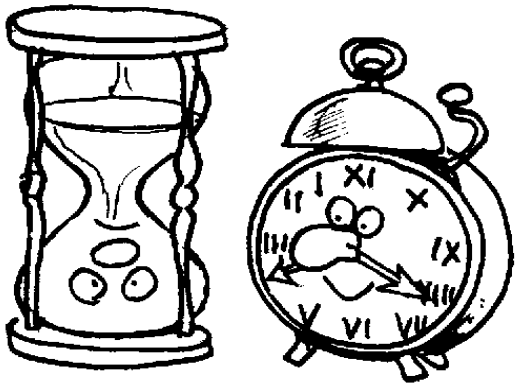
Savoir sans Frontières

LE CHRONOLOGICON

Jean-Pierre Petit

التّسلسل الزّمني



تأليف : جون بيار بوتي

ترجمة : نسيمة زوبيري

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

حدود بـــلا معرفـــة

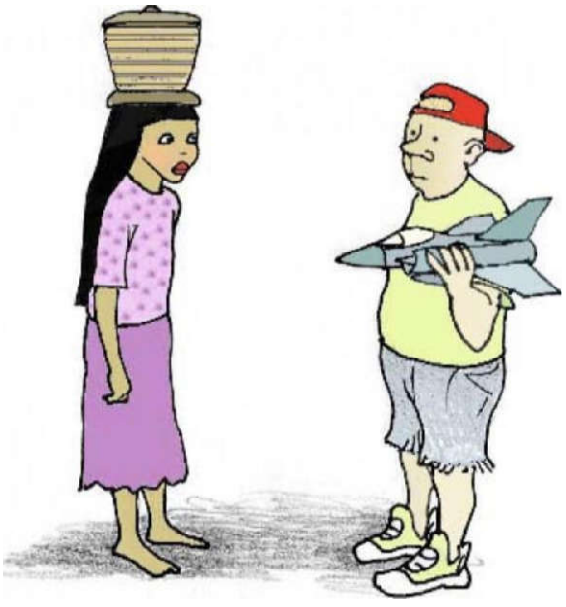
.فرنســـــيان عالمـان ويـديرها 2005 عام تأسســـت ربحيـــة غـير جمعيـة
من رسمه تـم الـذي النطـاق باســـتخدام العلميـــة المعرفـــة نشـر :الهدف
تـم :2020 عام فـــي .مجانًا للتنزيـــــل قابلـــة PDF ملفـــات خلال
عمليـة 500000 من أكـثر مع .لغـة 40 فـي ترجمـة 565 تحقيـــق
.تنزيـــل

Jean-Pierre Petit **Gilles d'Agostini**

بالمـــال التـــبرع تـم .تمامـا تطوعيـــة الجمعيـــة
.للمـــــترجمين بالكامـــل

زر اســـتخدم ، تـــبرع لتقـــــديم
:الرئيســـــية الصـــفحة فـــي PayPal

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

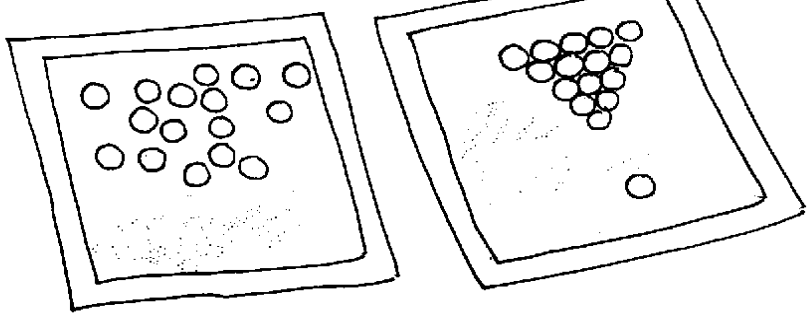


PayPal
FAIRE UN DON

ما هو الوقت
برأيك يا أنسالم؟
ما هو الوقت برأيك يا أرشيبالد؟
سأحضر البولاروید.
كيف نميّز الماضي من المستقبل؟
ماذا تفعل؟
حسناً

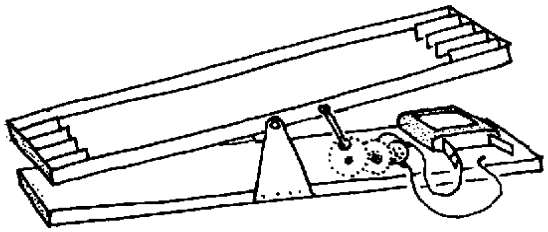
صوفي

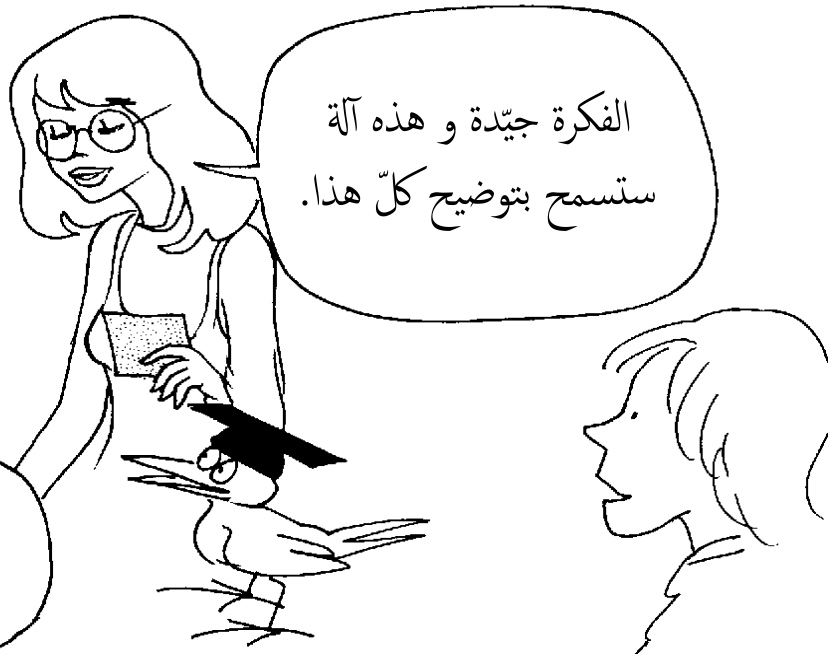
أنظر الى هاتين الصّورتين السّالبتين, أحداهما سبقت الأخرى, لا بدّ من وجود وسيلة لترتيبهما حسب التّسلسل الزّمني.



احتمال

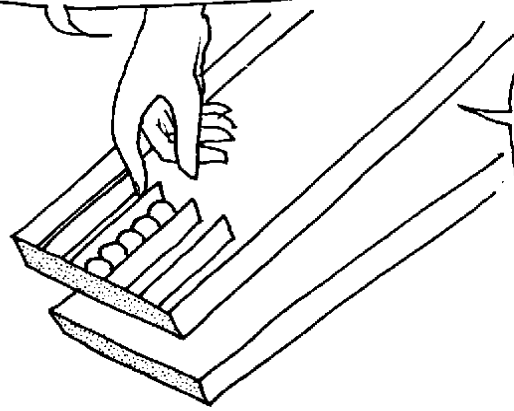
الفكرة جيّدة و هذه آلة ستسمح بتوضيح كلّ هذا.



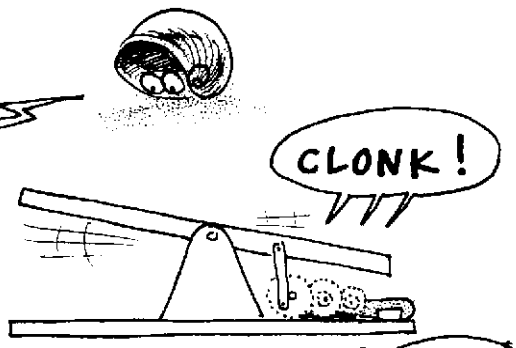


انّه طبق متأرجح حول محور يحمل صناديق صغيرة متوضّعة بنظام.

