende a uniformizar as temperaturas, **A TORNÁ-LAS IGUAIS**, a levar o sistema num estado de **EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO**.

# A TEMPERATURA DA MATÉRIA

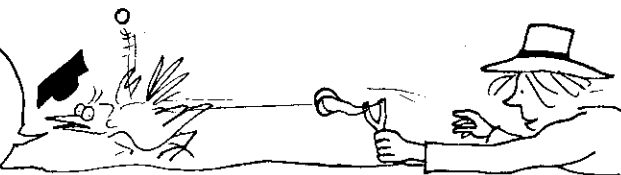
$T_m$

Todas estas partículas **MATERIAIS** têm massas  $m$  e velocidades  $V$  diferentes.

A **ENERGIA CINÉTICA** de uma partícula material é  $\frac{1}{2} MV^2$ . Mas, nesta população, posso definir uma energia de agitação (**TÉRMICA**) média.



E a **TEMPERATURA DA MATÉRIA  $T_m$**  será a medida desta **ENERGIA MÉDIA DE AGITAÇÃO TÉRMICA**.



## TERMODINÂMICA

Se uma partícula tiver demasiada energia, se for demasiado rápida, demasiado “quente”, uma colisão com uma partícula diferente acabará por desacelerá-la. E vice-versa se for demasiado lenta.

Se este fenómeno de acoplamento energético das espécies por colisão for suficientemente intenso, não só as temperaturas serão iguais, como o permanecerão quer expandas quer comprimias a mistura.



Ena...

acelera!...

mais devagar!

Então, isso vai ou não vai?

Mas que agitação!  
As partículas e as antipartículas nascem e morrem, aos pares, a um ritmo infernal!

Quais são as condições de criação de um par partícula anti-partícula?

# A TEMPERATURA LIMIAR

Para criar um PAR partícula - anti-partícula, de massa comum  $m$ , é preciso uma energia  $2mc^2$ , a qual é fornecida por um par de fótons cuja energia é superior ou igual.

Se a energia média dos fótons for inferior a essa energia limiar  $mc^2$ , ou seja, se a temperatura de radiação  $T_r$  for demasiado baixa (abaixo de um valor limiar), deixa de ser possível criar partículas materiais

Isso mesmo...

# DA EVOLUÇÃO DAS ESPÉCIES

A **SOBREVIVÊNCIA** de uma espécie é sempre problemática. Pode ser assegurada por um ritmo de produção elevado.



Olha os famosos sexões!

O que implica que a temperatura de radiação  $T_r$  seja superior à temperatura limiar da espécie.



Se a temperatura  $T_r$  for mais baixa, são várias as causas de desaparecimento.



A mais temível é a aniquilação com a anti-partícula



Seguem-se encontros maus de todo o tipo

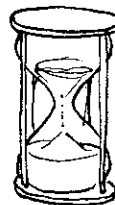


O Cosmos é um lugar perigoso



Por fim, as partículas têm a sua própria **DURAÇÃO DE VIDA** (\*).

Passado esse tempo, decompõem-se espontaneamente em outras partículas e em radiação.



O problema é durar...

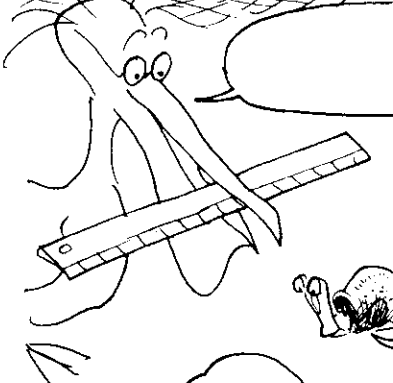


(\*) A respectiva reserva de **CRONOL**  
Ver **TUDO É RELATIVO**, do mesmo autor.



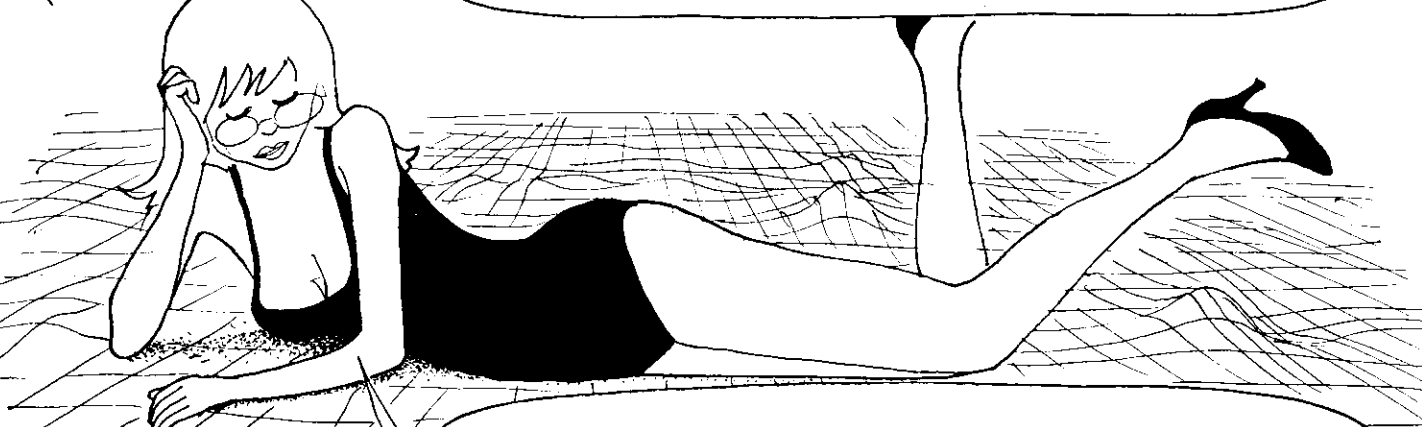
Que temperatura está?

Pega num fotão e mede o seu comprimento de onda  $\lambda$ !




Bolas! Vinte biliões de graus ( $2 \times 10^{13}$  K)!

Parece haver mais ou menos a mesma quantidade de fotões, de neutrinos, de protões, de neutrões, de electrões (e das respectivas anti-partículas).



A uma temperatura tão elevada, assim todo o mundo é **RELATIVISTA**.  
Até mesmo as partículas materiais vão a velocidades próximas da velocidade da luz,  $c$ .



Em **TUDO É RELATIVO**, tínhamos visto que sempre que a velocidade de uma partícula tende para a velocidade da luz, o seu **TEMPO PRÓPRIO** coagula como um molho.





Por falar nisso, acaba por ser cá um problema...  
Se todo o mundo andar por aí à velocidade da luz, então o **TEMPO** (\*)  
deixa de fluir?!?!? Dessa forma, não há ninguém para o viver...

Ninguém consegue andar devagar o  
suficiente para que o tempo flua de  
forma relevante



**A**

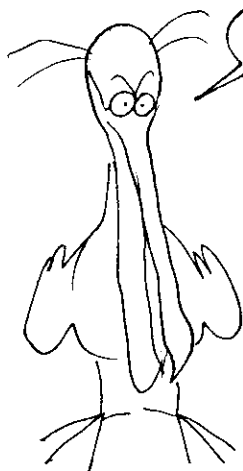
Oh!...

Um mundo totalmente  
**ACRÓNICO** careceria de  
**SENTIDO.**

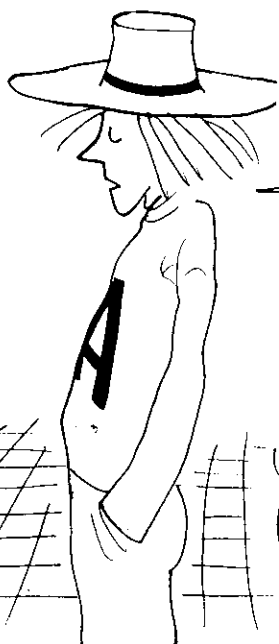
Talvez o tempo seja um luxo que só  
determinados universos poderão ter?



É diabólico!



Nem por isso...  
Com tudo o que já vi e ouvi... O  
**ESPAÇO**, o **TEMPO**, o **UNIVERSO**,  
tudo isso não passa de um simples pó  
para os olhos...



o constituinte  
universal de todas  
as coisas?




(\*) UM tempo cósmico que poderia ser uma média dos **TEMPOS PRÓPRIOS**

# AS PARTÍCULAS ELEMENTARES

Vamos lá ver...

Em vez de estarem de braços cruzados, ajudem-me a pôr um pouco de ordem nesta barafunda de **PARTÍCULAS ELEMENTARES**.



Que têm, diga-se de passagem, comprimentos de onda Compton  $\lambda_c$  bastante pequenos

Estas partículas de grande massa são os **HIPERIÕES** (\*)

Depois vêm os **HADRÕES**, dos quais fazem parte o **PROTÃO** e o **NEUTRÃO** (assim como o anti-protão e o anti-neutrão), os quais se podem unir para formar **NÚCLEOS**. Para criar estas partículas, é necessária uma temperatura de radiação superior a  $10^{13}$  K, isto é, dez biliões de graus

É a temperatura limiar deles.

O comprimento de onda Compton dos protões e dos neutrões é de  $1.35 \times 10^{-12}$  cm: uma milésima de milionésima de cm.

É PROIBIDO METER O NARIZ NUM NEUTRÃO

(\*) Hipotético, tendo em conta o estado actual do conhecimento

**HADRÃO** deriva de **HADROS**  
que é grego significa "pesado"

Tiresias,  
sabe falar grego?

Há, sem dúvida, tantos  
**ANTI-HADRÕES** como **HADRÕES**

Finalmente,  
aqui estão os **LEPTÕES** (\*)

LEPTÃO

ANTI-LEPTÃO

Para os criar, uma temperatura de radiação de 6 milhões  
de graus (temperatura **LIMIAR**) é quanto basta

O mais famoso dos **LEPTÕES** é o electrão e o seu gémeo - o anti-electrão  
(ou **POSITRÃO**). Constata-se que a temperatura limiar, de criação dos  
electrões, é 1850 vezes inferior à temperatura limiar do protão e do neutrão.

É normal, sabendo que é preciso  
1850 vezes menos energia para criar o  
electrão do que o protão.

(\*) Do grego **LEPTOS**, delgado

# ESTÁ TUDO A DAR À SOLA



A situação estava terrivelmente cronogénica (o tempo só pedia para aparecer).  
O cronotrão voltara a funcionar, marcando assim o primeiro **EVENTO**, o primeiro **INSTANTE**.



Onde estais?  
O que é que se passa?

É a **EXPANSÃO**, a debandada...  
O Universo está a distender...  
Queiram desculpar...

Vou-me embora  
para outro lado

Mudanças,  
não suporto!

Ei!

Vereis que, daqui a pouco,  
vai acalmar

Ele abandonou-nos  
completamente,  
não posso crer!

Adeus,

boa continuação.

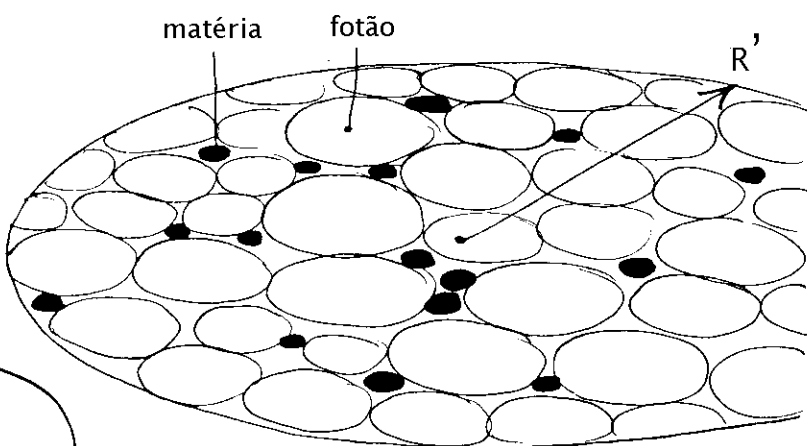
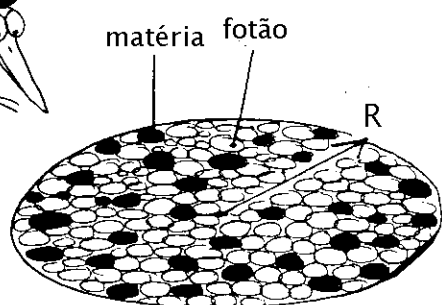
Falhou mais  
uma vez!

Onde é que ele se meteu?

Parece uma tampa de esgotos.  
Será aquilo as catacumbas do Universo?

# A CONSERVAÇÃO DA MASSA

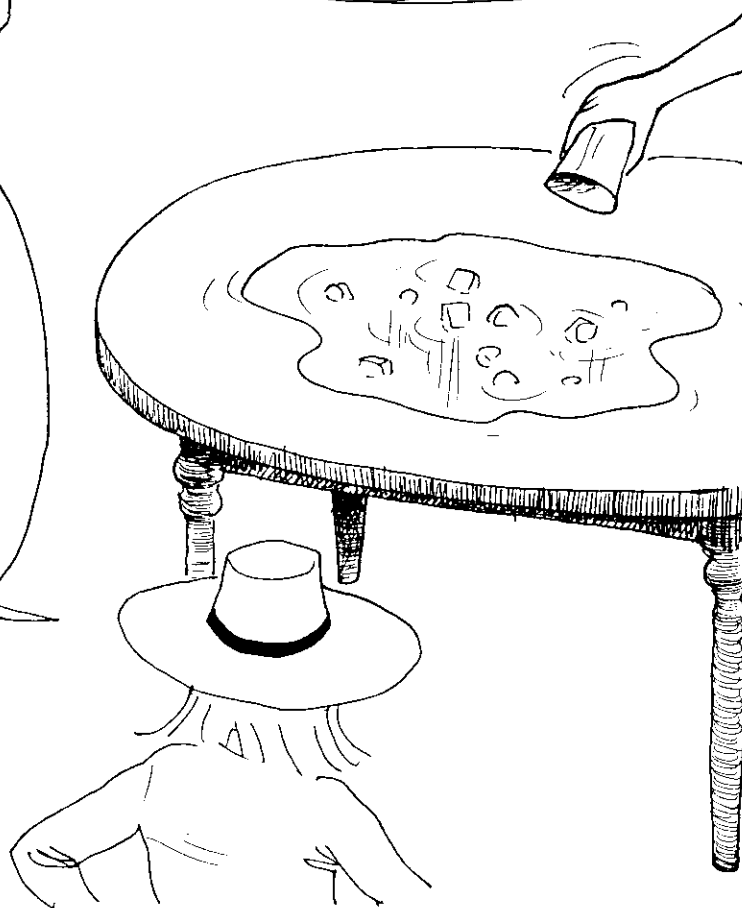
Reparem no que está a acontecer:  
são fotões que se estão a dilatar.  
As partículas materiais, essas, não se dilatam.



A matéria é  
espaço congelado

Isso faz-me pensar naquilo que  
acontece quando se despeja para  
cima de uma mesa um copo cheio de  
água e de cubos de gelo.

A massa de água estende-se, dilata-se.  
Os cubos de gelo seguem essa expan-  
são mas guardam a sua dimensão.



Como a dimensão das partículas materiais está ligada à sua massa, deduzo que **A MASSA SE CONSERVA**.

Inversamente, o conjunto dos fótons (que se dilatam) perde **ENERGIA**.

Ora, se  $R$  é o raio do Universo, tendo em conta que o comprimento de onda  $\lambda$  dos fótons segue a expansão ( $\lambda$  varia como  $R$ ), deduzo que a temperatura de radiação, a qual varia como  $1/\lambda$ , decresce como  $1/R$ .



Tudo acontece como se o Universo criasse o seu próprio espaço, o seu **COSMOTOPO** (\*) segregando... o vazio...

Matéria e luz não são mais do que duas formas diferentes de uma mesma identidade: A **ENERGIA-MATÉRIA**. Os fótons mantêm a sua velocidade de 300.000 km/s mas perdem a sua energia.

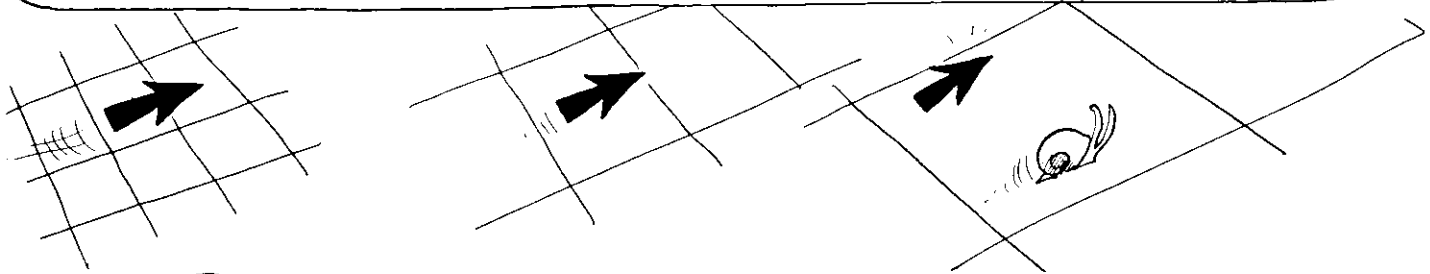
(\*) de Cosmos: **COSMOS** e Topos: **LUGAR**  
(o lugar onde se encontra o Universo)

Aqui está uma imagem que descreve bem o estiramento do fóton e a perda de energia que resulta



Mas, qual é o comportamento da matéria nesta expansão?

O Universo segrega o espaço como uma concha: quanto mais o tempo passa, mais caminho têm as partículas que percorrer.  
Quando o tamanho do Universo duplica, nesse caso, a velocidade de agitação das partículas materiais diminui para metade.  
Ora, a energia cinética destas é dividida em 4: a velocidade de agitação varia como o inverso do raio  $R$  do Universo, ao passo que a temperatura  $T_m$  da matéria varia em  $1/R^2$



Poça...  
Estou de rastos...

Mas...  
Chegámos a ver antes que a temperatura de radiação  $T_r$  variava como  $1/R$ .  
Com que então, a matéria tende a arrefecer mais depressa, é isso?



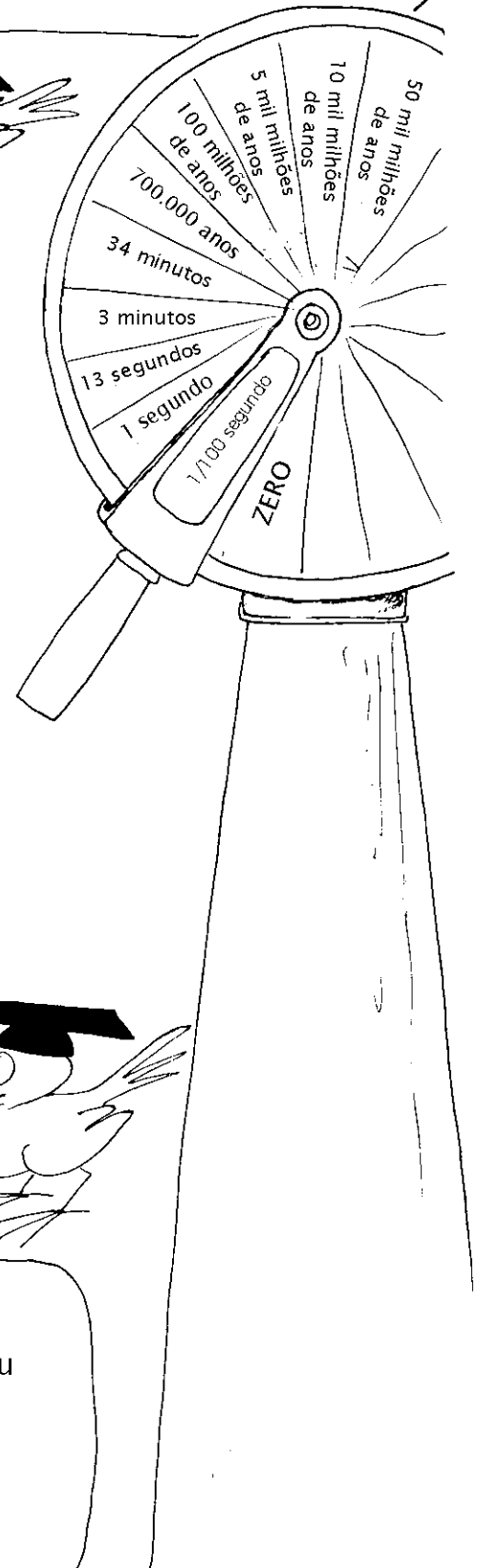
Exactamente. No entanto, as colisões fótons - matéria aquecem-na. Como são muito frequentes, mantêm o estado de equilíbrio termodinâmico ( $T_r = T_m$ ) durante algum tempo.



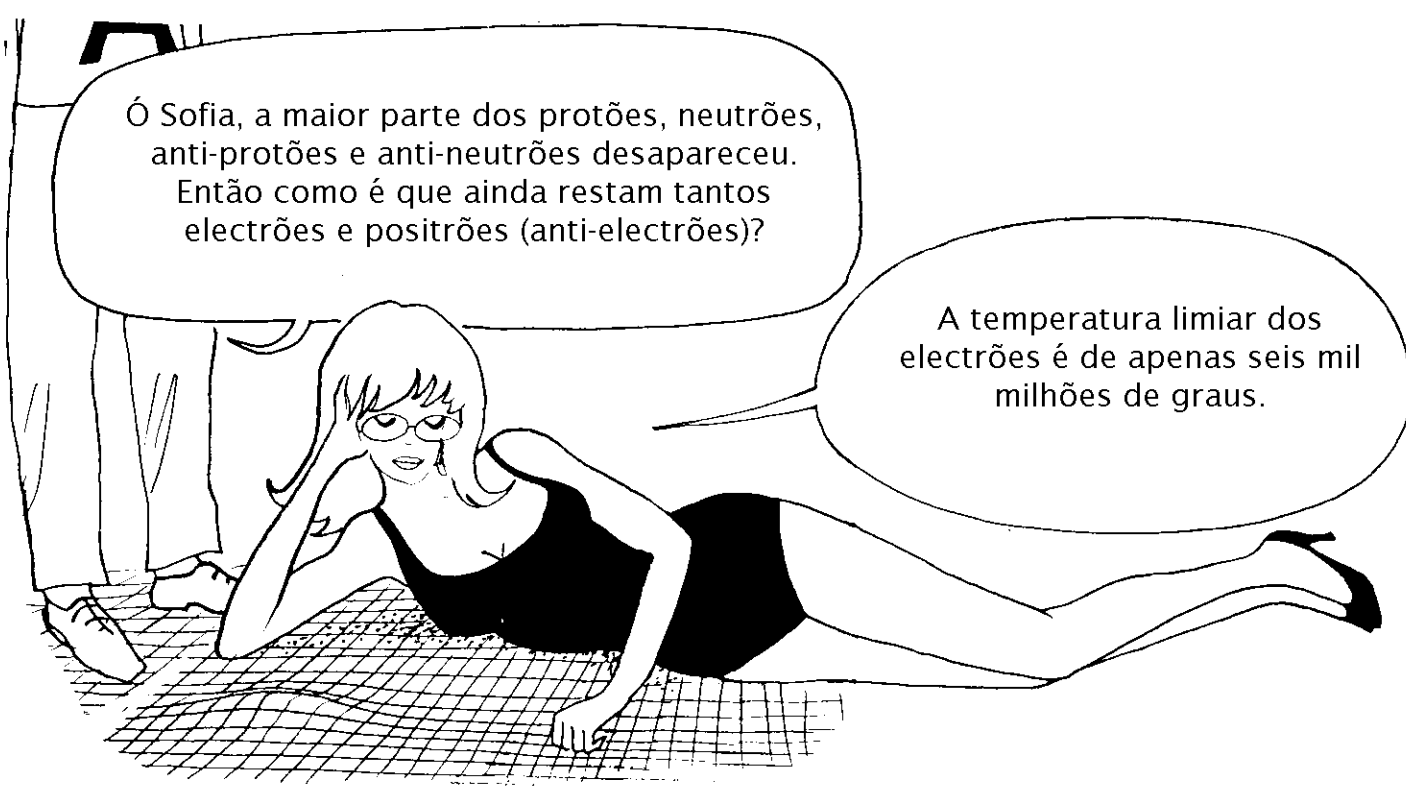
Obrigado, meus amigos!

uma centésima de segundo

Os prótons, os nêutrons, os anti-prótons e os anti-nêutrons já não vão mais do que a um décimo da velocidade da luz,  $C$



A temperatura ( $T_r = T_m$ ) caiu para cem milhares de graus, ou seja, bastante abaixo da sua temperatura limiar, que é de 10 biliões de graus. Aniquilaram-se aos pares a um ritmo frenético. Por isso, já só há um em cada **MIL MILHÕES**.



Ó Sofia, a maior parte dos protões, neutrões, anti-protões e anti-neutrões desapareceu. Então como é que ainda restam tantos electrões e positrões (anti-electrões)?

A temperatura limiar dos electrões é de apenas seis mil milhões de graus.

Só seis mil milhões de graus...  
Ouviste isso?

Parece que a coisa  
fica mais fresca

Há aqui algo muito estranho: a temperatura é de cem mil milhões de graus. E, enquanto os protões, neutrões, anti-protões e anti-neutrões vão ao décimo da velocidade da luz, os electrões continuam a ser relativistas.

Sim, e então?

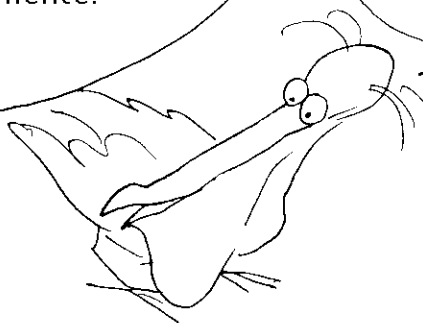
O meio continua num estado de **EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO**:  
o acoplamento de todas as espécies, e da radiação, continua intensa.  
As energias cinéticas das partículas materiais são, em média, iguais:  
 $\frac{1}{2} M \text{ protão } (V \text{ protão})^2 = \frac{1}{2} M \text{ electrão } (V \text{ electrão})^2$ .



Espera... como a massa do electrão é 1850 vezes  
mais pequena do que a do protão, então,  
necessariamente, para compensar, a uma dada  
temperatura, a velocidade de agitação do electrão  
é bastante mais elevada.

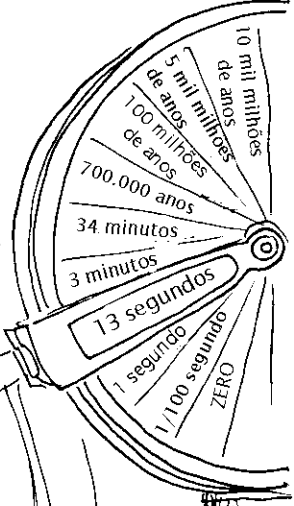
De facto, como a energia limiar de criação de  
uma partícula de massa  $m$  é simplesmente  $mc^2$ ,  
mal o meio arrefece ao ponto da velocidade de  
agitação  $V$  ficar sensivelmente mais baixa do  
que  $C$ , as criações dessas partículas cessam e a  
população decresce drasticamente.

Traduzindo em miúdos;  
assim que uma  
população de partículas  
materiais deixa de ser  
relativista, é logo  
dizimada.

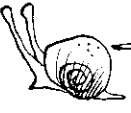


treze segundos

a temperatura caiu para os três milhões de graus



Olhem só para isto!  
Os electrões e os anti-electrões...  
Que hecatombe!

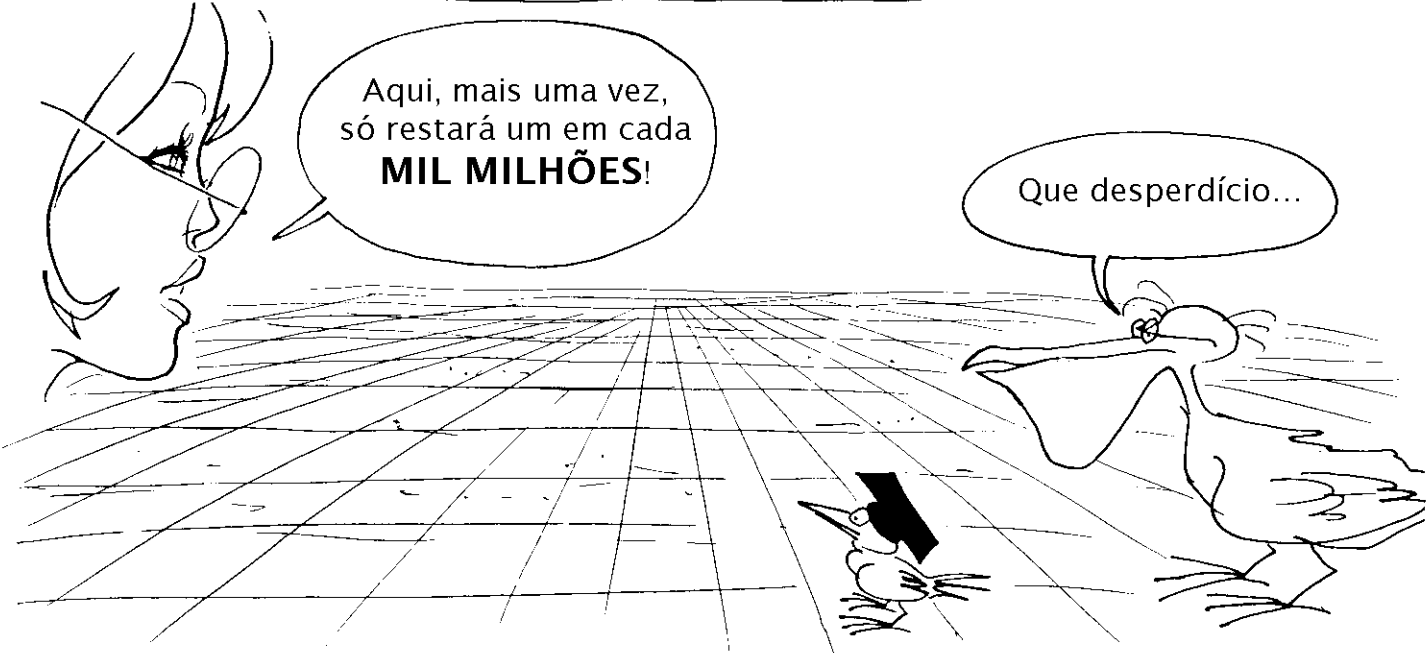


Pois claro, estamos abaixo da temperatura limiar deles

Um autêntico S. Bartolomeu cosmológico!

Aqui, mais uma vez,  
só restará um em cada  
**MIL MILHÕES!**

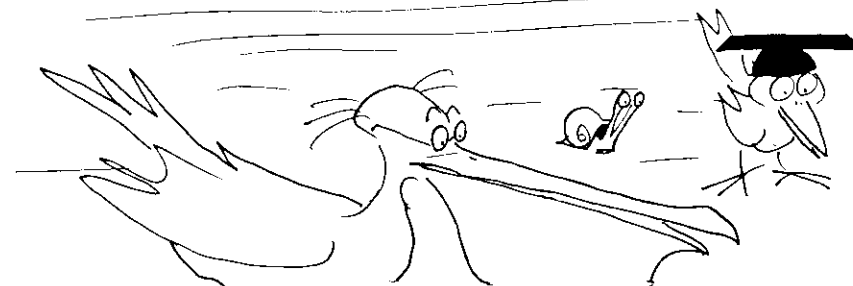
Que desperdício...



Mais um pouco e não teria ficado **NADA...**  
a não ser fotões. E já foi uma sorte...

Deve haver algures  
outros universos em  
que as coisas falham

Um dos maiores mistérios da cosmologia é o de não  
conseguir explicar porque é que a matéria e a  
anti-matéria não se aniquilaram mutuamente...



Nesta altura do campeonato, é sempre a mesma  
história: Chega-se a um momento em que o problema  
da **ANTI-MATÉRIA** é abafado... puf!  
Lá se foi a anti-matéria.... Sumiu!

Tiresias, não se esqueça das nossas  
convenções: Somente os **FACTOS!**  
Nada de especulações descabidas! (\*)

Estou a ficar  
farto dos chuis  
epistemológicos!

Pssst!

(\*) Um álbum será especialmente dedicado às especulações descabidas.  
"O CARNAVAL DA CIÊNCIA": Antologia das ideias que estão para vir

# A Era Radioactiva

Das partículas,  
já não há  
**MASSAS**

Agora, já não grande coisa neste universo a não ser luz

## A ENERGIA-MATÉRIA,

a qual estava em partes iguais sob a forma de matéria, anti-matéria,

fotões e neutrinos, encontra-se agora quase exclusivamente sob a forma de fotões e de neutrinos, isto é, de radiação. Por outro lado, cada vez que o tamanho R do Universo duplica, a densidade da matéria diminui. Simples diluição.

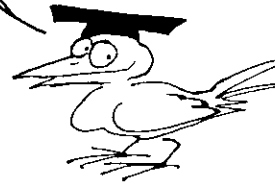
Sobre a alcatifa, quando R duplica, a densidade é dividida por  $2 \times 2 = 4$ . No nosso universo tridimensional, de facto, a densidade é dividida por  $2 \times 2 \times 2 = 8$ .

A densidade de matéria varia como o inverso do cubo do "tamanho", ou seja, do "raio" R do Universo.

Mas, para nós, fotões, a coisa é mais dramática. A expansão "esvazia-nos", pouco a pouco, toda a nossa energia. A quantidade de energia-matéria que transportamos diminui como o inverso do raio R do Universo.

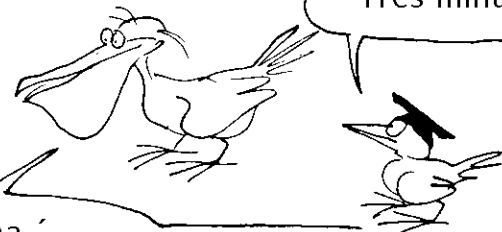
O que faz com que a densidade de energia-matéria que está sob a forma de fotões varie como o inverso da quarta potência de R.