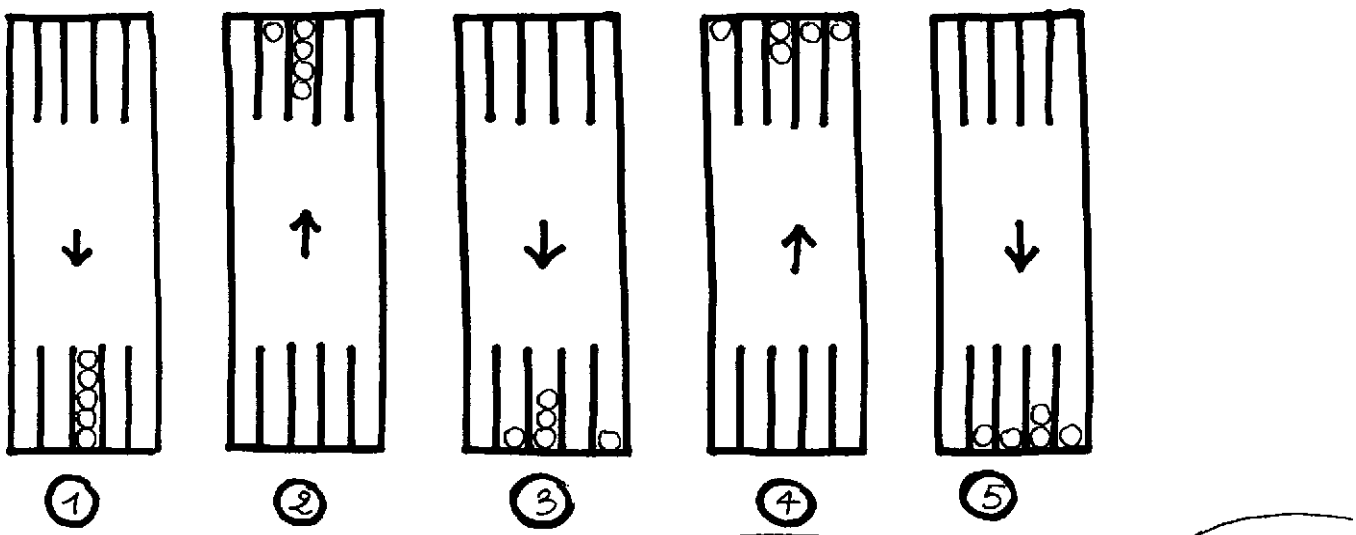
قبل تشغيل هذه الآلة, وضعت خمسة كريّات في احدى العلب, مثلاً تلك الموجودة في الوسط.



لقد بدأنا, الطّبق ذو المحور الأفقي يتأرجح ببطء مما يُحرّك الكريّات ذهاباً و اياباً من جهة لأخرى.

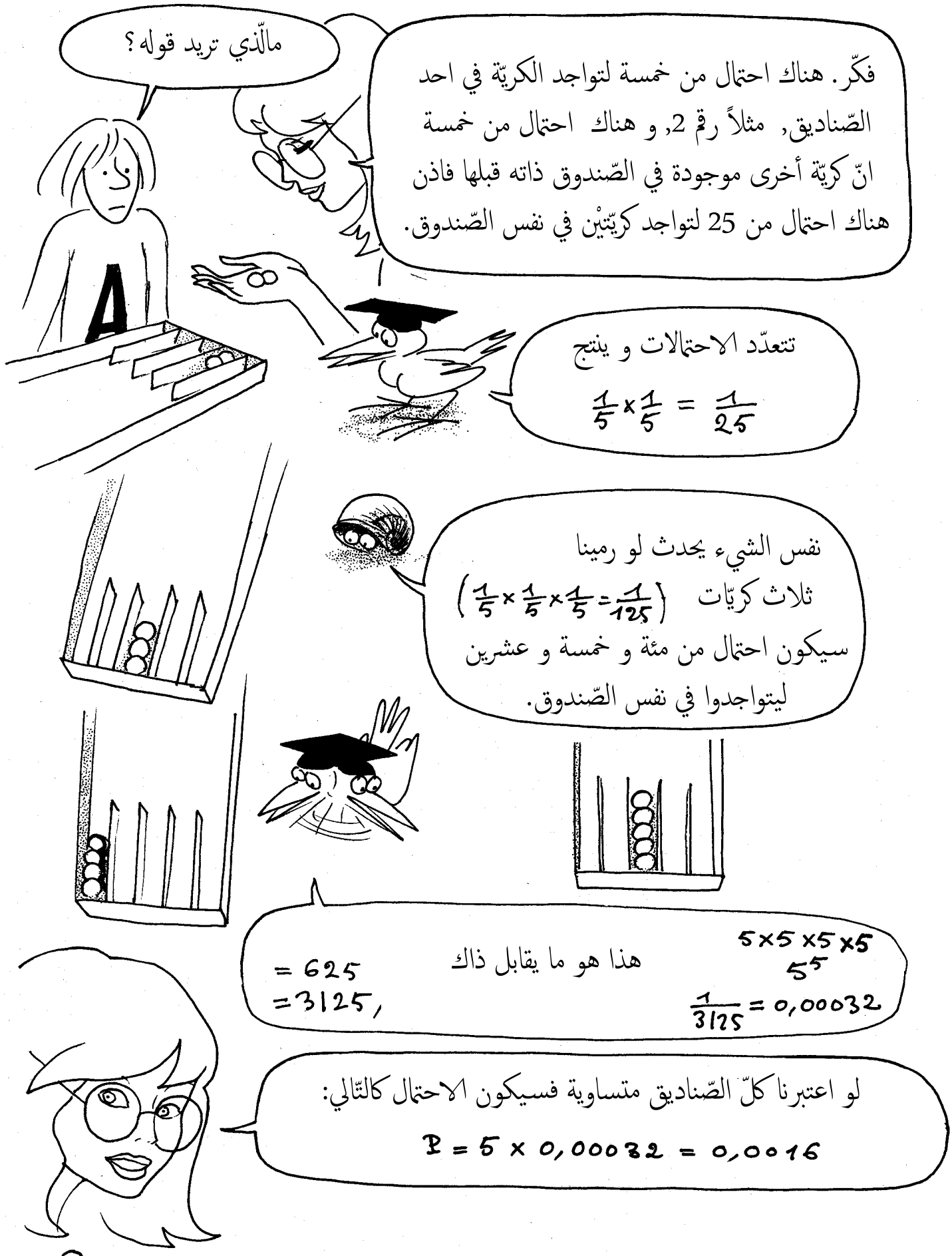


انظروا, بسبب انعدام الانتظامات الصّغيرة في الآلة و تذبذبات الرّيح, تخرج الكريّات من حيّزها الأصلي لتنتقل الى الصّناديق المجاورة.

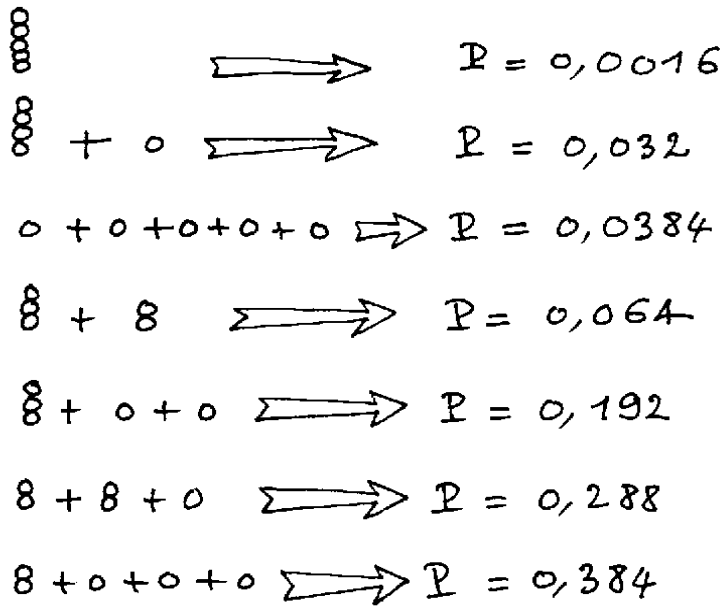


انّ الكريّات في ذهاب و اياب و لكنّها لا تعود أبداً الى نفس الصّندوق.

لأنّ هذه الحالة غير خاضعة للاحتماليّة للغاية.