Enquanto a matéria continuar acoplada com os fótons, estes aquecem-na de forma contínua. E isto até que a temperatura comum ( $T_r = T_m$ ) dos mesmos caia nos 3000 k, isto é, ao fim de 700.000 anos.



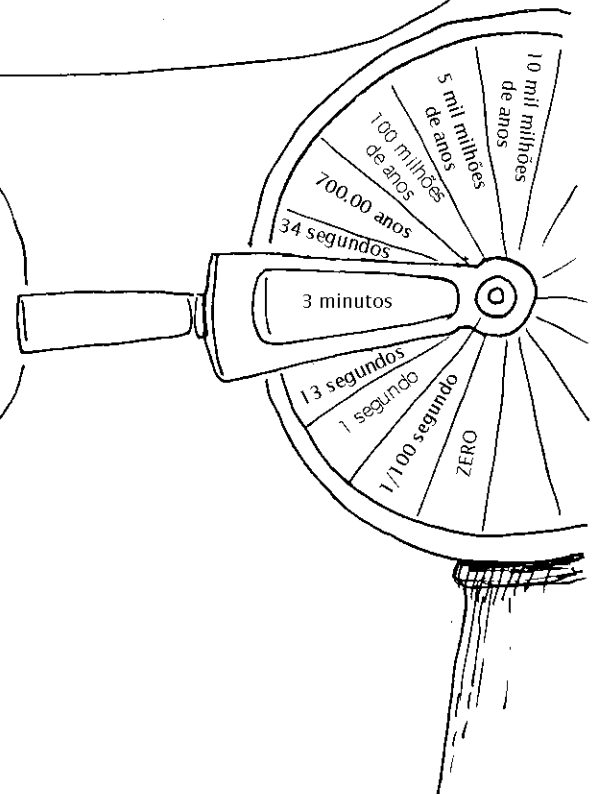
# A NUCLEOSÍNTESE

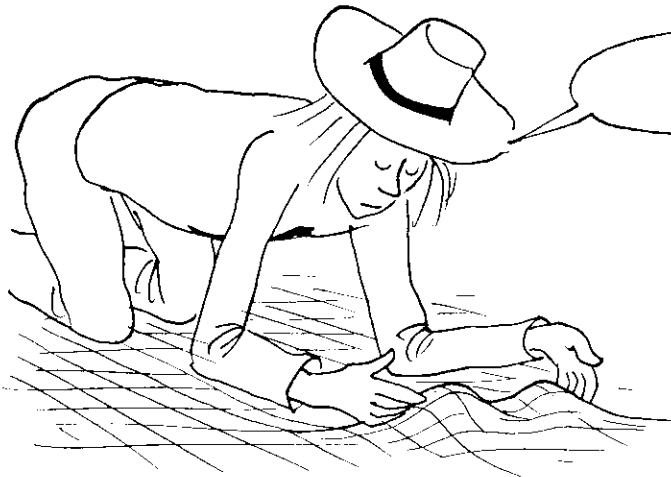
Três minutos



Ora bem... relativamente ao estado descrito na página 31, na primeira centésima de segundo, o tamanho do Universo R foi multiplicado por cem e a temperatura ( $T_r = T_m$ ) caiu para mil milhões de graus. Não resta praticamente nada.  
E então...?

Estão aqui dois relevos. E que tal se eu tentasse empurrá-los e fazê-los deslizar um para cima do outro?



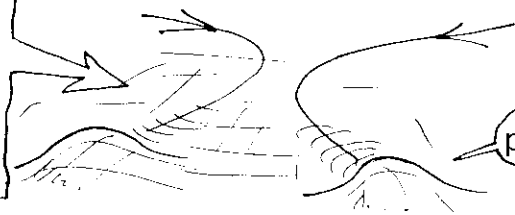


Começam por se repelir



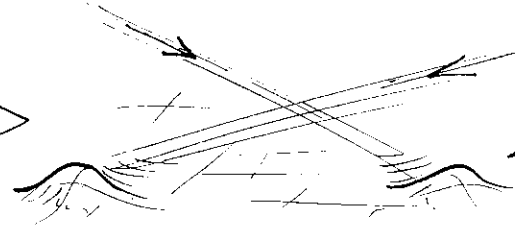
Depois, atraem-se acabando por formar um só objecto.

Quando dois relevos entram em colisão, há 3 situações:  
  
se se moverem lentamente, fazem ricochete um contra o outro



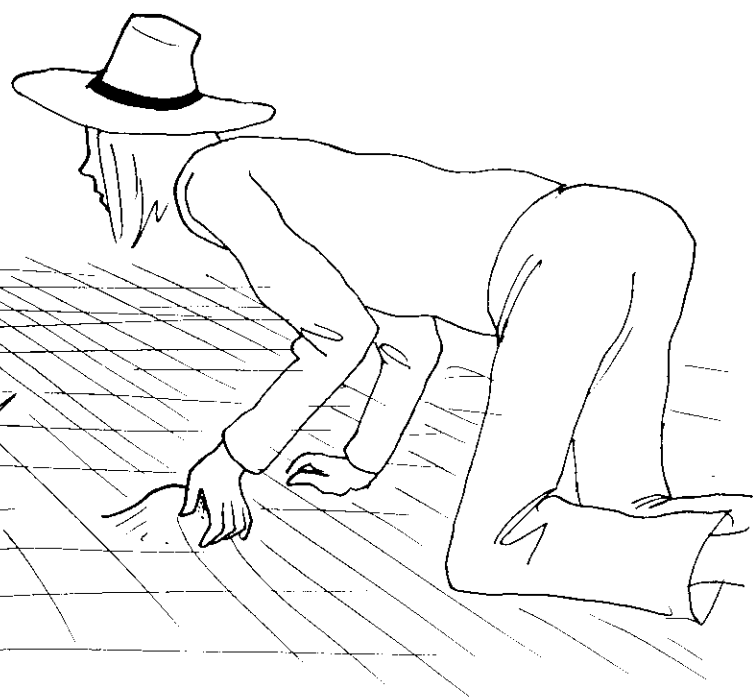
Ups, peço desculpa...

Quando são rápidos, cruzam-se tão rapidamente que nem sequer têm tempo para interagir




?...

Ora só se podem unir se houver condições bem definidas de velocidade de agitação e de temperatura



E uma colisão violenta com um terceiro elemento rompe as estruturas previamente formadas



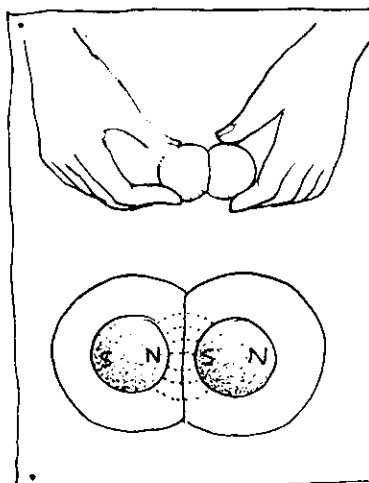


Essas reacções de **FUSÃO** dão origem aos primeiros **NÚCLEOS ATÓMICOS**. Esta **MORFOGÉNESE** fará aparecer as primeiras **FORMAS**, as primeiras **ESTRUTURAS** do Universo

**A**

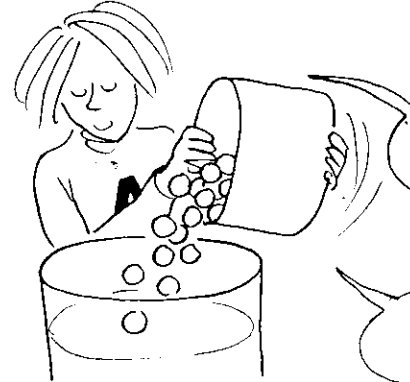
Tem mesmo piada, este negócio!  
Está em jogo uma força atractiva e uma força repulsiva. A grandes distâncias, ganha a força repulsiva e a curtas distâncias, acontece precisamente o contrário.

Vou pegar em hímenes e vou colocá-los em esferas de espuma



A espuma comprime-se com alguma facilidade;

ora se eu pressionar duas esferas uma contra a outra, ficam coladas uma à outra.



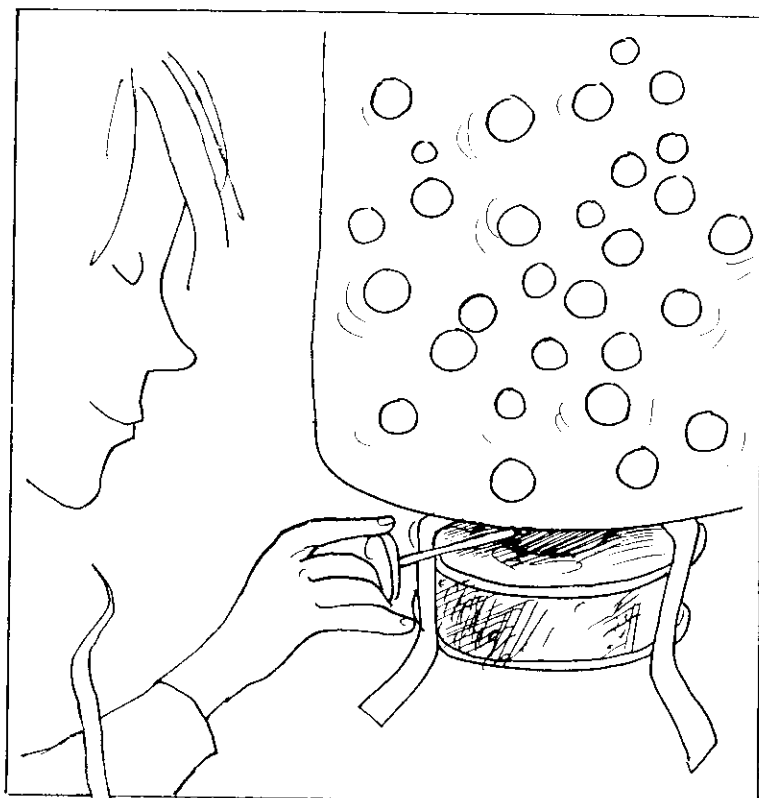
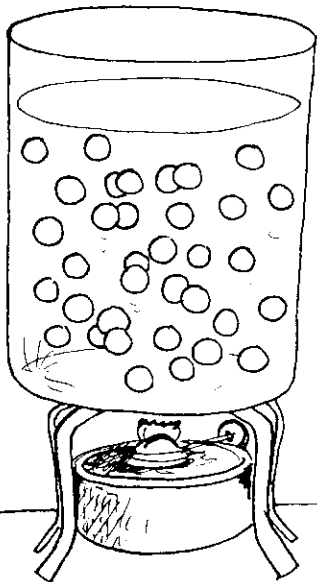
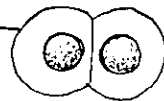
Vou colocar estas esferas dentro de um grande recipiente cheio de água...

... para permitir que se movam.

Duas forças intervêm.  
Uma é atractiva: os hímenes.  
A outra é repulsiva: a espuma, quando está comprimida.  
Mal as esferas se tocam, as forças manifestam-se logo.  
Aqui, o alcance da força magnética é tanto que só entra em jogo se a espuma estiver comprimida o suficiente.  
Existe uma posição, uma configuração em que as forças se equilibram.



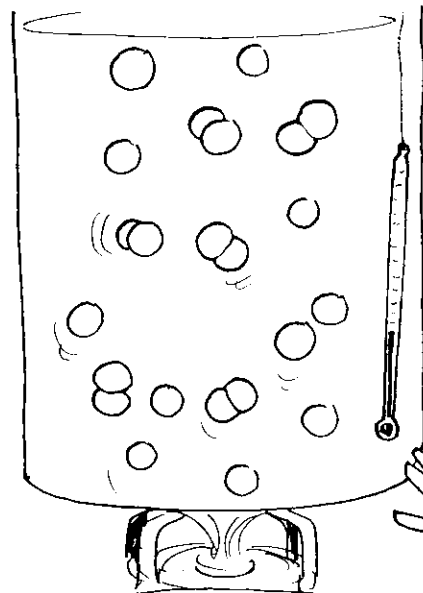
A espuma confere às esferas uma densidade praticamente igual à da água. Agora, vou criar um movimento de agitação através do aquecimento.



Quando o aquecimento é fraco, as esferas ricocheteiam suavemente umas contra as outras, e não se passa absolutamente nada.  
Quando chocam de frente, não há energia que chegue para comprimir a espuma e permitir que a força magnética se manifeste a curta distância e actue.

Muito bem, agora, vou dar um empurrãozinho ao aquecimento.



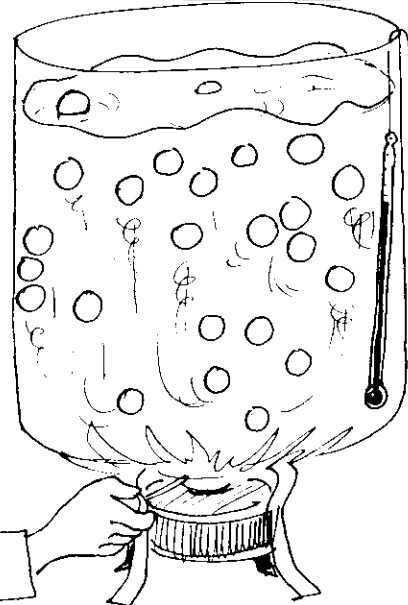


Isso mesmo, funciona!  
É a temperatura certa (superior à temperatura **LIMIAR**), o grau de agitação é suficiente.

Efectivamente, as esferas estão-se a juntar aos pares.

Se eu usar calor em demasia, a agitação térmica destrói estas **ESTRUTURAS**.

E que tal se arrefecesses?



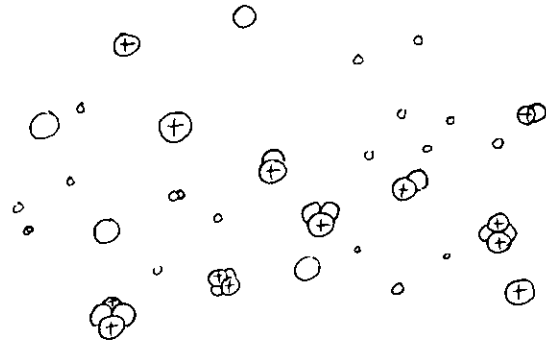
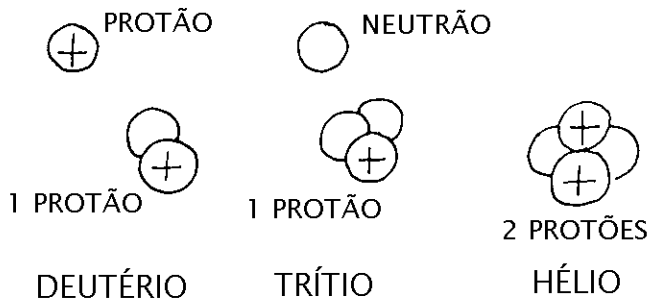
Anselmo deixa a água arrefecer: a **TURBULÊNCIA** diminui. A dada altura, algumas esferas acoplam-se. Mas, como a temperatura continua a baixar, esta **NUCLEOSÍNTESE** acaba por parar.

Já não se pode fazer mais nada, agora. A água está demasiado fria. A agitação das esferas é tão pouca que já nem se conseguem unir entre elas.

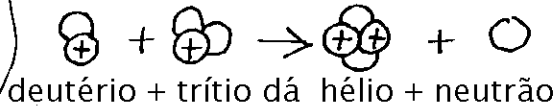
Estamos abaixo do **LIMIAR**



Acontece a mesma coisa quando a temperatura do Universo desce abaixo dos **mil milhões de graus**, ou seja, passados **alguns MINUTOS**. E então formam-se estruturas de dois, três ou quatro "esferas".



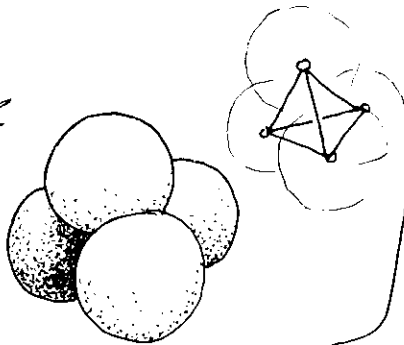
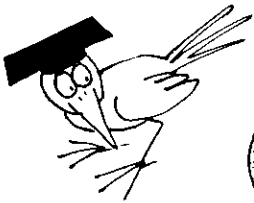
No entanto, o **DEUTÉRIO** e o **TRÍTIO**, mal estejam formados, combinam-se segundo a **REACÇÃO NUCLEAR**:



Neste estado, o Universo é uma **BOMBA DE HIDROGÉNIO**



Então, tudo se transforma em hélio?

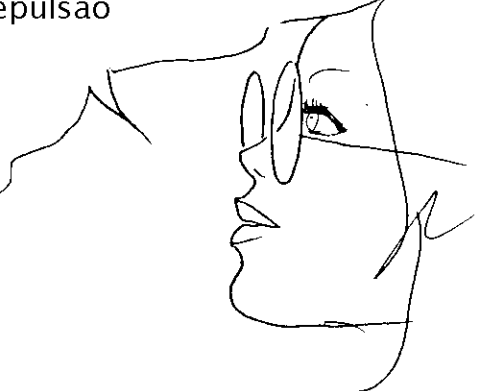


O núcleo de Hélio é bastante simétrico, compacto e sólido. Se a temperatura se mantivesse, toda a matéria seria convertida em hélio.