مالّذي تريد قوله؟
فكّر. هناك احتمال من خمسة لتواجد الكريّة في احد الصّناديق, مثلاً رقم 2, و هناك احتمال من خمسة انّ كريّة أخرى موجودة في الصّندوق ذاته قبلها فاذن هناك احتمال من 25 لتواجد كريّتيْن في نفس الصّندوق.
A
تتعدّد الاحتمالات و ينتج
$\frac{1}{5} \times \frac{1}{5} = \frac{1}{25}$
نفس الشيء يحدث لو رمينا
ثلاث كريّات $\left(\frac{1}{5} \times \frac{1}{5} \times \frac{1}{5} = \frac{1}{125}\right)$
سيكون احتمال من مئة و خمسة و عشرين
ليتواجدوا في نفس الصّندوق.
هذا هو ما يقابل ذاك
$5 \times 5 \times 5 \times 5$
5^5
$= 625$
$= 3125,$
$\frac{1}{3125} = 0,00032$
لو اعتبرنا كلّ الصّناديق متساوية فسيكون الاحتمال كالتّالي:
$P = 5 \times 0,00032 = 0,0016$

مع انعدام اختلاف الصّناديق, هاهي الاحتمالات النّاتجة:



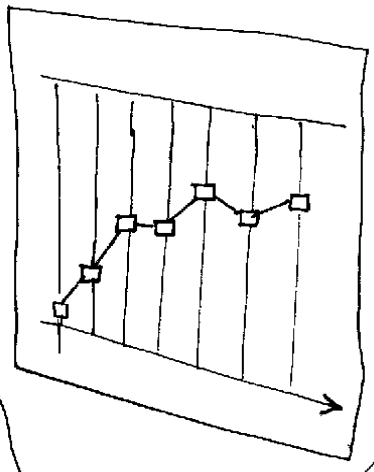
غريب, حالة وجود كريّة واحدة في الصّندوق ليس بالأكثر احتمالاً.

لنلاحظ الاحتمالات المتتالية في تجربتنا.

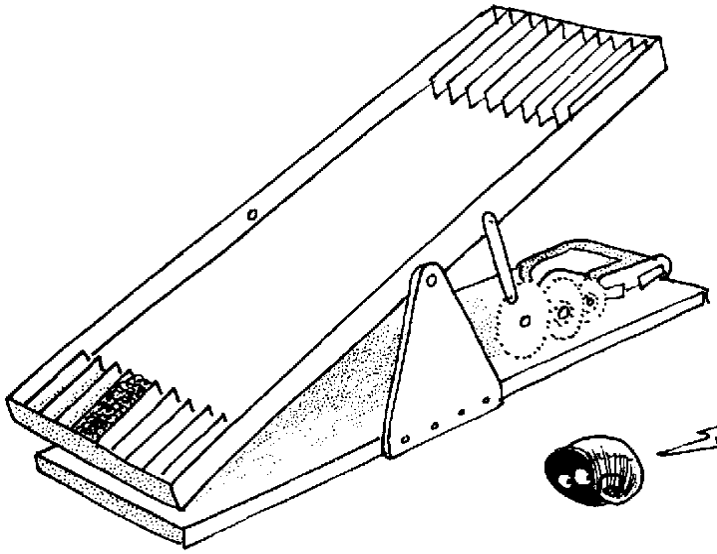
المبدأ الثّاني

صوفي, هذا واضح جدّاً. يزيد احتمال الحالة بسرعة ثمّ تتبعه الحالات الأكثر احتمالاً.

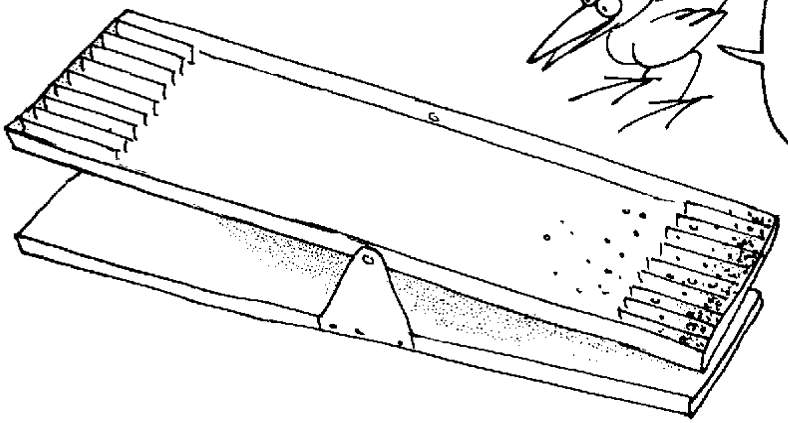
احتمال الحالة



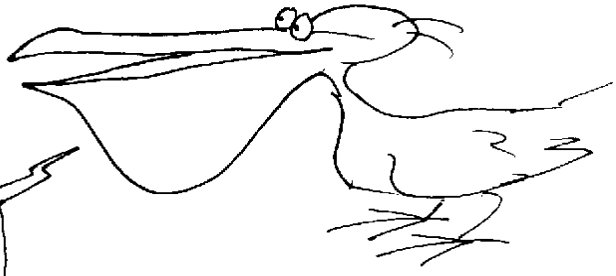
حاول بعشرة صناديق و ألف كريّة.



استعمل أنسالم رصاص الصّيد و احتمال تواجد الألف رصاصة في نفس الصّندوق هو $(1/10)^{1000}$ ما يساوي 0,0000.....0001 998 صفر, ضعيفٌ للغاية.



عندما تشتغل الآلة, تنتشر الكريّات عامّة في الصّناديق المختلفة و بنفس الكميّة تقريباً.



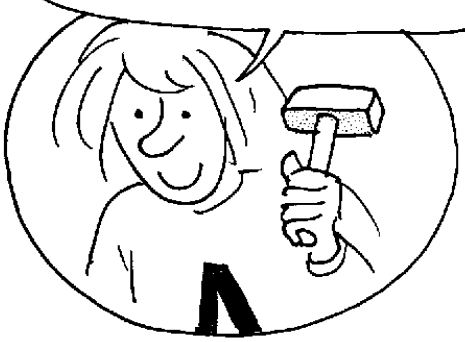
فكلّ الحالات الملاحَظة تشبه حالةً متوسّطة حيث تحوي الصّناديق نفس عدد الكريّات.

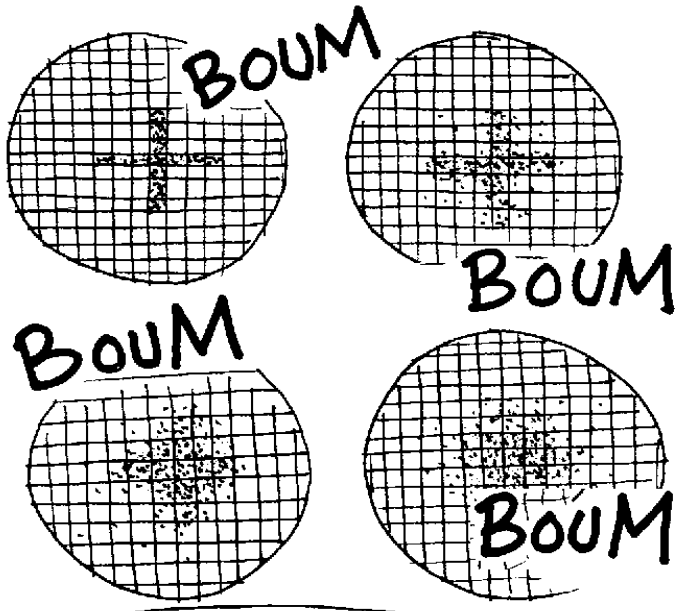
نرسم هذه النّتيجة بيانيّاً في شكل المبدأ الثّاني فنقول أنّ كلّ نظام معزول يميل الى حالته الأكثر احتماليّة.

(*) يسمّى النّظام ذو نفس الاستقرار بالارجوديك

ما هو النّظام الغير معزول؟
هذا واحد من ذاك : عندما يتدخّل أنسالم اتنظيم الكريّات.
الاّ اذا كان عشبيّاً.
أنظري صوفي, لقد حسّنت النّظام,وضعت صناديق و رصاصات صغيرة على هذه الصّفيحة ما يسمح لي برسم أيّ شكل أريد.
نظام معزول مستعدّ للتّجمّع نحو حالة احتمال قصوى.
نغطّي الكل بغطاء زجاجي شفّاف.
ثمّ ماذا؟

لم يتبقّى الاّ اعطاء ضربات بالمطرقة.





مالّذي يحصل, أتقتلون أحداً ما؟

لا, أنسالم يمدّد نظاماً
نحو احتماليّته القصوى.

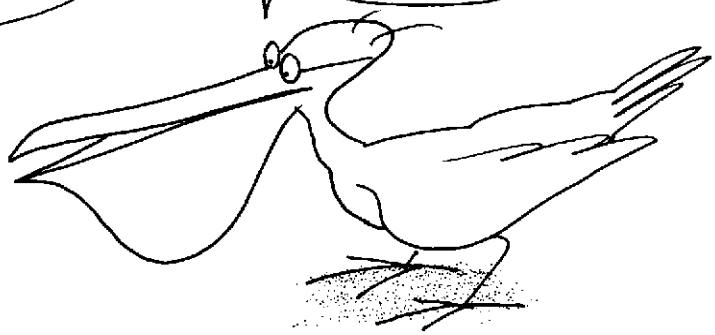
واضح, أصبحت الرّسالة غير مفهومة
أكثر فأكثر, تتناقص المعلومة تدريجيّاً.