No entanto, ao cabo de 34 minutos, a temperatura cai para 300 milhões de graus e esta nucleosíntese acaba por parar.

Os núcleos já não têm velocidade que chegue para vencer a repulsão electrostática (+ repele +).

Já não há mais nada a jogar.

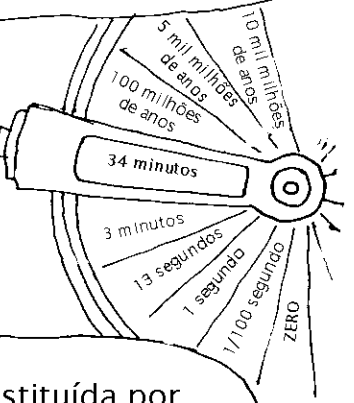


Os últimos neutrões livres desintegraram-se.  
São, por natureza, instáveis e transformam-se, em 109 segundos,  
num par **PROTÃO - ELECTRÃO**



Passaram 34 minutos desde o início

e depois?



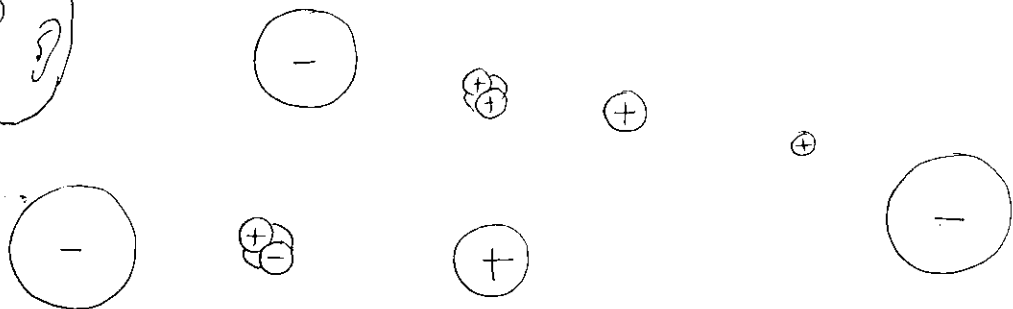
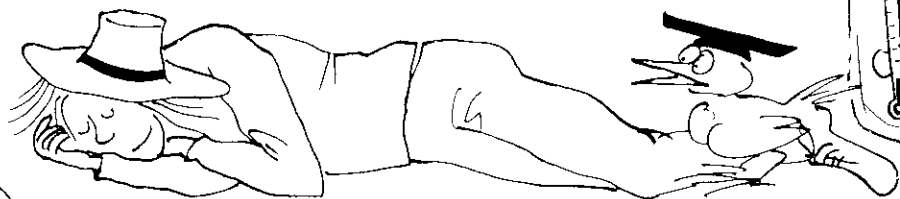
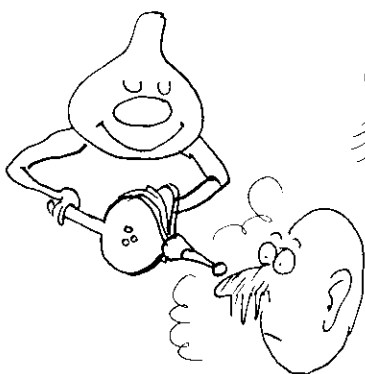
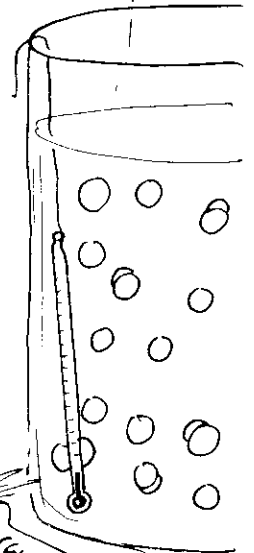
No final desta fase, tem-se uma sopa primitiva constituída por  
**FOTÕES, NEUTRINOS, PROTÕES,  
ELECTRÕES e NÚCLEOS DE HÉLIO.**

A matéria é repartida, falando em percentagem, da seguinte maneira:  
25% de Hélio e 75% de Hidrogénio (protões livres)

HIPS!

Durante **700.000 anos** não se passa absolutamente **NADA**.

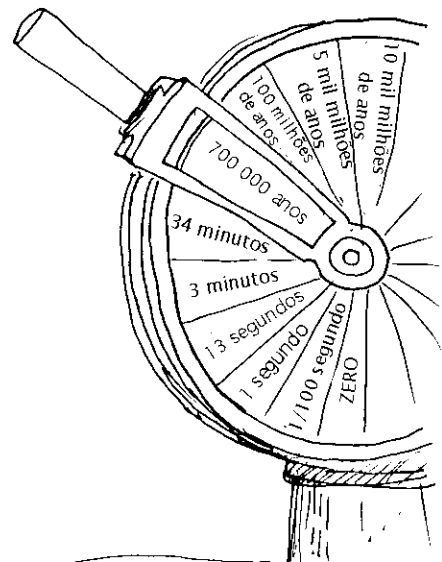
O Universo continua a expandir-se, e os fotões juntamente com ele.  
O gás de fotões continua a fornecer calor à matéria para que ambas as temperaturas  $T_r$  e  $T_m$  permaneçam iguais (equilíbrio termodinâmico).



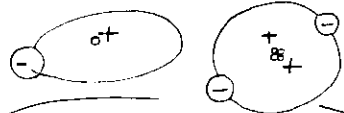
E a temperatura desce para **3000 kelvin**

# O UNIVERSO TRANSPARENTE

Outro mecanismo **MORFOGENÉTICO** entra em jogo. As forças eléctricas tendem a ligar os electrões aos núcleos para formar os átomos. A agitação térmica diminuiu o suficiente para que as estruturas, uma vez formadas, não voltem a quebrar pelo efeito das colisões com outro átomo ou com outros componentes da mistura.



Aos poucos, todos os electrões **LIVRES** vão sendo capturados



Esse átomos esquisitos... com os seus grandes electrões. Pfff... não me habituo à ideia

E o universo torna-se **TRANSPARENTE**

O que queres dizer com transparente? Era opaco, antes?



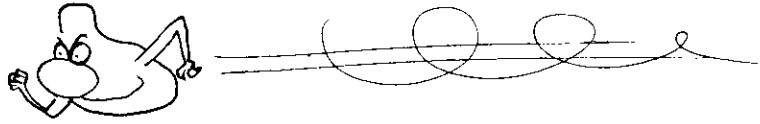
Antes, os fotões interagem constantemente com a matéria. Nenhum fotão conseguia furar caminho nesse meio.



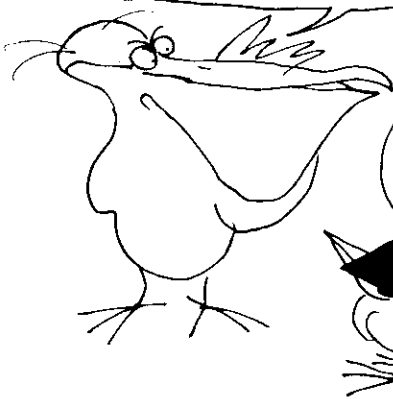
# E O DESACOPLAMENTO

Agora, acabou;  
os fótons podem atravessar o Universo todo sem  
darem conta que a matéria existe:  
há **DESACOPLAMENTO**.

Por duas razões - Em primeiro lugar, já não há espaço.  
Em segundo lugar, os fótons interagem menos com a matéria neutra (os átomos).



Mas... vamos lá ver...  
Os telescópios enviam-nos imagens que, de alguma forma,  
nos chegam "em directo do passado..."



Sim, mas mesmo com um telescópio incrivelmente  
potente, jamais poderemos observar um fenómeno da época  
em que o Universo tinha menos de 700.000 anos.

O passado, o passado muito antigo do  
Universo permanecerá para sempre fosco,  
enublado

Sim, é impossível fazer  
uma psicanálise ao  
Universo.



A matéria e os fótons deixaram de interagir e de fazer trocas de energia:  
o **EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO É QUEBRADO**,  
e a temperatura da matéria  $T_m$  desata a diminuir mais rapidamente  
(como o inverso do quadrado do raio do Universo)  
do que a temperatura  $T_r$  dos fótons, a temperatura de radiação,  
a qual decresce apenas como o inverso do raio  $R$ .

Olá


Agora...  
amigos, amigos negócios à  
parte!

Poça!  
O que é que se passa?  
Parece que está a ficar de noite.  
E ficou um frio de rachar  
de repente...

O Universo passa agora por uma espécie de crepúsculo, e  
continua a arrefecer.  
O céu passa do violeta para o vermelho escuro e a noite cai  
como uma capa fria.  
Continua a haver mil milhões de fótons originais para cada  
átomo de hélio ou de hidrogénio.  
Porém, estes fótons, distendidos por causa da expansão,  
ficaram exangues.

O **BIG BANG** chegou ao seu fim.  
Mais um pouco e já não sobrava nada (uma partícula em mil  
milhões)! Está tudo escuro, como se estivéssemos num túnel.





Brrr...  
está um frio de  
rachar!

O comprimento de onda dos  
fotões é de 0,15 mm, o que  
corresponde a uma temperatura  
de radiação  $T_r = - 173^\circ\text{C}$

Os átomos, esses, andam  
por aí a passear  
a 150 m/s, o que dá uma  
temperatura de matéria  
de  $- 267^\circ\text{C}$

Bem, acho que percebi mais ou menos  
como é que funciona o Universo

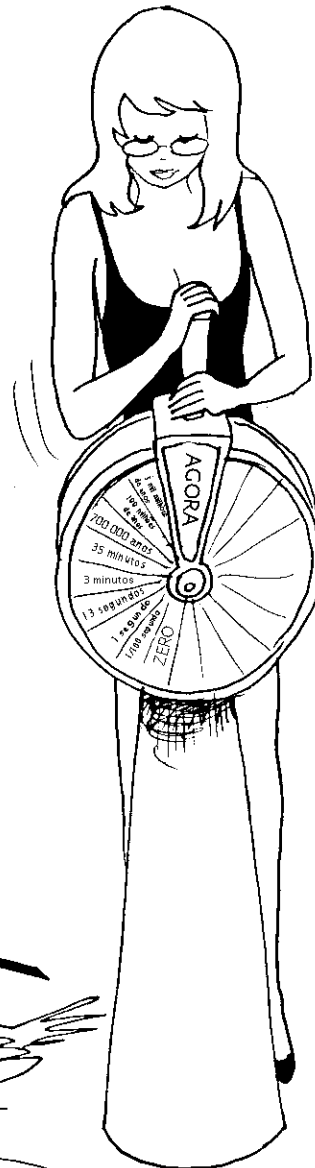
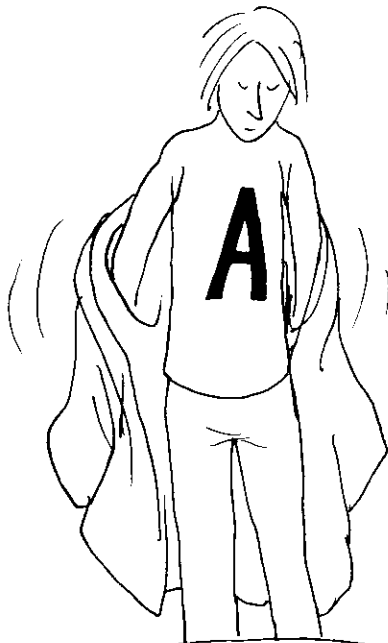
mas...  
fica no ar uma  
pergunta importante:  
para que serve?

Sim, de facto, o  
Anselmo tem razão:  
Qual é o sentido disto tudo?

Por acaso é útil?



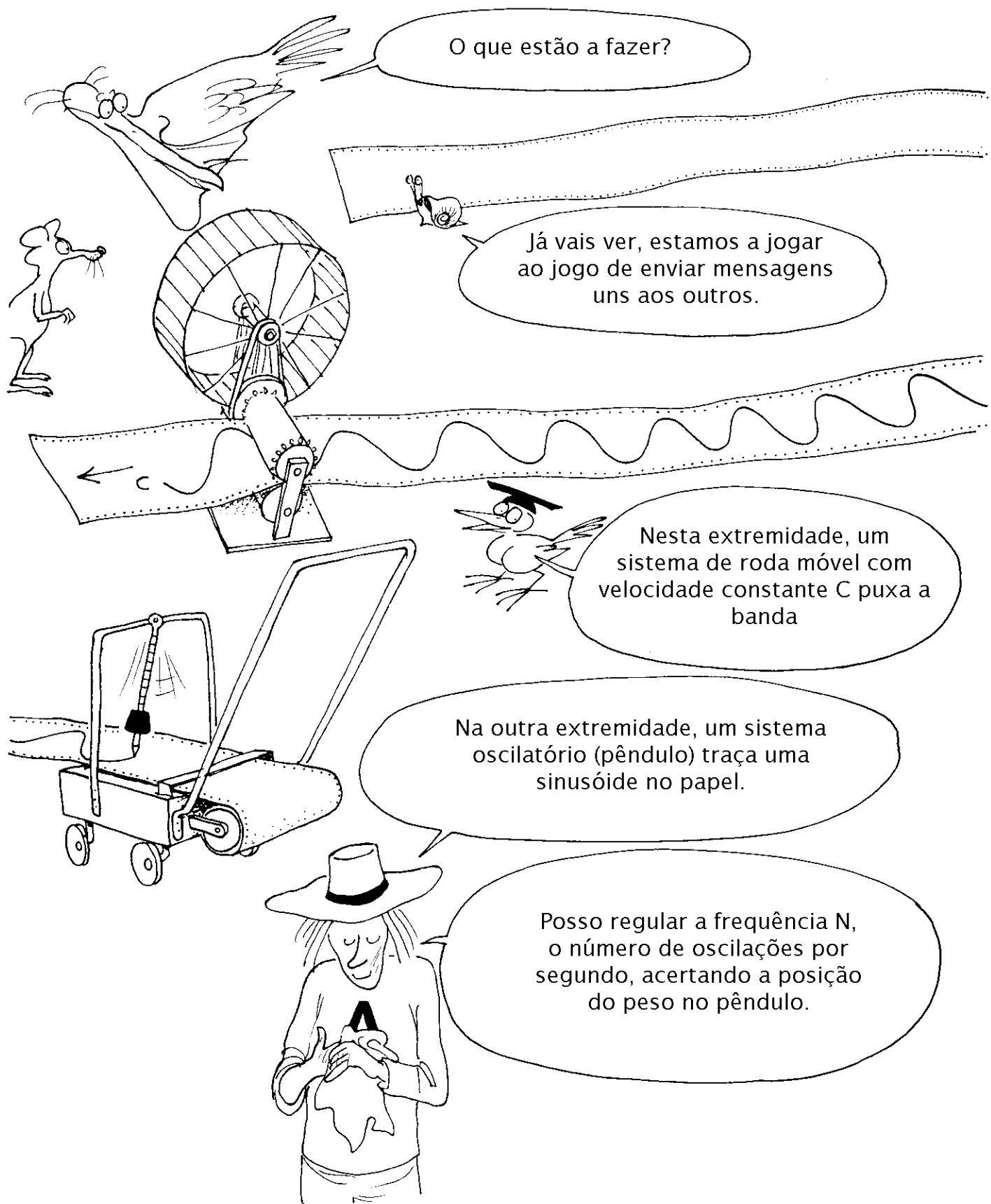
Para responder à pergunta do Leão, deixemos o Universo de alcatifa e voltemos ao presente.



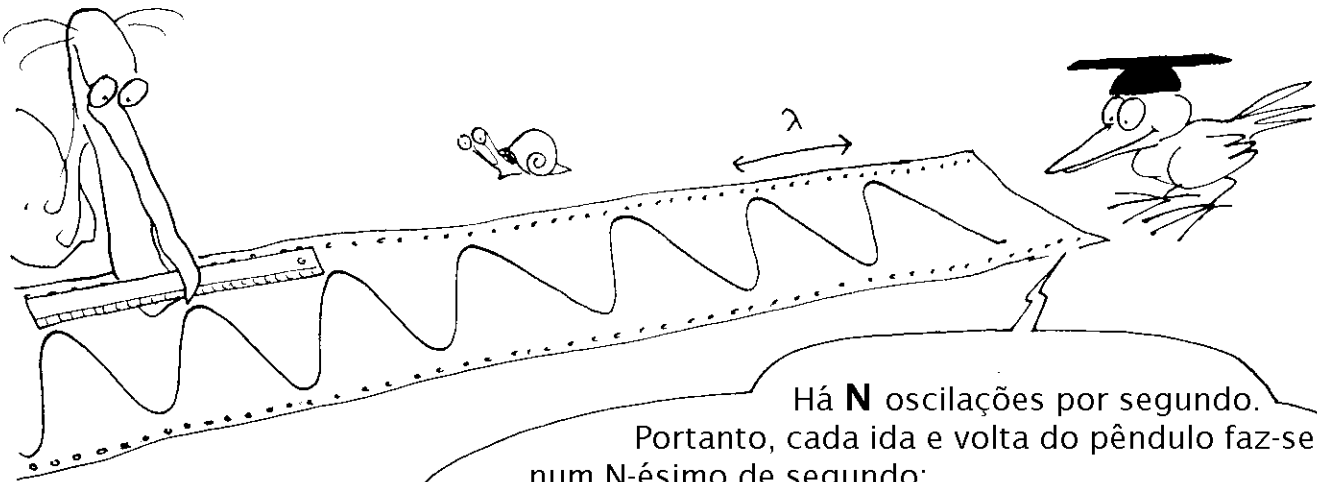
E todo o resto?  
A formação das galáxias,  
das estrelas...?  
É para esquecer?