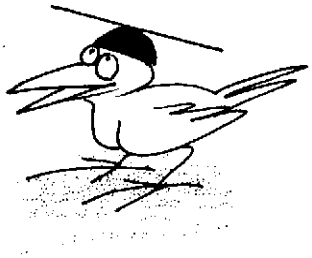
بمعنى آخر, لديّ حلٌّ لترتيب حالتيْن من نظام معزول
حسب التّسلسل الزّمني, ذلك الّذي يملك البنية
الأقدم و الأكثر تنظيماً.

أترى يا أنسالم, البثّ الطّبيعي سيقضي
تدريجيّاً على هذه الرّسالة الّتي كتبناها في السّماء.
أنت بخير؟
و لكنّنا لا نستبعد اعادة
تجمّع الجزيْئات الملوّنة و تشكيلها
للرّسالة مجدّداً.
أتقيّأ.
كما لا يمكننا استبعاد ضربة موفّقة
بالمطرقة ترسم اشارة الموجب الّتي رسمتها سابقاً.
A
أو أنّ جزيْئات ملوِّن بنفس
كثافة الماء تتجمّع لتشكّل القطرة
الأصليّة الأولى.
و لكن كون هذه الاحتمالات
مرتبطة بتوقّعات ضئيلة فانّنا سنهملها.

باختصار, ينتهي كلّ شيء

اذن فالكون يتحوّل الى خراب, تذوب مثلّجات الفانيلّا و تنهار الجبال.

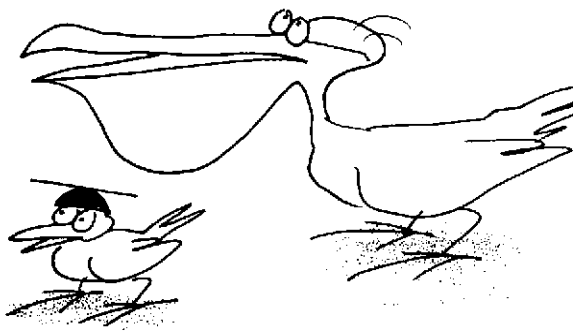




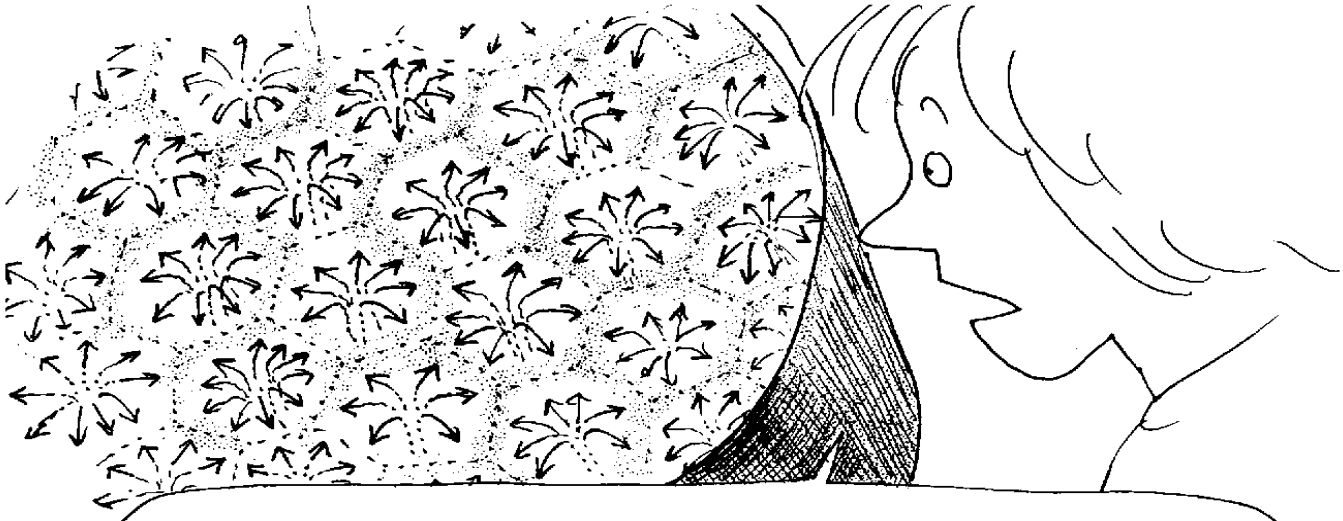
نربط هذه الظّاهرة عامة النّمو
(*) المتعذّر ايقافه لكميّة تسمّى بالانتروبيا.

كلّ هذا صاعق, أظنّني سأحضّر كوب شاي.

و قد تكون الاجابة في ذاك, بمأنّ الانتروبيا تقاس فانّه بامكاننا ترتيب حالات نظام ما حسب التّسلسل الزّمني.



(*) احتمال P
انتروبيا $S = P \log P$
لوغاريتم



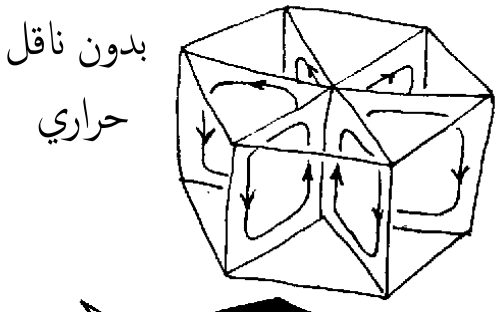
هكذا اذن, عندما أسخّن الماء يظهر نظام دوّامي بغرزات سداسيّة في أماكن كانت فارغة مسبقاً بالرّغم من تجانس حرارة مصدري الحراري.

بتبخير هذا الماء ظننت أنّي أنتج فوضى فاذا بي أنتِج نظاماً.

ما يعني أنّ الماء المغلي
له قدرة خفض الانتروبيا.

هذا يعني ببساطة أنّ مفهوم الانتروبيا يجدي فقط في نظام معزول, و هنا يعبّر ذلك عن الفرن, الاناء, الماء و الوسط.

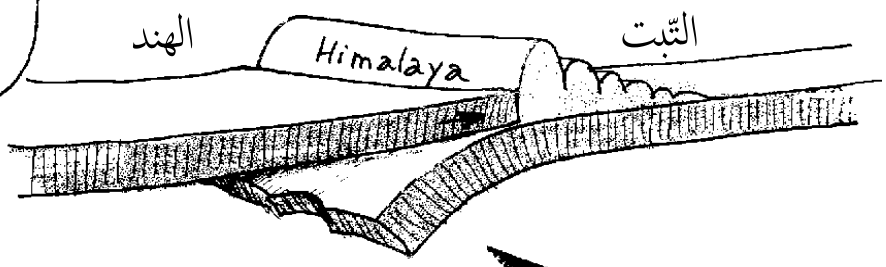
يمكننا تبخير كلّ هذا الماء بدون دوامة أو حركة ناقلة للحرارة و ذلك بتسخين شعاعي من الأعلى بواسطة المشعاع المكافئ.



العودة نحو انعدام الشّكل ليس هو ما يميّز تزايد الانتروبيا في نظام ما. عندما تظهر الخلايا المبدِّدة فانّها تسَرّع عملية التّبخّر, الزّيادة العامّة للانتروبيا.

تنهار الجبال لوحدها و لكنّ الماء المُحمَّل في السّحاب يسَرّع ذلك.