Não, tudo isso será contado  
em **UM BILIÃO DE SÓIS**

# O EFEITO DOPPLER



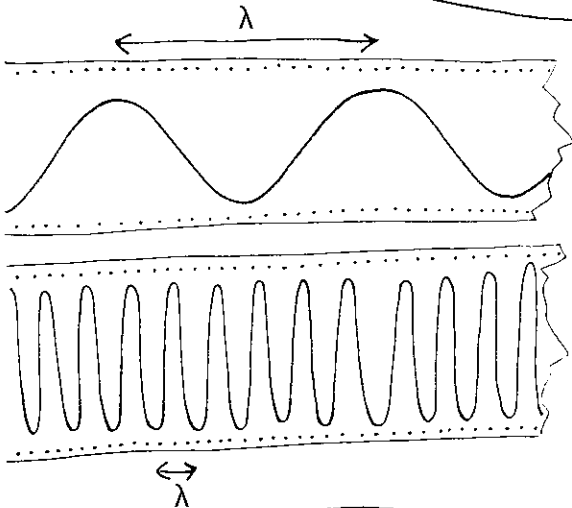
Ah, está bem. E eu posso medir o comprimento de onda de recepção.



Há **N** oscilações por segundo.  
Portanto, cada ida e volta do pêndulo faz-se num N-ésimo de segundo:

é o **PERÍODO** da onda.

Durante esse tempo, a banda avança de  $\lambda = C/N$   
(comprimento de onda)



Baixa frequência, período longo,  
grande comprimento de onda.  
Alta frequência, período curto,  
pequeno comprimento de onda.

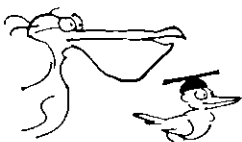
Isto permite  
comunicar.

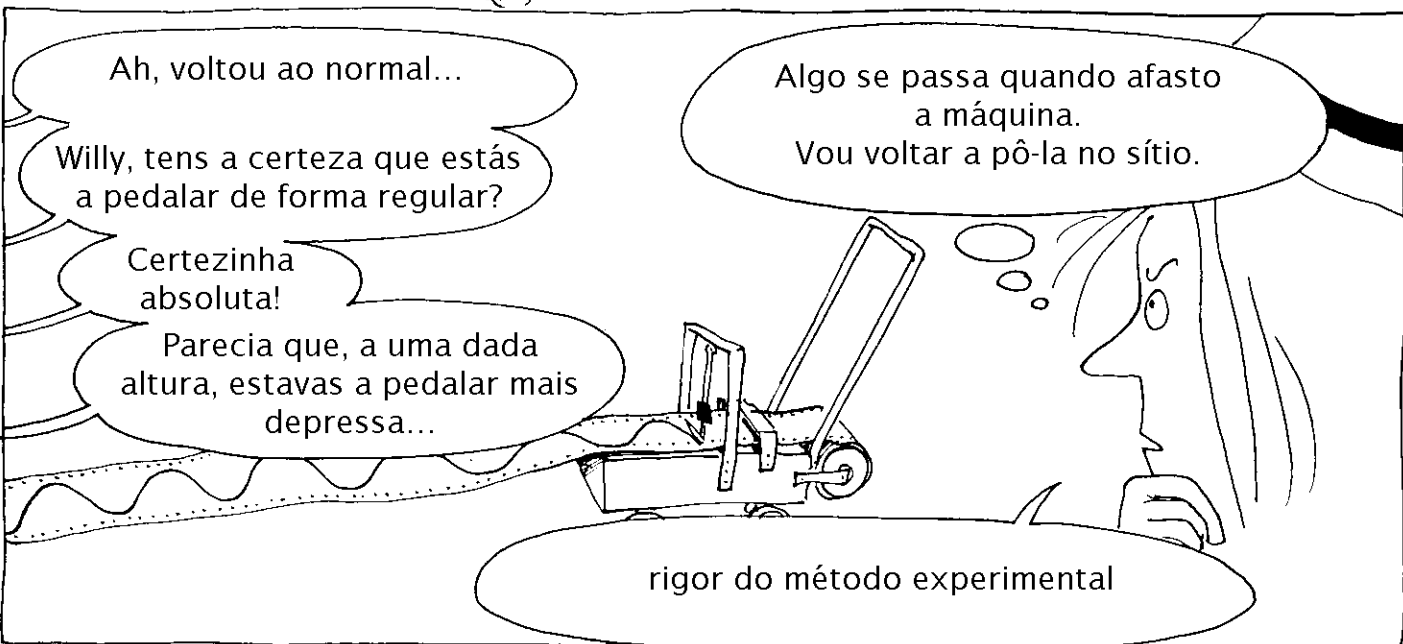
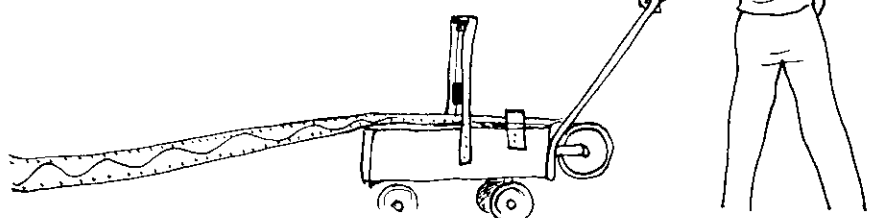
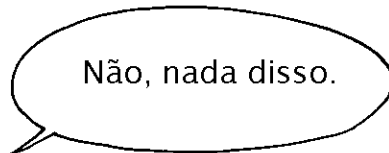
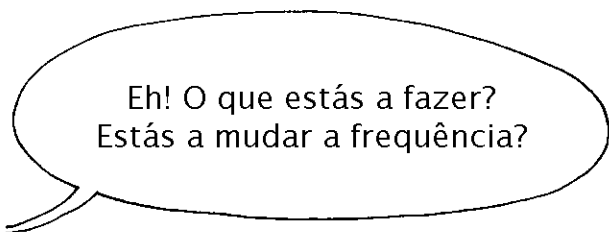
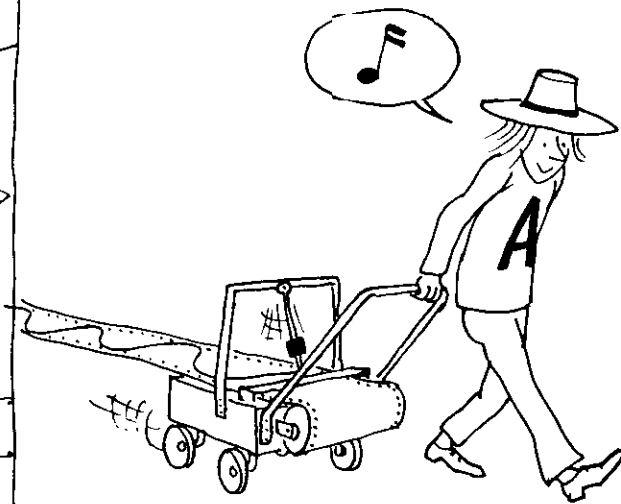
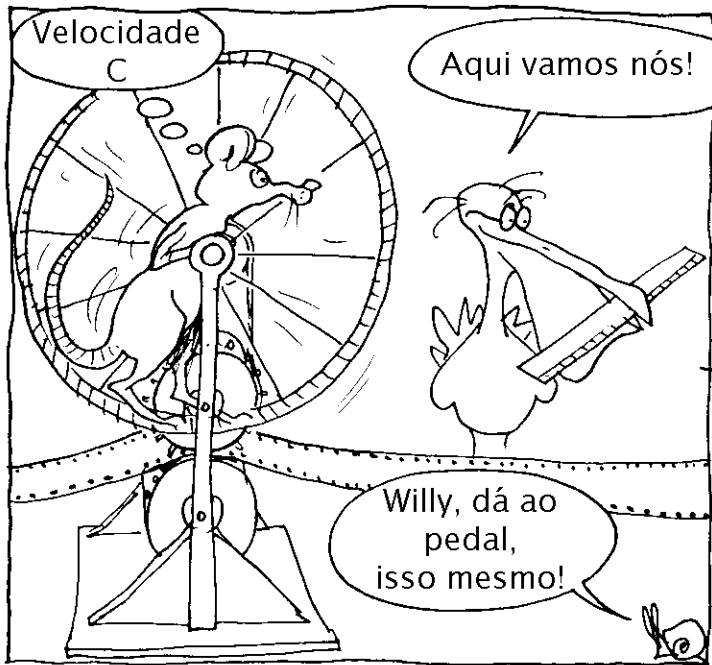
É importante  
a comunicação



Bem, vou fazer uma experiência: uma  
transmissão a uma distância maior.

Preparados?



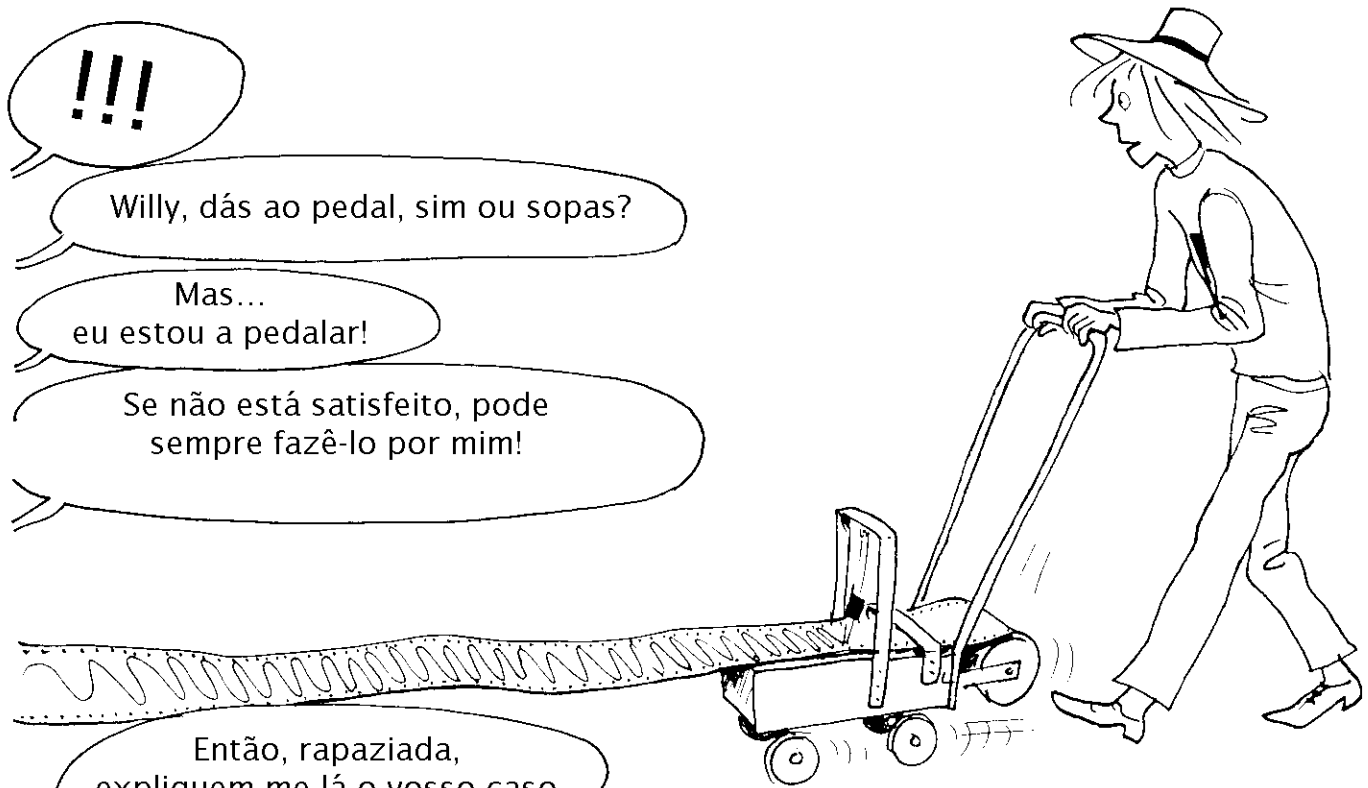


!!!

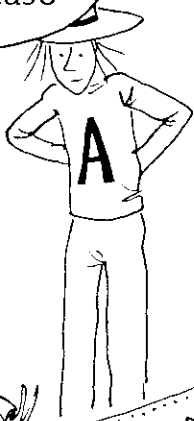
Willy, dá ao pedal, sim ou sopas?

Mas...  
eu estou a pedalar!

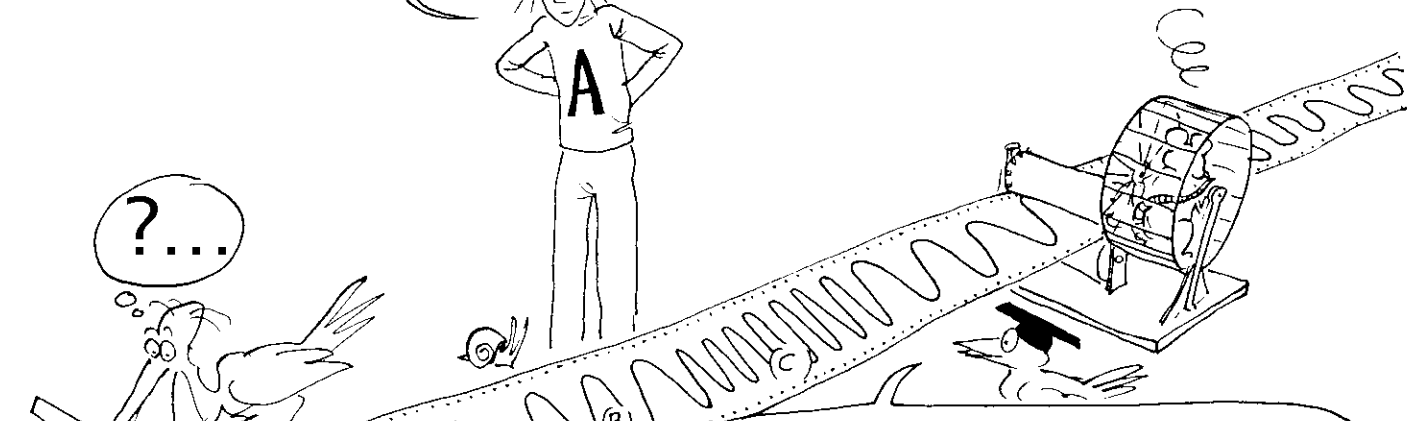
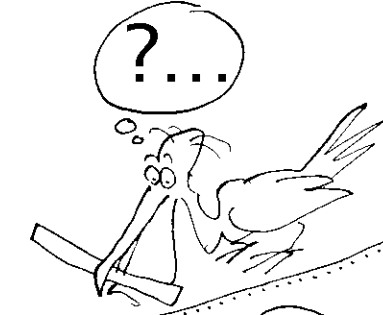
Se não está satisfeito, pode  
sempre fazê-lo por mim!



Então, rapaziada,  
expliquem-me lá o vosso caso



?...



Voltou ao normal.  
Porém, ainda há pouco, deu-se um aumento  
de comprimento de onda (A), ou seja, uma quebra  
aparente da frequência de recepção.  
Depois, após um intervalo normal (B), tivemos um aumento da  
frequência de recepção (C), isto é, uma diminuição do  
comprimento de onda  $\lambda$



Eh, dá para eu parar?



Sim, Willy, pára.



O Willy diz que, durante o tempo todo, pedalou de forma regular.

Quem sabe, não terá sido o papel que se dilatou ou se contraiu?

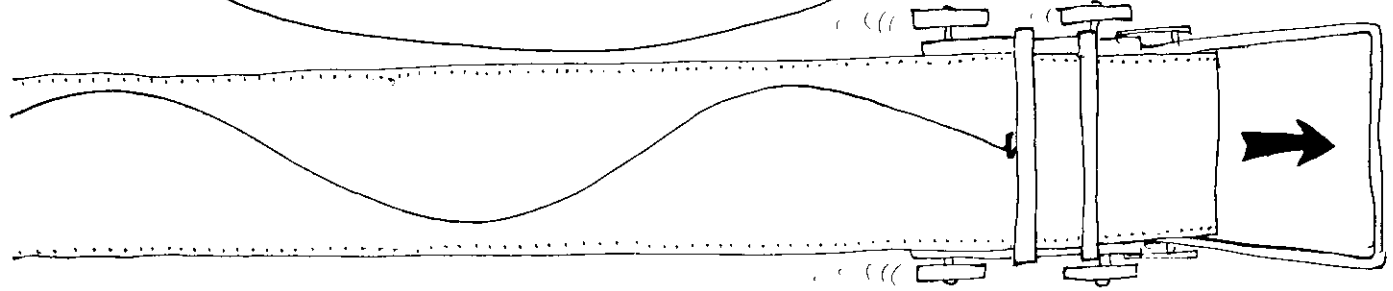
Não, Anselmo. É o efeito Doppler-Fizeau

É o quê?