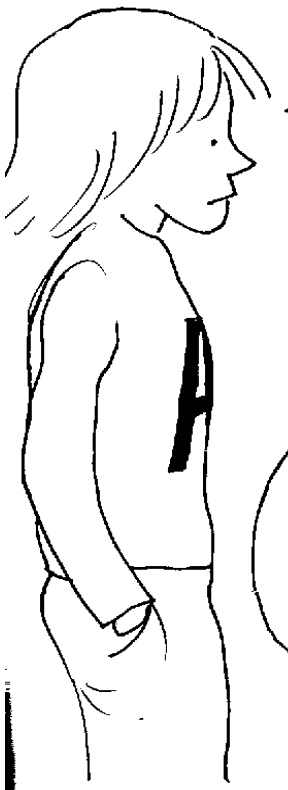
و لكن الا توجد على الأرض
جبال في طور التّكوين كالهيمالايا ؟

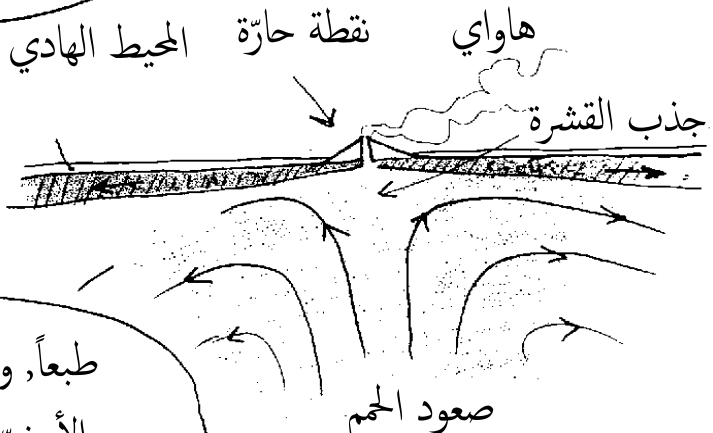


بالتّأكيد, يُقال أنّ الطّبقة الهنديّة قد أنتجت
هذا الشّكل التّضاريسي بسحق طبقة التّبت.

كلّ هذا هو نتيجة التّيار الحراري الّذي يحرّك الحمم
البركانيّة و يساعدها على التّخلّص من حرارته المركزيّة
الّتي يحافظ عليها تفكّك يورانيوم 253 البدائي.

تريد القول بوجود خلايا حراريّة في الحمم.





طبعاً, و حركات الحمم تجذب القشرة
الأرضيّة الّتي تتكسّر منتجةً براكين
كتلك الموجودة في هاواي.

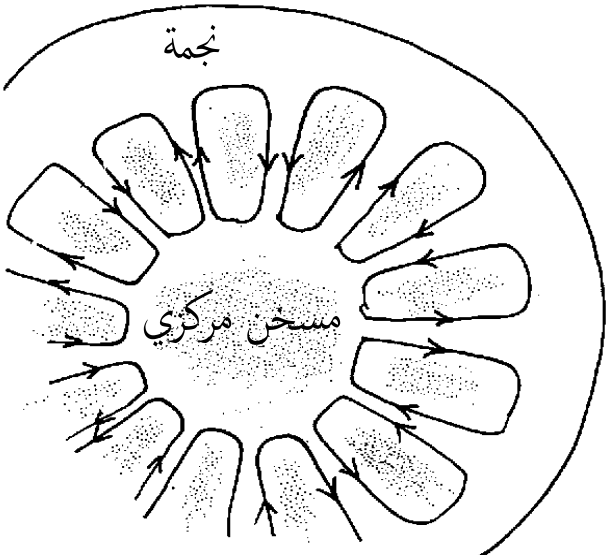
بالتّأكيد, عند جذب القشرة الأرضيّة
لا يمكننا اعادتها الى طبيعتها الأولى.

نعيش فوق قدر ثلاثي
الأبعاد يسمّى بالأرض.

ماذا ؟

انتظري, كلّ هذا جميل
و لكن من صنع اليورانيوم ؟

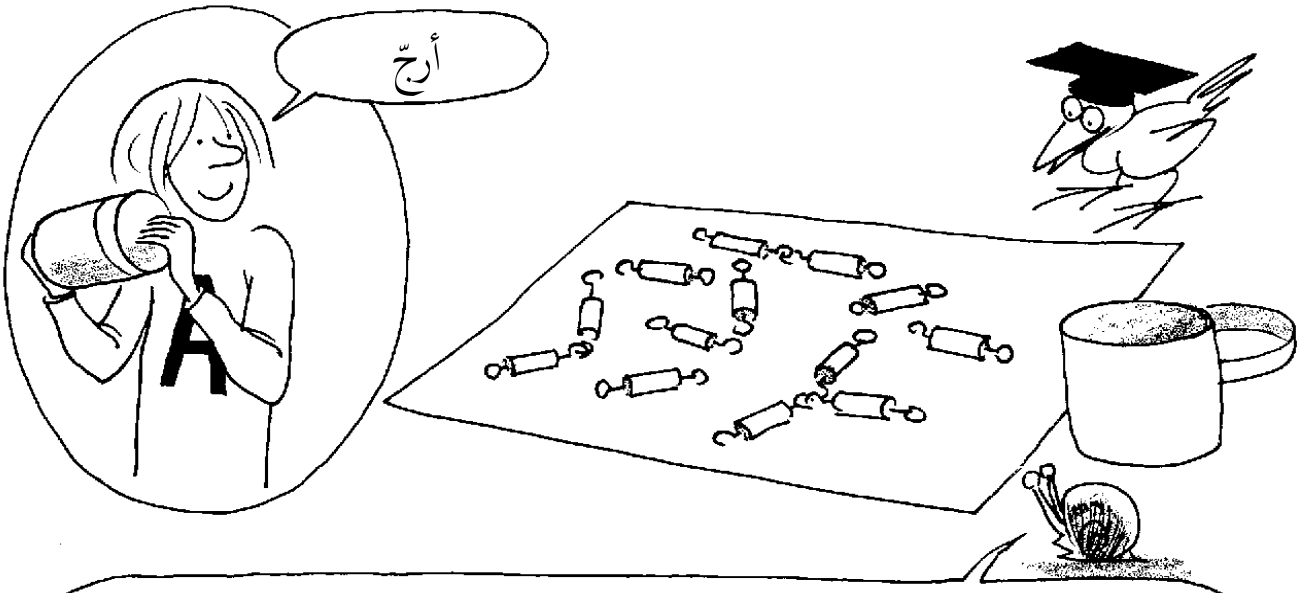
انّها نجمة في نهاية انفجارها
عندما تحوّلت الى سوبرنوفا.



النّجوم مركز لتيّارات حراريّة قويّة تنقل
الحرارة النّاتجة في المركز نحو المحيط بواسطة
انصهار الهيدروجين.

القدر, الأرض, النّجم الشّمسي, كلّها تعمل بواسطة شبكة من الخلايا المبَدِّدة.

أنسالم, كانت هاته الأشياء في علبة قد قمنا برجّها, هل يمكنك ترتيب صورة المحتوى السّالبة حسب التّسلسل الزّمني ؟
A
B
أظنّهم حافظوا على نظامهم, عند الرّج لا بدّ من أنّنا خلخلنا البنيات المكوّنة من عنصريْن أو ثلاثة.
أظنّني أخطأت مجدّداً, الحلّ الوحيد هو العودة الى التّجربة.
ماذا تفعل ؟
أدواة
عصا خشبيّة
3cm
1cm
عشرين عنصراً آخر



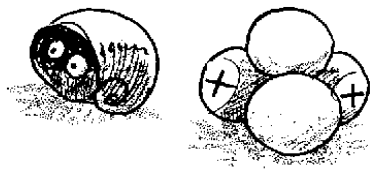
هكذا اذن, لقد تعدّدت تجارب أنسالم و في كلّ مرّة نحصل على تجمّع ثنائي أو ثلاثي العناصر.

هكذا هي الطّبيعة, عندما
يزيد احتمال شيء ما فلابدّ من وقوعه.

و أظنّ أنّ العكس صحيح, كلّما
قلّ احتمال شيء ما قلّ وقوعه.

وعندما يكون احتمال
شيء ما ضئيلاً جدّاً طوال الحياة
فانّنا نعتبره مستحيلاً.

تشكُّل الهليوم عبر
الانفجار العظيم كان محتملاً
جدّاً و بالتّالي فالكون يحتويه.

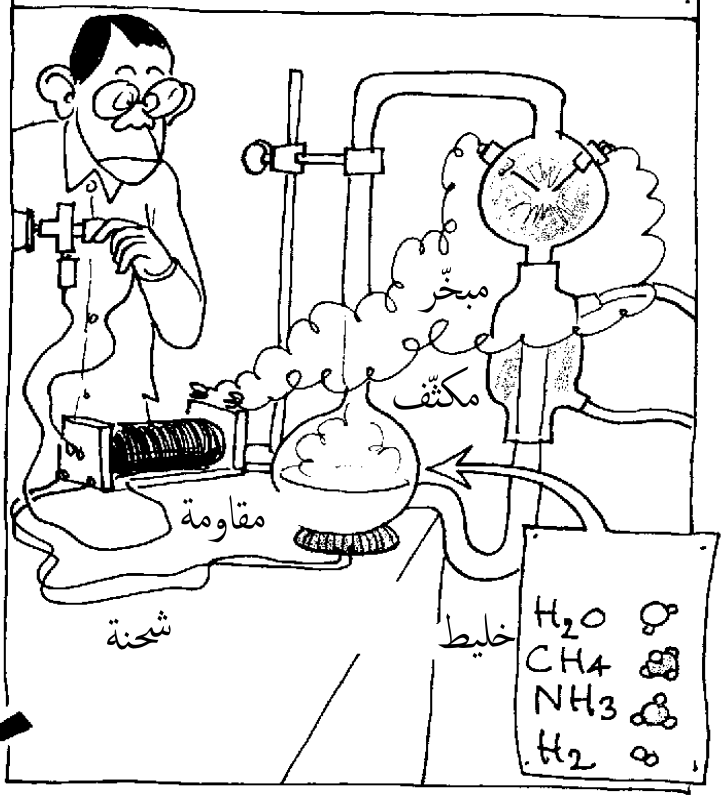


نعتبر هذه الظّاهرة مستحيلة اذن.