Quando deslocas o carrinho, isso altera a frequência aparente.

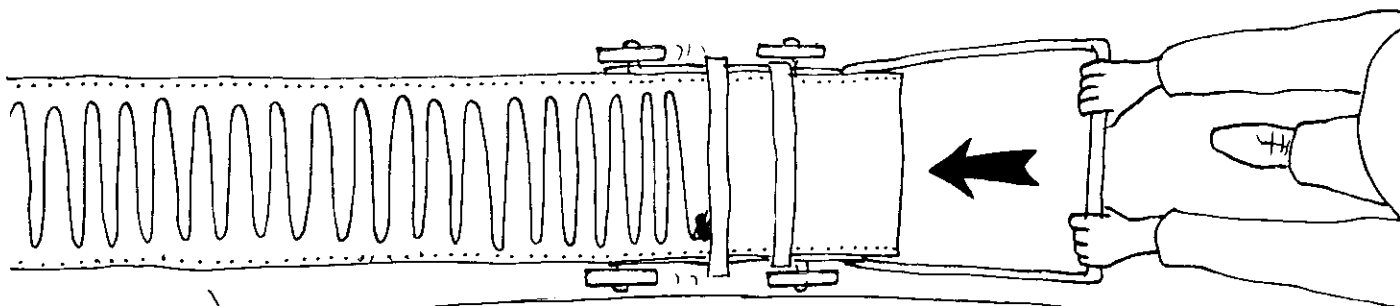


Quando o carrinho se afasta, a sinusóide é estirada e a frequência parece mais fraca.

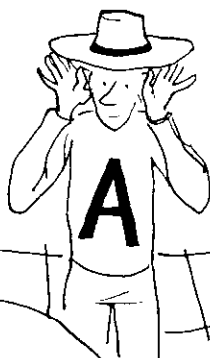
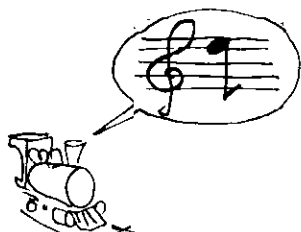




Quando o carrinho se aproxima e avança sobre a banda, a sinusóide comprime-se, contrai-se e a frequência parece mais elevada.



É precisamente o que acontece quando ouves o apitar de um comboio a passar à tua altura. Quando se aproxima, o som sai mais alto (agudo). Quando se afasta, o som sai mais grave.

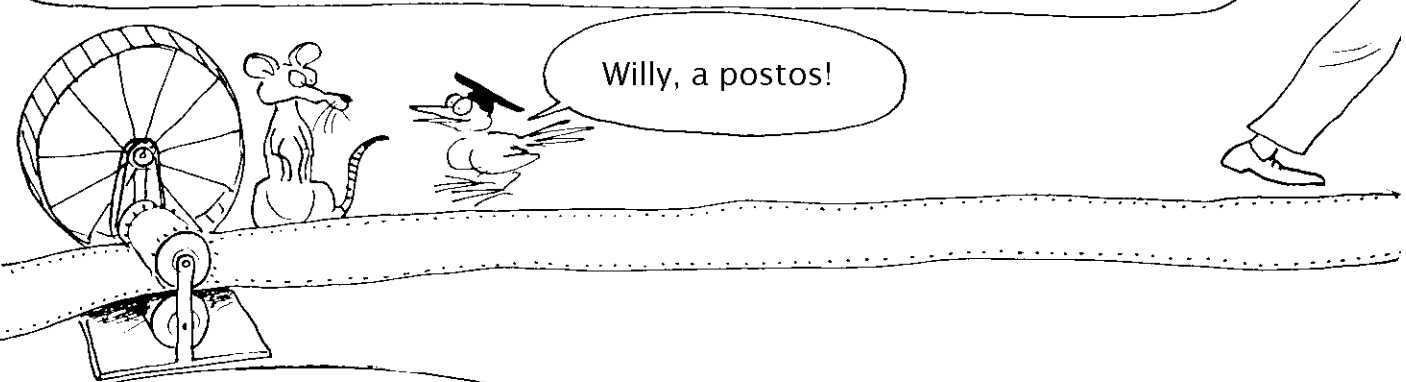


Então, com um sistema destes, se eu souber *a priori* o comprimento de onda do sinal que será emitido por uma fonte imóvel, posso calcular a velocidade de aproximação ou afastamento (recessão) da tal fonte.

E o que é válido para o som, também o é para a luz: os objectos que se afastam parecem mais vermelhos, e aqueles que se afastam, mais azuis.

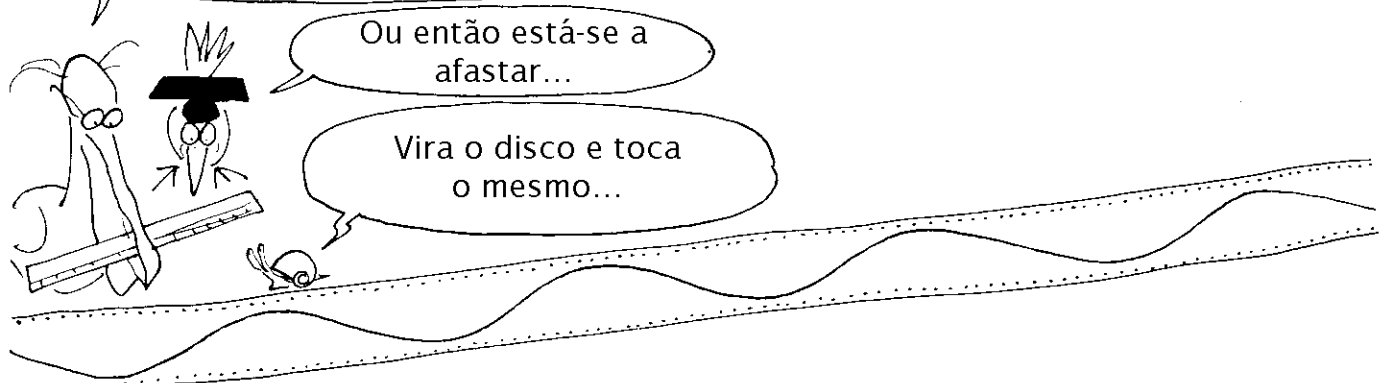


Bem, retomemos as nossas experiências de transmissão à distância



Willy, a postos!

Ele mudou a frequência?!




Ou então está-se a afastar...

Vira o disco e toca o mesmo...

Sim, é isso mesmo!  
Lá deve estar ele a afastar-se outra vez...

Não, suas cabeças de alho chocho, não me estou a afastar!  
**Estou AQUI!**



E o oscilador ficou acolá

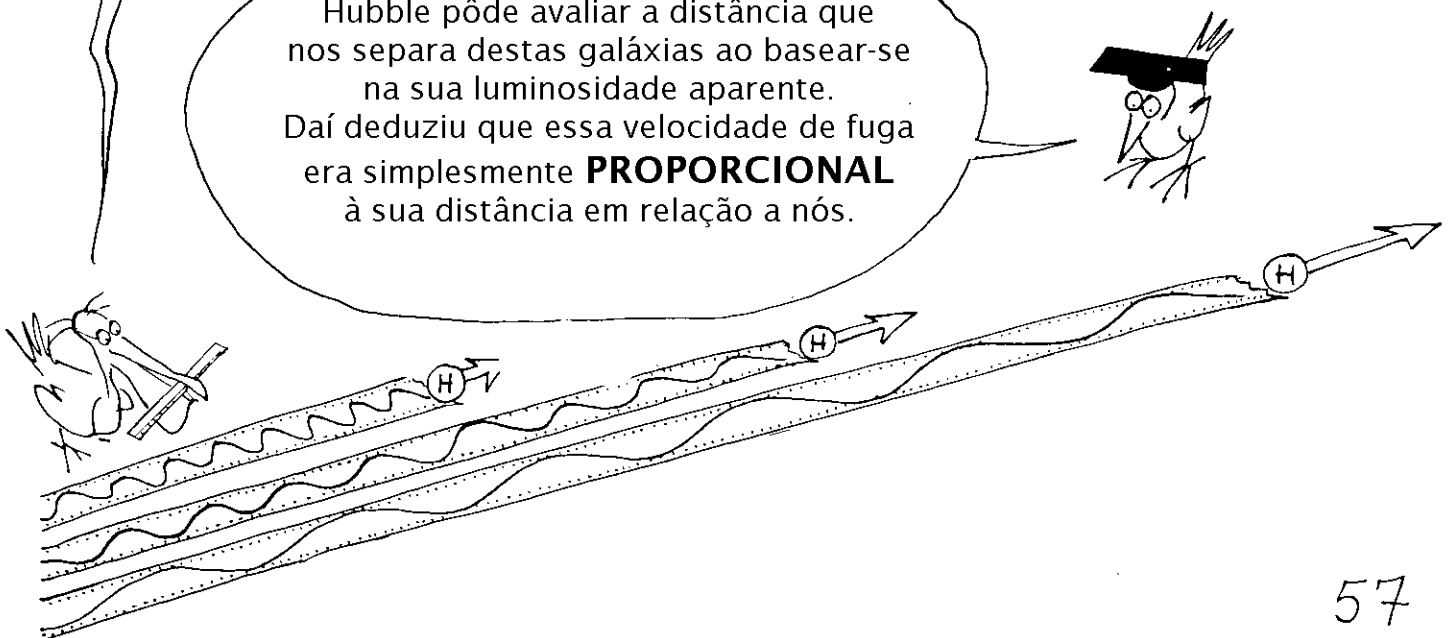
# A FUGA DAS GALÁXIAS



Pois é, foi desta maneira que em 1930, Edwin Hubble descobriu a **EXPANSÃO DO UNIVERSO**, ao constatar que as galáxias longínquas fogem de nós, tornando-se mais vermelhas, em virtude do efeito **DOPPLER-FIZEAU**, à medida que se afastam.

Esses átomos de hidrogénio emitem, em princípio, num comprimento de onda de 21 cm. O efeito Doppler indica-me as velocidades de fuga de 2000, 4000 e 6000 km/s

Hubble pôde avaliar a distância que nos separa destas galáxias ao basear-se na sua luminosidade aparente. Daí deduziu que essa velocidade de fuga era simplesmente **PROPORCIONAL** à sua distância em relação a nós.



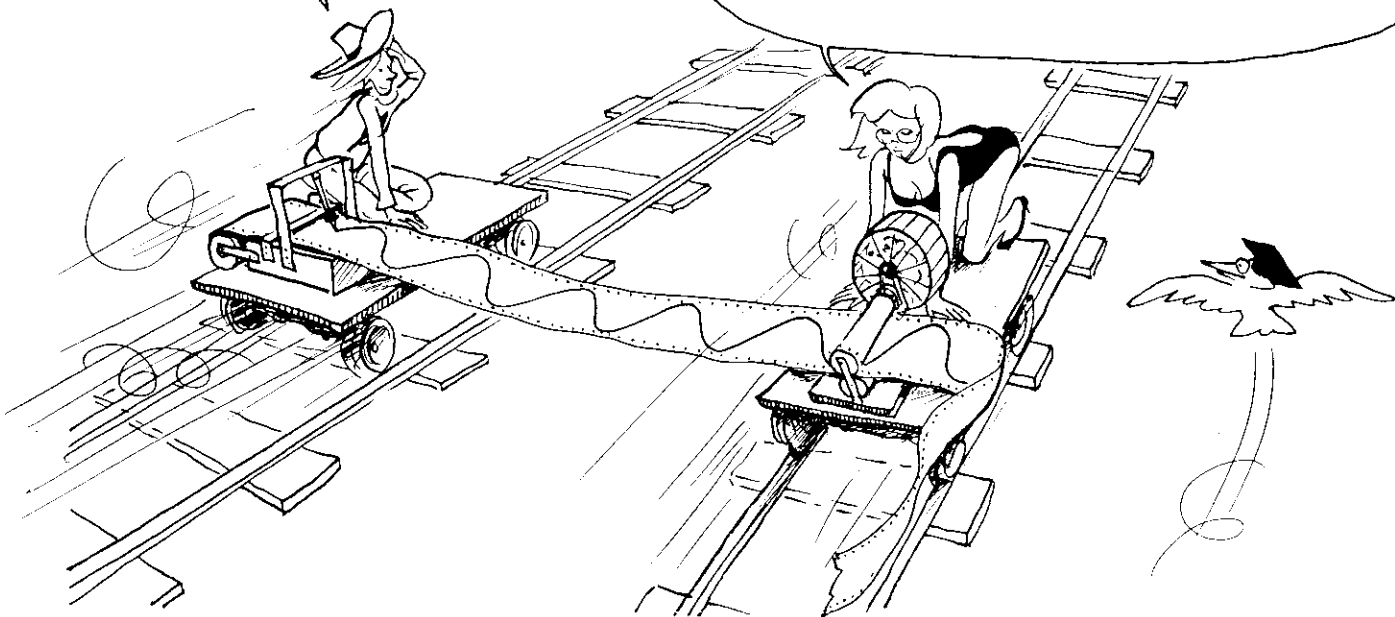
Espera, o que é que isso significa?  
Os objectos aceleram quando  
se afastam de nós?


Não propriamente.  
A alcatifa dilata por todos os lados.  
Imagina um ponto A que, no tempo  
 $t = 0$ , esteja a um metro de ti.  
Passado um segundo, está a 1,20 m.  
A sua velocidade de fuga é portanto  
de 20 cm/s

Na mesma fracção de tempo,  
um ponto B, situado inicialmente  
a dois metros de ti, encontrar-se-á  
a 2,40 m (em B'), e a sua velocidade  
**EM RELAÇÃO A TI** será de 40 cm/s

O efeito **DOPPLER** indica  
**VELOCIDADES  
RELATIVAS**


Não há variação nenhuma do  
comprimento de onda quando o  
emissor e o receptor vão à mesma  
velocidade em caminhos paralelos.



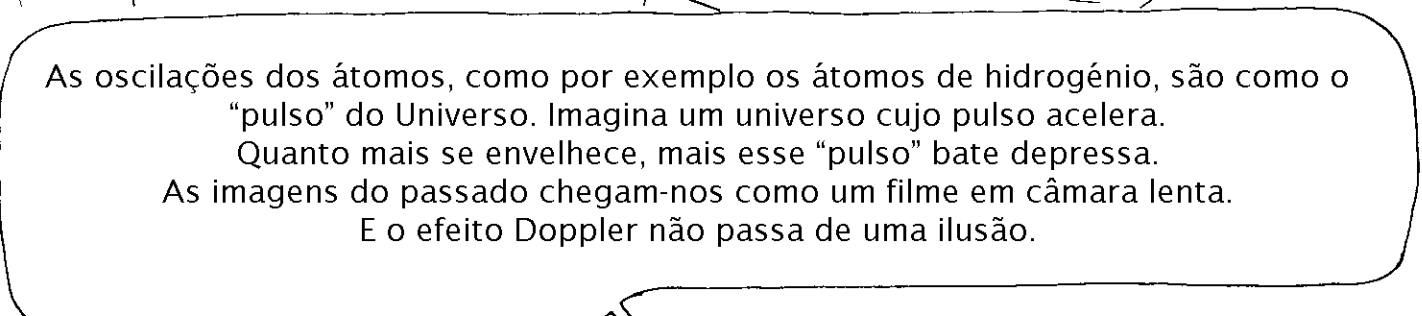


Então, significa que todo o nosso Universo está em expansão?


Alto aí! Surgiu-me outra ideia. Suponhamos que o tempo... acelera.



Mas isso... não é suposto não querer dizer nada?!




As oscilações dos átomos, como por exemplo os átomos de hidrogénio, são como o "pulso" do Universo. Imagina um universo cujo pulso acelera. Quanto mais se envelhece, mais esse "pulso" bate depressa. As imagens do passado chegam-nos como um filme em câmara lenta. E o efeito Doppler não passa de uma ilusão.



Com certeza, Tiresias, pode-se imaginar tudo. E o que acabas de dizer é o mesmo que dizer que as leis da física evoluem ao longo do tempo, tal como defende Fred Hoyle.

# O FUNDO DO CÉU É FRIO



Mas existe outro argumento a favor da expansão e do respectivo corolário, **O BIG BANG**

ena!

Tínhamos visto, há bocado, que apenas um fóton em mil milhões se tinha conseguido transformar em matéria.

e em anti-matéria!

Por isso, deveria restar uma grande quantidade desses fótons primitivos, cerca de 500 por centímetro cúbico (mais outros tantos neutrinos, mais difíceis de detectar)

O comprimento de onda dos mesmos deveria ser de cinco milímetros, o que corresponde a uma temperatura de radiação  $T_r$  de três graus absolutos ( $-273^\circ\text{C}$ ).