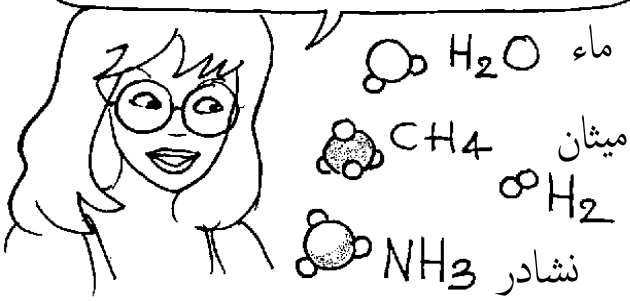
فهمت.

بينما نظراً لِخِفّة المحيط في المجرّة
فانّ التقاء الشّمس بنجم آخر هو
احتمال من عشرة ملايين في ظرف
العشرة ملايير سنة القادمة.

سنة 1950, كان ميلر طالباً شابّاً قد قرّر جمع هذه العناصر في مكان واحد ثمّ رجّها بشحنة كهربائيّة بسيطة.

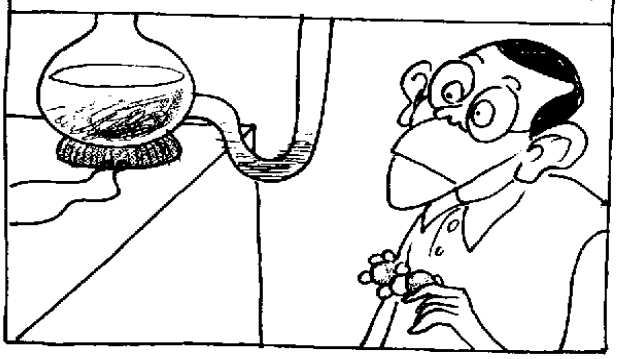


بخر الماء, غاز الميثان, النّشادر و الهيدروجين عبارة عن جزيْئات بسيطة جدّاً و متماثلة للغاية مقارنة بتركيباتك السّابقة.

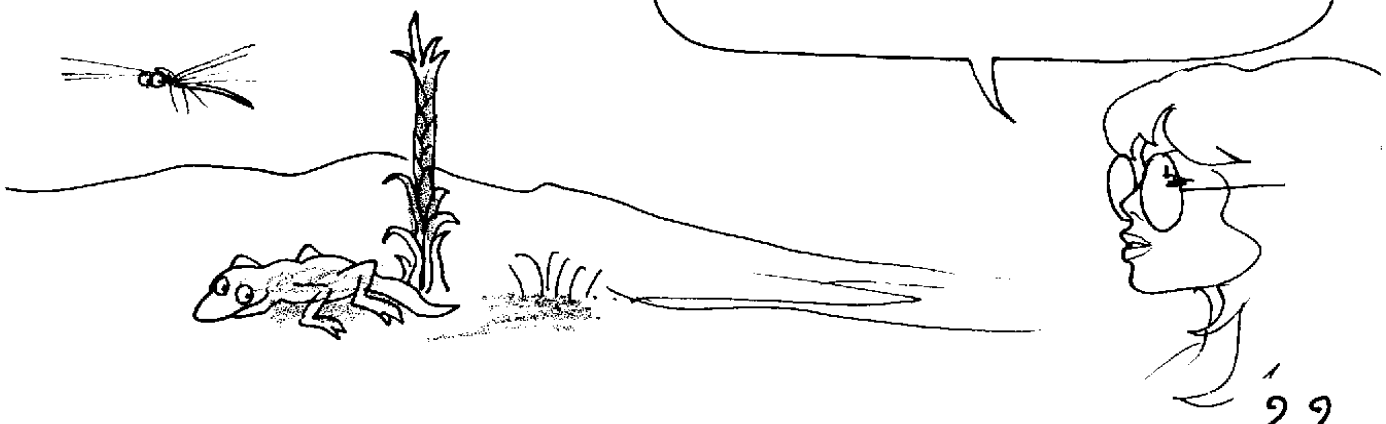


فهي اذن موجودة منذ البداية على كوكبنا

في ظرف أسبوع أصبح الخليط الشّفّاف برتقاليّاً لوجود الأحماض الأمينيّة و هي جزيْئات مكوّنة من اثنيْ عشرة ذرّة.



هذه الجزيئات هي المكوِّنة للبروتينات, أصبحنا نفكّر أنّ الحياة لم تكن فقط محتملة بل و لا بدّ منها على كوكب مثل الأرض.



لنُلخّص, هناك أنظمة تميل نحو الفوضى و أخرى تفرز بنيات مبدّدة و لكن في آخر المطاف تصل الى النتيجة نفسها.
مثل هذه اللّعبة أو لعبة الحياة.
و هناك الأنظمة الّتي تميل نحو النّظام فتُنقص من الأنتروبيا فهي بالتّالي أنتروبيا سالبة.
أظنّ ذلك, و كيف فعلت لتنتج الطّاقة الّتي بفضلها ترجّ العلبة أو تزوّد الشّرارة الّتي تسبّب التّركيب الجزيئي.
SNAP!
هكذا ؟

و الحياة, أتظنّها بدون ثمن؟ مالّذي يُنبت الأشجار و يُنضِج التّفاح؟

آه

A

كان يجب حرق النّفط, و ترك الماء ينزل من أنبوب طويل أو حرق بعض جزيْئات السّكر.

هذا صحيح, يجب اعتبار النّظام كلّه, أيّ المحيط الحيوي, دعامته و المحيط البيئي بالاضافة الى مصدر الطّاقة, الشّمس و بالتّالي فالانتروبيا العامة لهذا النّظام تزيد.

انها الشّمس الّتي تُزوِّد بالطّاقة, انّها مُحرّك الحياة

جيّد تيريزياس.

و لكنّ الشّمس ليست دائماً مصدر الطّاقة لعالم الأحياء.

5

ALVIN

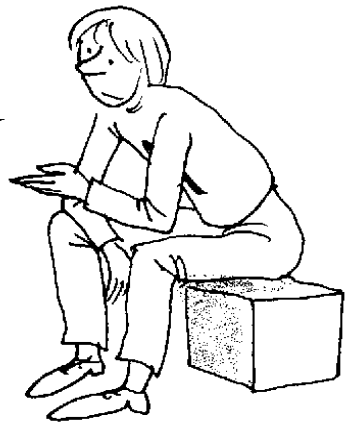
الحياة في أعماق المحيطات تستعمل طاقة مصادر الماء السّاخنة.

(*) لا يهم
و لكنّ نهاية الكائن الحيّ
ليست مجرّد تبديد للطّاقة.
ألا يمكن أن تكون الحياة
مجرّد خليّة مبدّدة فحسب؟
في الواقع ليست لدينا
حقيقة علميّة لهذا السّؤال.
قنبلة H

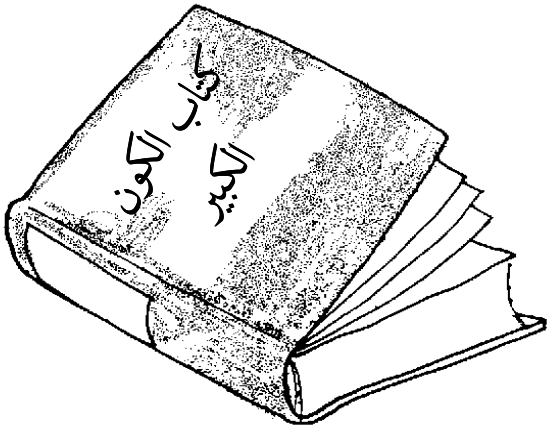
الانتروبيا, الوقت, الاحتمالات, كلّ
هذا يختلط في رأسي.
كلّ هذا لا يحمل معنى.
ربّما اذا عدنا لبداية الكون.