Esses fótons, cuja energia é muito fraquinha, foram detectados por Penzias e Wilson em 1964. São as autênticas cinzas do **BIG BANG**, uma prova tangível desta grande dança cósmica.

Ena!!

Uau!

# O HORIZONTE COSMOLÓGICO

Ó Sofia, de acordo com a **LEI DE HUBBLE**, a velocidade de fuga dos objectos aumenta com a distância...

Portanto, indo pela lógica, devem existir objectos que se afastam de nós a velocidades iguais ou até mesmo superiores à velocidade da luz?!

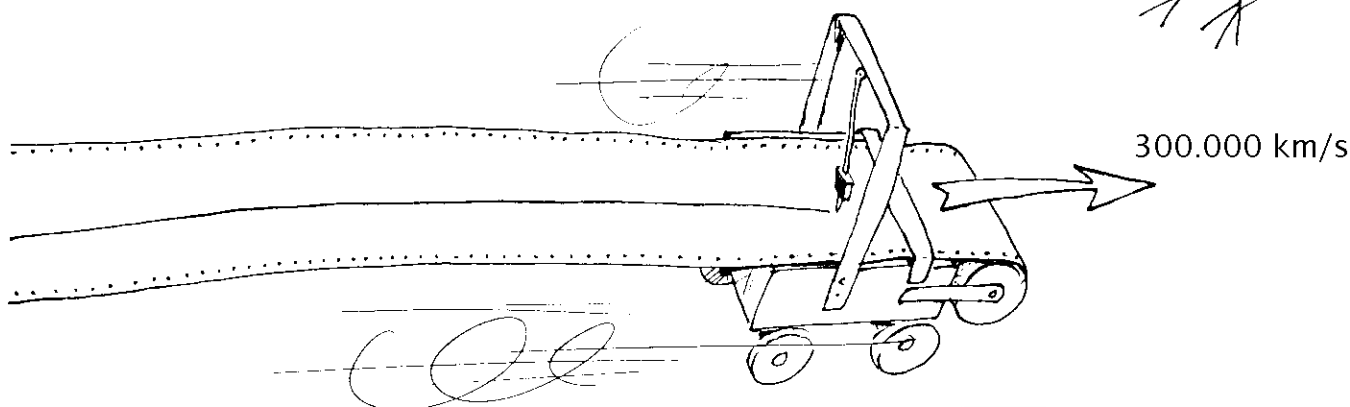
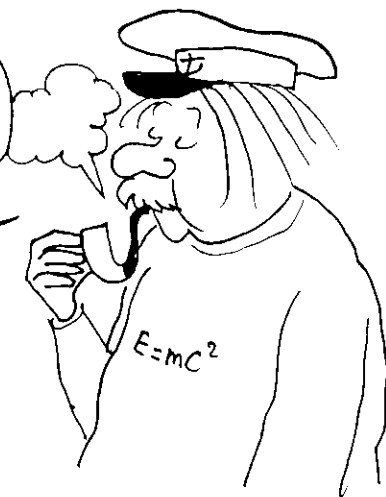
Então, nunca mais poderemos receber essa luz?!

Porquê?  
Se um avião se afastar de mim a uma velocidade supersónica, posso na mesma ouvir o barulho que ele produz, não posso?

Meus queridos, não é assim que se deve ver as coisas...

O facto de se deslocar tem uma incidência sobre o **TEMPO** (\*). Um objecto que se desloca a uma velocidade próxima dos 300.000 km/s, a velocidade da luz, encontra-se, relativamente a nós, espectadores, numa “esfera de tempo” diferente. Recebemos a sua mensagem um pouco como se fosse uma espécie de filme em câmara lenta.

E se esse objecto se mover em relação a nós à velocidade da luz, o desfasamento de tempo passa a ser total. O seu tempo dá a sensação de se estar a coagular como se fosse um molho.



Por causa desse deslize, desse desfasamento dos tempos de um relativamente aos do outro, a frequência de recepção das ondas diminui. Este fenómeno, de essência relativista, sobrepõe-se e contribui para o efeito **DOPPLER**. Quando a velocidade de afastamento do emissor, em relação a nós, alcança o valor  $c$ , a frequência das ondas recebidas cai para zero. Acaba-se a energia, acabam-se as ondas, acabam-se as mensagens!



Ondas de frequência nula...  
deixam de ser ondas!

(\*) Consultar **TUDO É RELATIVO**, do mesmo autor.



Para os objectos que nos rodeiam, é alcançada uma velocidade relativa igual a 300.000 km/s numa esfera chamada **HORIZONTE**.

Esta não é a fronteira **DAS COISAS EXISTENTES** mas sim a fronteira das **COISAS QUE PODEMOS CONHECER**.

O Universo acessível pode até nem passar de uma porção de um universo mais vasto.

Este horizonte está a dez mil milhões de anos-luz.

O alcance do mais potente telescópio terrestre actual, o observatório do Monte Palomar, é de mil milhões de anos-luz.

*A Direcção*

Mas, o que significava, ainda há bocado, aquilo do raio R do Universo?



A história começou quando o Universo tinha um centésimo de segundo. Imagina que, naquele preciso momento, tenham traçado um círculo, melhor ainda, uma esfera de raio R e que se siga a expansão dessa esfera ao longo do tempo. É só isso...

Desta forma, não se fazem suposições sobre o facto de o espaço poder ser finito ou infinito (\*).

Ela tem olhos lindíssimos...

Eh, vocês aí!


Esta banda desenhada ainda não acabou!

HiHiHi!


Ainda precisamos de vocês!

(\*). Consultar **OS MISTÉRIOS DA GEOMETRIA**, do mesmo autor.

# OS MODELOS DE FRIEDMANN




Sofia, o que é que provoca a expansão do Universo?




São as forças de **PRESSÃO**. Tudo se passa como se o Universo tivesse **EXPLODIDO** como uma autêntica bomba.


E não há nada que se oponha a essa expansão?



As forças da gravidade tendem a fazer condensar o Universo sobre si mesmo, a fazê-lo **IMPLODIR**.



Será que não dá para conceber um universo em que as forças, nomeadamente as de pressão e as gravitacionais, se equilibrem?



Pode-se mostrar que o equilíbrio é impossível. Ao mínimo desvio desse equilíbrio, este universo "estático" explode ou implode.

**EXPLOSÃO**

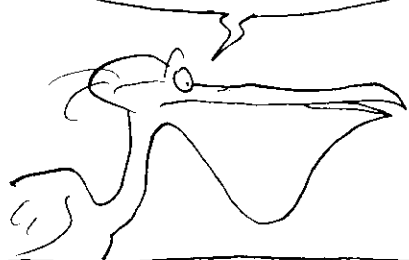


**IMPLOÇÃO**

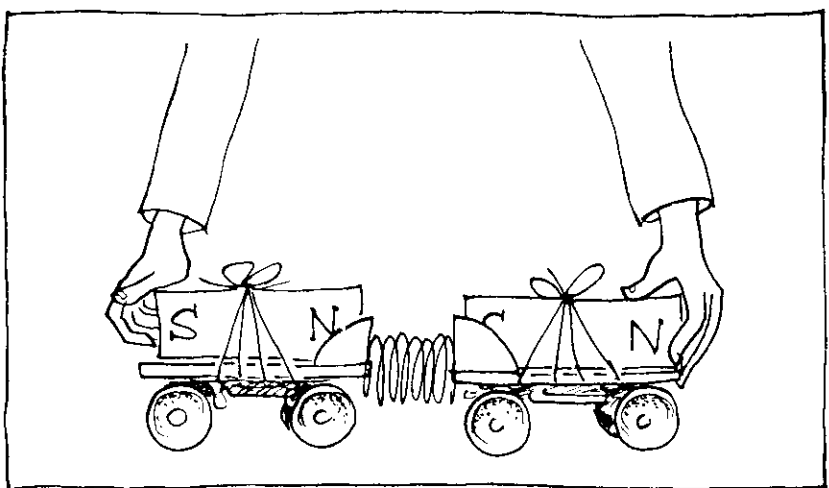
Mas, nesse caso, diga-me uma coisa: o nosso Universo poderia ter... implodido em vez de ter explodido?

Num certo sentido, até se pode dizer que sim ...

quem sabe, nesse caso, se o tempo, esse, não terá feito... marcha atrás...



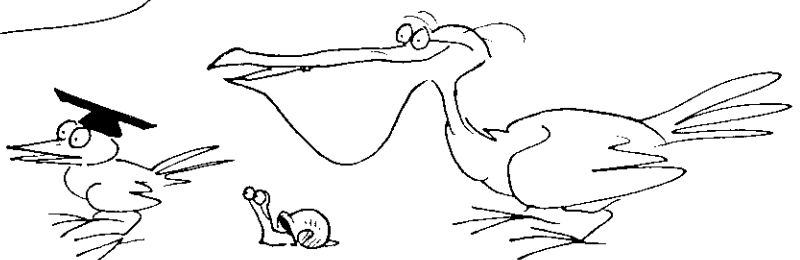
Tsss!...

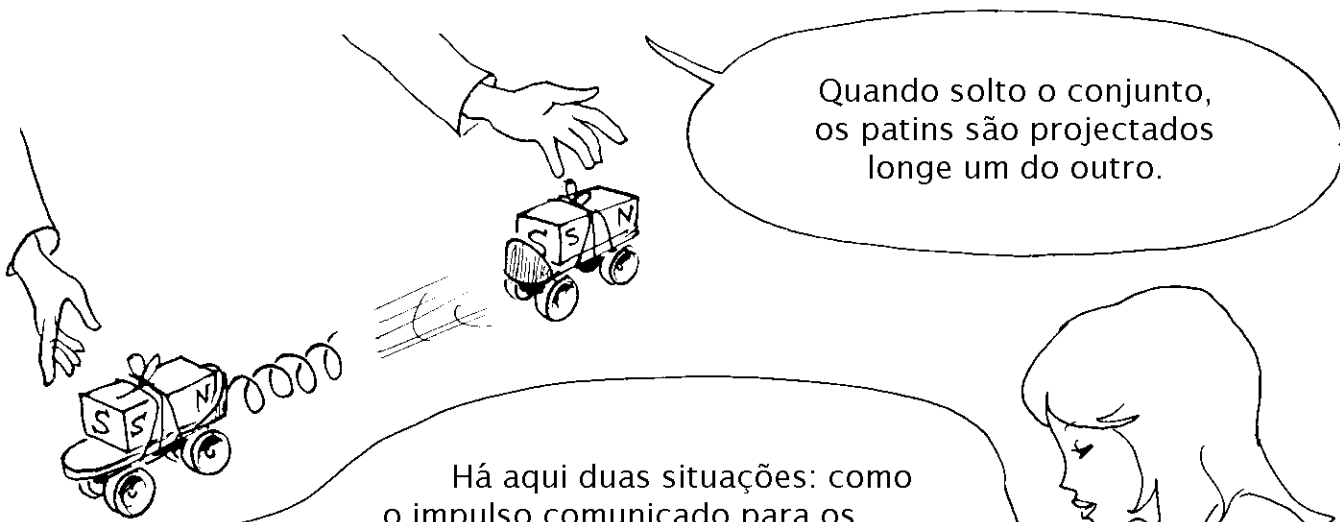


Anselmo uniu dois hímenes sobre patins de rodas.  
Atraem-se.  
Mas uma mola comprimida tende a afastar os patins um do outro.

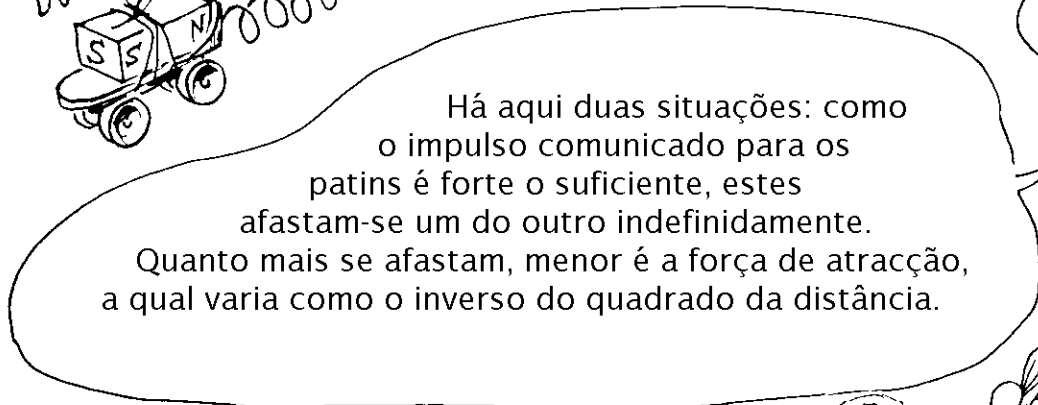


Vês, os hímenes representam as forças de gravitação, atractivas, coesivas.  
A mola simula as forças de pressão.

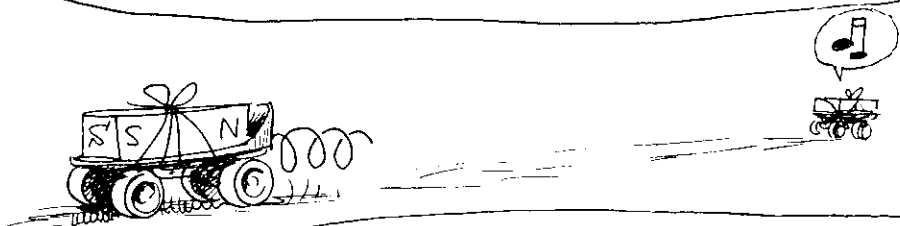




Quando solto o conjunto, os patins são projectados longe um do outro.



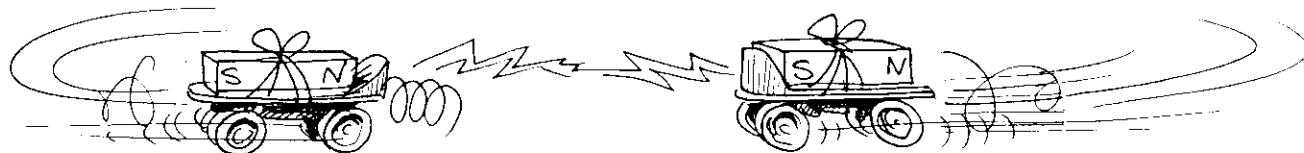
Há aqui duas situações: como o impulso comunicado para os patins é forte o suficiente, estes afastam-se um do outro indefinidamente. Quanto mais se afastam, menor é a força de atracção, a qual varia como o inverso do quadrado da distância.



Se não roçarem um contra o outro, os patins acabarão por adquirir uma **VELOCIDADE CONSTANTE**.



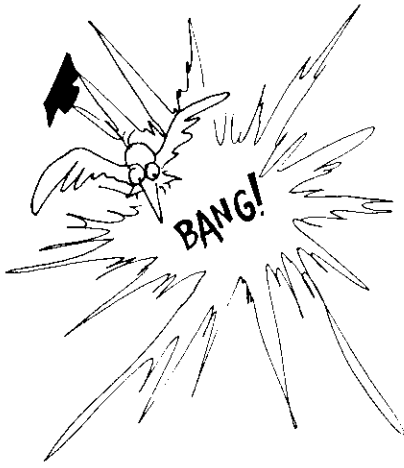
Ou o impulso dado pela mola é demasiado fraco, ou os hímens são demasiado fortes. Por isso, os patins acabam por "cair" um sobre o outro a uma velocidade crescente.



Tudo isto evoca dois tipos possíveis de universo:

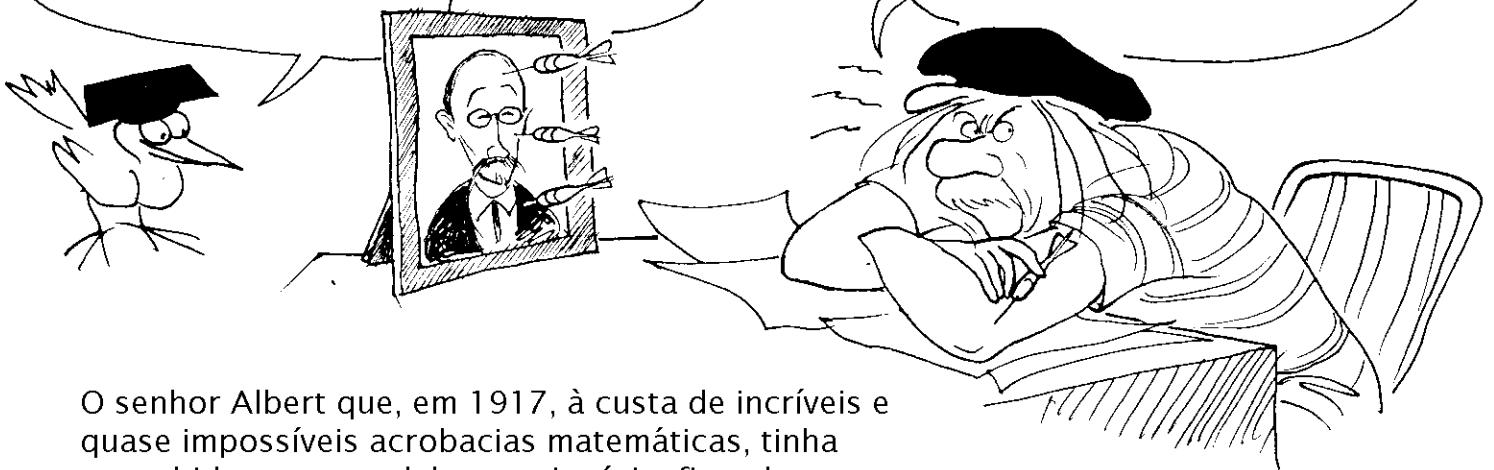
Primeiro cenário: A expansão prolonga-se indefinidamente. Quando as últimas estrelas se tiverem apagado, será de noite, o frio absoluto, a **MORTE TÉRMICA**.

Segundo cenário: As forças de gravidade acabam por vencer. Depois de uma situação de extensão máxima, o Universo "recai sobre ele mesmo". Todas as estruturas, galáxias e estrelas são pulverizadas. Os próprios átomos são despedaçados e o **BIG BANG** é vivido como no sentido contrário dos ponteiros de um relógio, até haver uma nova recuperação do Universo e uma nova fase de expansão.



Foi o matemático russo **FRIEDMANN** quem, em 1930, inventou os primeiros modelos de Universo não estáticos.

Se eu soubesse que o Universo era não estacionário, teria descoberto esses modelos antes de Friedmann (\*)



O senhor Albert que, em 1917, à custa de incríveis e quase impossíveis acrobacias matemáticas, tinha concebido o seu modelo estacionário, ficou bastante consternado, pois Friedmann roubara-lha a sua vitória. Ora, ficou a matutar sobre a relatividade geral durante longos anos.

De acordo com os modelos de Friedmann, o Universo está em expansão indefinida se a densidade (actual) de matéria for inferior a  $5 \times 10^{-30}$  gramas por centímetro cúbico.

Este universo teria, por outro lado, um volume e uma extensão espacial infinita.



(\*) Próprias palavras de **EINSTEIN**.

# AS ~~A~~ GEOMETRIAS DO UNIVERSO

Para nós, o Universo é uma hipersuperfície de quatro dimensões na qual se misturam o espaço e o tempo. As ideias evocadas nas páginas anteriores correspondem cada uma delas a uma apresentação diferente dessa **ENTIDADE - UNIVERSO** que é o **ESPAÇO - TEMPO**.

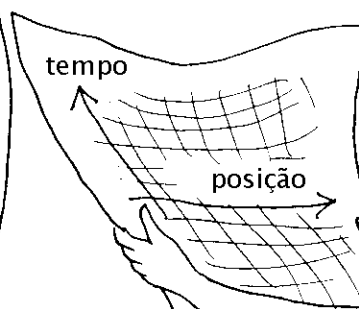
O Universo...  
que **FORMA**  
tem ele?

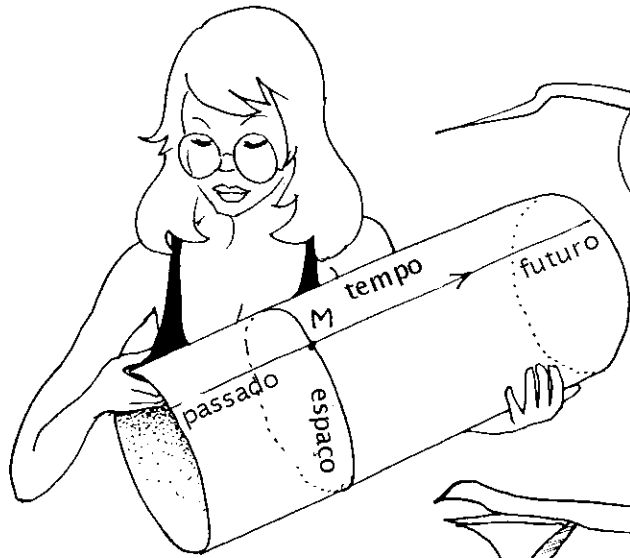
Oh não...

Lembre-mo-nos que o número de dimensões de um espaço é o número de quantidades que são necessárias para definir a posição de um ponto.

Encontro <sup>1</sup> 3<sup>a</sup> feira às 11 horas na esquina da <sup>2</sup> sexta avenida com a <sup>3</sup> quinta rua no <sup>4</sup> terceiro andar : quatro unidades.

Pelo desenho, só se podem representar espaços com **DUAS** dimensões, **SUPERFÍCIES**.  
Por isso, vamos estudar um espaço - tempo de 2 dimensões, sendo uma delas a posição e a outra, o tempo.





Assim, o primeiro modelo de Universo fechado, o modelo estático de Einstein, pode ser representado através de um cilindro.

Só um momento... Se estou a entender bem, esse cilindro, nós estamos... aí dentro?

Não, em cima!

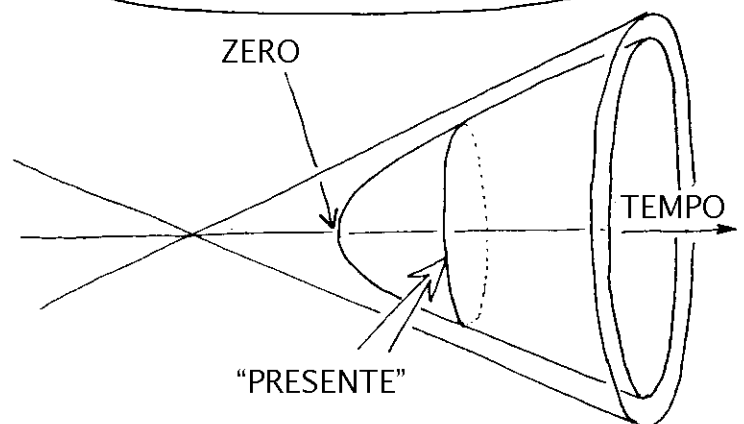
A uma dada altura, um objecto passa a ser o ponto M sobre a superfície e o conjunto do Universo é reduzido a um círculo

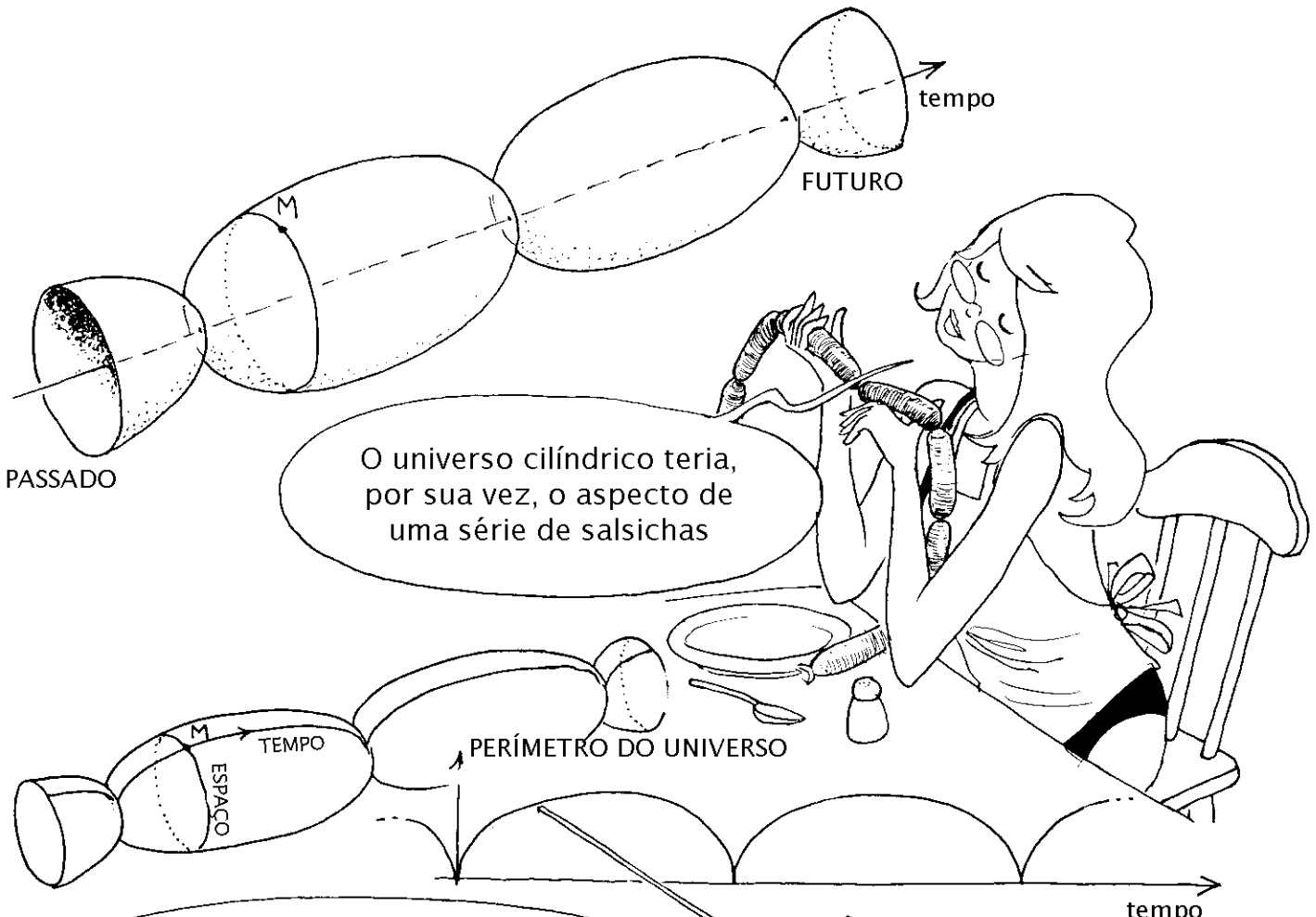


Quando um objecto está imóvel, este descreve uma geratriz do cilindro ao longo do tempo

É fácil representar a dilatação desse universo fechado em função do tempo, com o qual se tem um modelo de universo não estacionário

Aqui têm, por exemplo, uma imagem em 2 dimensões de uma espaço - tempo em expansão indefinida

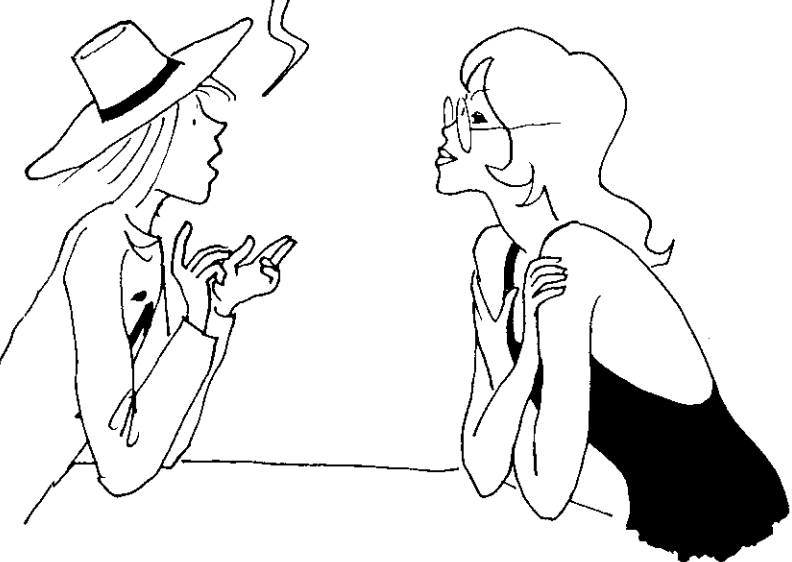




O universo cilíndrico teria, por sua vez, o aspecto de uma série de salsichas

Mas, porquê que o tempo haveria de ser necessariamente **"ABERTO"**, isto é, infinito para o futuro e para o passado ao mesmo tempo?

Nesse caso, estaríamos aqui

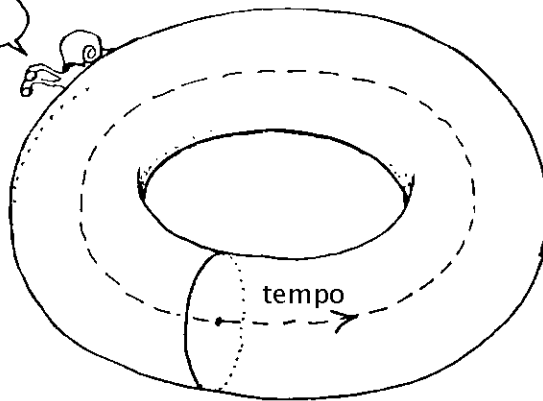


Está a querer dizer que o tempo... se poderia fechar sobre si mesmo?!



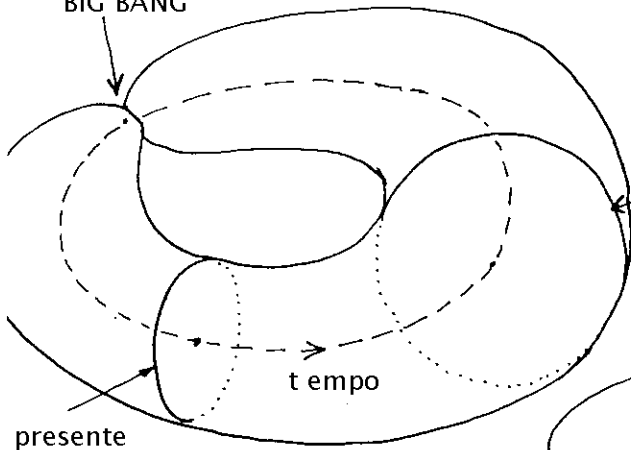
Não há problema...  
Se o modelo de Einstein  
se fechasse sobre si mesmo,  
teríamos... um **TORO**.

Outra  
vez...!



Nesse **ESPAÇO - TEMPO** totalmente fechado, os mesmos  
eventos reproduzem-se de forma idêntica ao cabo de um  
tempo T que é o **PERÍODO** desse universo tão estranho.

SINGULARIDADE  
BIG BANG



Também se pode fechar sobre  
si mesmo um universo cíclico

Converte-se numa série de salsichas fechada  
sobre si mesmo... mas com uma única salsicha!

Oh, olhem para o Leão!!!

Desmaiou!  
Já era de prever...



# EPÍLOGO

Isto é o que se sabe sobre a origem do Universo



Ora bem...  
É o que se **PENSA SABER**.  
Mudou vezes sem conta  
em 5000 anos!

“... Mas este esforço consentido para compreender o Universo é uma das raras coisas que elevam a vida humana acima da farsa, dando-lhe um pouco de dignidade dentro da tragédia”





*Steven Weinberg*



A continuação do **BIG BANG**  
(formação das galáxias, das estrelas, etc...)  
em **UM BILIÃO DE SÓIS**

# O COSMODRAMA



TEMPO	TEMPERATURA	DENSIDADE	FENÓMENOS
ANTES...	$T \gg 10^{12}$ graus		?
1/1000 seg	300 mil milhões de graus		Sopa indiferenciada de fotões, neutrinos, anti-neutrinos (o fotão é a sua própria anti-partícula), protões, anti-protões, neutrões, anti-neutrões, electrões e anti-electrões (positrões).
1/100 seg	100 mil milhões de graus	4 mil milhões de $\text{g/cm}^3$	Hecatombe de hadrões (protões, anti-protões, neutrões, anti-neutrões). Ficarà um em mil milhões; os restantes foram aniquilados com os anti-hadrões presentes para dar novos fotões.
1/10 seg	30 mil milhões de graus		Nada em particular. Demasiado quente para que se possam formar os núcleos dos átomos.
1 segundo	10 mil milhões de graus	380.000 $\text{g/cm}^3$	Os neutrinos "vivem a sua vida". Cessam de interagir com a matéria.
13 segundos	3 mil milhões de graus		Hecatombe electrões - anti-electrões. Também ficarà um por cada mil milhões.
3 minutos	Mil milhões de graus		Núcleosíntese: formação de núcleos de Hélio. Desaparecimento dos neutrões livres (vida média: 109 seg.)
35 minutos	300 milhões de graus	1 $\text{g/cm}^3$	Completa-se a nucleosíntese: 25% de Hélio, 75% de Hidrogénio.
700.000 anos	3000 graus		Depois da aniquilação de toda a matéria e a anti-matéria, o Universo vive uma "era radiativa" em que a energia - matéria se encontra principalmente como radiação. Quando a temperatura desce para os 3000°, formam-se os átomos neutros; e os fotões deixam de interagir com a matéria: o universo é "transparente".
100 milhões de anos	$T_r = -173 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_m = -267 \text{ }^\circ\text{C}$		Deixando de ser reaquecidos pelos fotões, os átomos neutros de Hidrogénio e de Hélio vêm cair a sua temperatura em flecha. Formação das galáxias e as primeiras estrelas.
5 mil milhões de anos			Formação da Terra
10 mil milhões de anos	$T_r = -270 \text{ }^\circ\text{C}$ (3 graus Kelvin)	$10^{-30} \text{ f/cm}^3$	Desenvolvimento da vida.
HOJE EM DIA...			Invenção da bomba atómica...