(*)

الحياة, الكواكب, النّجوم, كلّ هذا
معقّد, هلّ كان الكونيوماً ما أبسط للفهم ؟



لنلقي نظرةً على تاريخ
الكون كما صوّره البشر.



لنحاول مجدّداً : ت= مئة ألف سنة

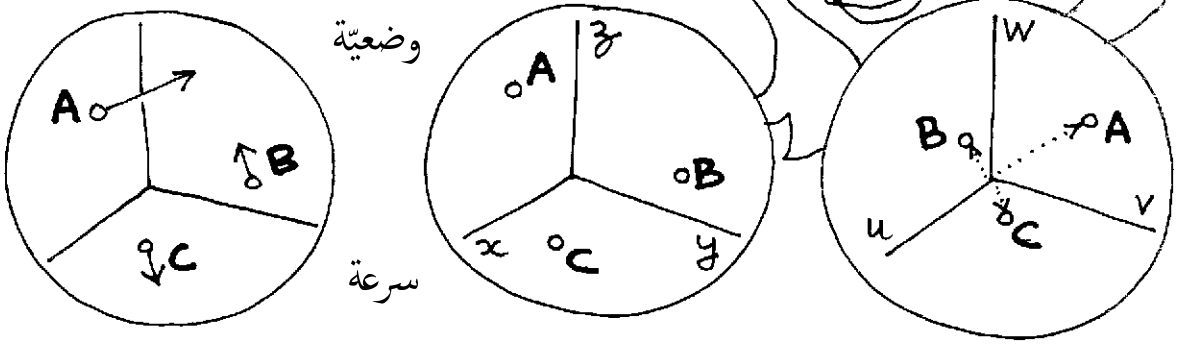
(*) هكذا اذن ؟ كان الكون متجانساً في البداية

لنرى : ت= مئة مليون سنة و هذا ما
يعبّر عن نشأة المجرّات....لا فما يزال
هذا معقّداً.

(*)

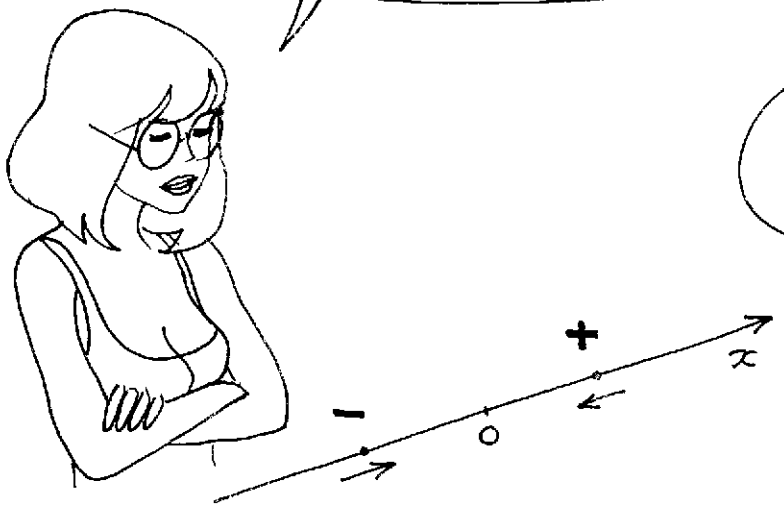
الشّعوب المتجانسة
ليس لها تاريخ.
كيف يمكن لكون متجانس تماماً
أن يتطوّر لأنّ لا شيء يحدث فيه؟
انتظر, لابدّ من حدوث
شيء بمأنّ الكون يبرد.
كيف للوقت أن يمرّ مع انعدام
أدنى ميلان نحو الفوضى في أيّ مكان كان. مع
العلم أنّ هذه الفوضى تكون في أعلى درجاتها؟
لِوصف نظام جزيئات كامل في
وقت معيّن, لا نعتمد فقط على مواضعها و لكن
على سرعتها أيضاً.
أجل, السّرعة
أيضاً تمثّل معطيات.

عوض وضع هذه الأسهم, يمكننا تمثيل
الجزيْئات في فضاءيْن ثلاثيَيْ الأبعاد.



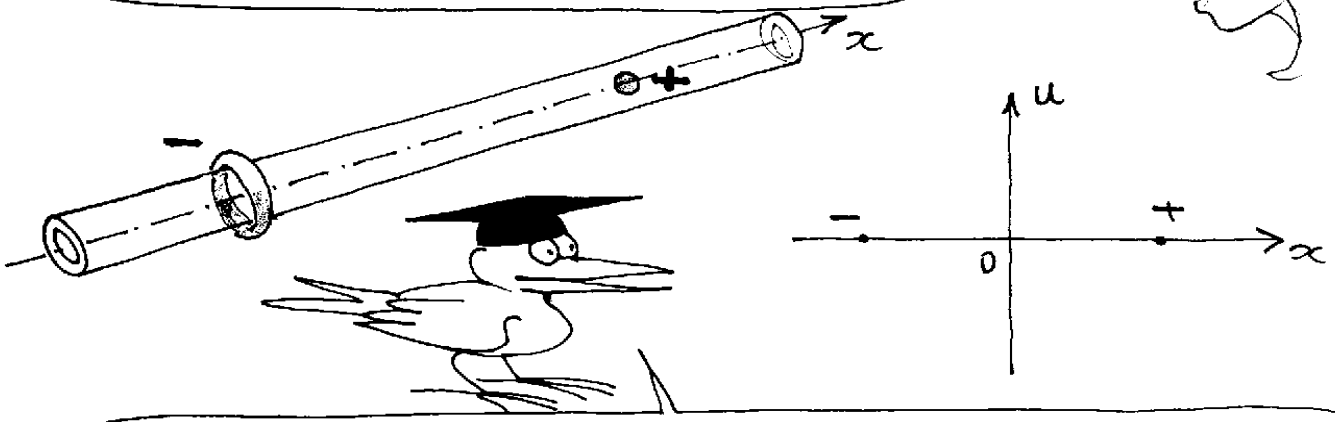
هذا الوصف الكامل بمساعدة المعطيات الستّة
الّتي يمكن ربطها بفضاء سداسيّ الأبعاد
يسمّى بفضاء المراحل.

لنُبسِّط الأمور, لنعتبر وجود كون ذو بُعد واحد, خطّ
مستقيم, حيث يوجد شيئان متزامنان يمثّلان جزيْئات
شحنات متعاكسة متجاذبة بيْنها.

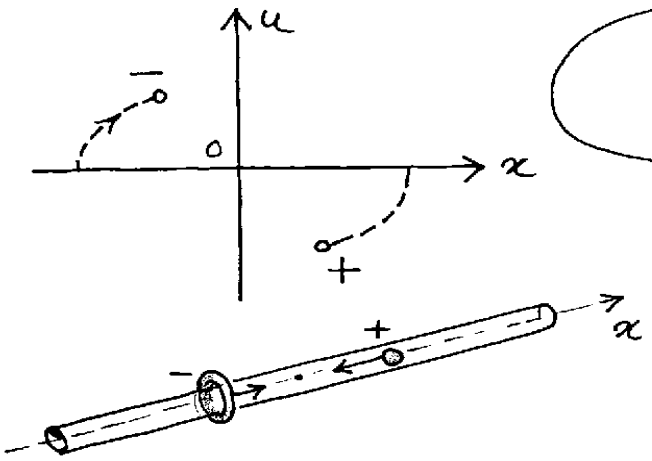


و كيف يمكنهم التّلاقي؟

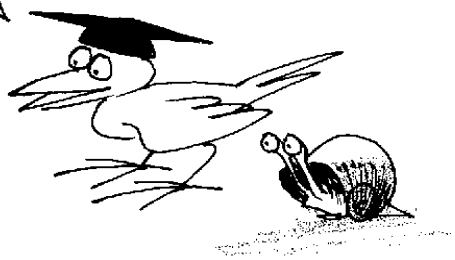
علينا فقط تحميل كريّة صغيرة متحرّكة في
أنبوب, ايجابيّاً و تحميل حلقة يكون الأنبوب هو موجّهها, سلبيّاً.

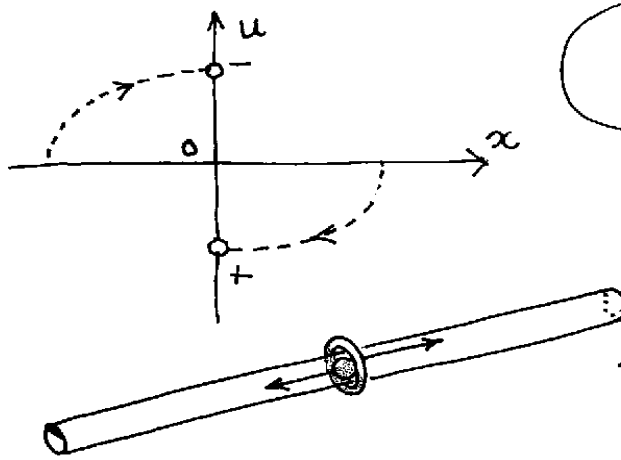


لو مثّلنا هذا النّظام في فضاء مرحليّ (س, ع) حيث يعبّر س عن الوضعيّة و ع عن السّرعة مع اعطاء الجزيْئات سرعة مبدئيّة معدومة سنحصل على البيان أعلاه.

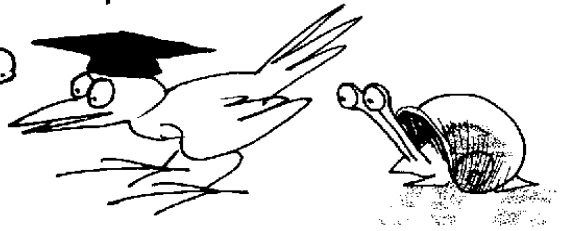


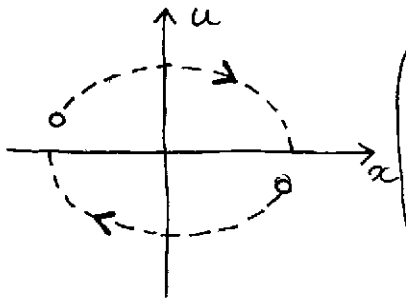
بدأت الجزيئات المتجاذبة
تسقط نحو بعضها البعض.



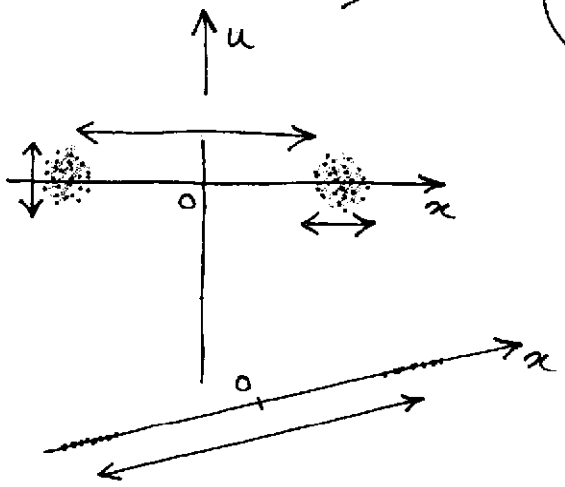


هنا تتقاطع بسرعة قصوى.



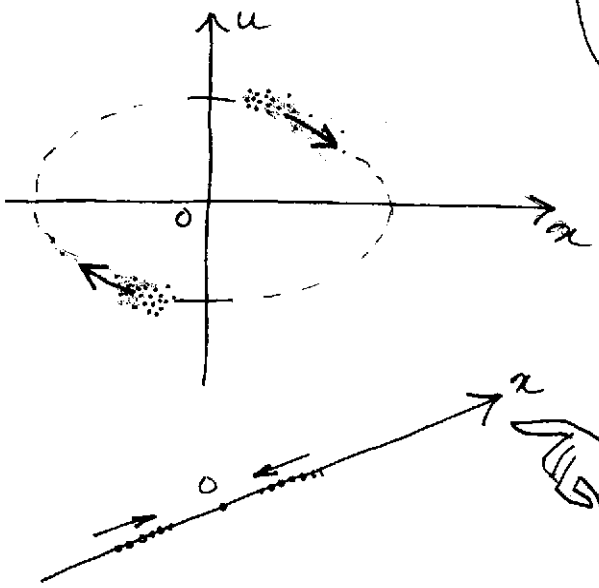


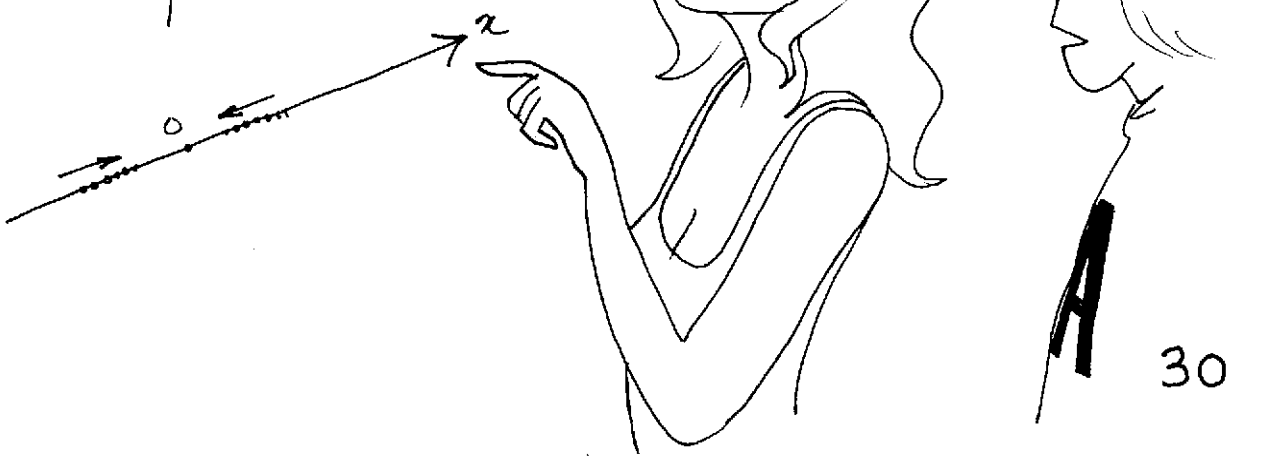
حركة الذّهاب و الاياب, تذبذب الشّحنات حول مركز جاذبيّتهم المشترك يعطي في الفضاء المرحليّ مسارات اهليجيّة.

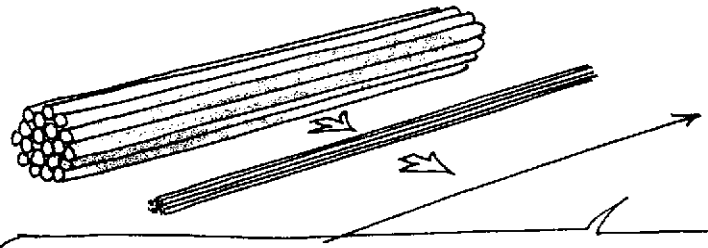


هذا الرّسم البياني يوضّح مجموعتيْن من الجزيئات متوضّعة على مسافات معيّنة, بسرعة معدومة عموماً(انّها قريبة للغاية من المحور م س) و لكنّها تمثّل سرعات عشوائيّة للتّحريض الحراري.

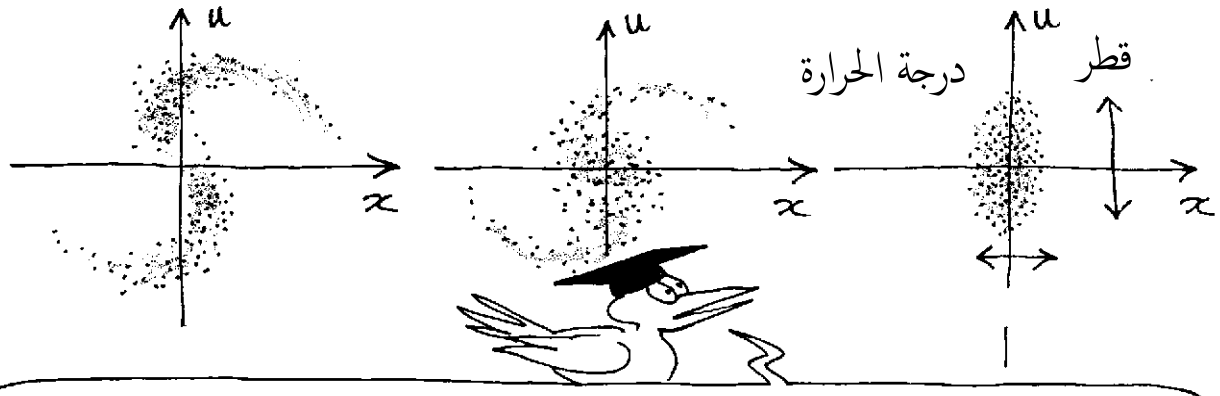
هاتيْن المجموعتيْن ستسقطان اتجاه بعضهما بسبب تجاذبهما.





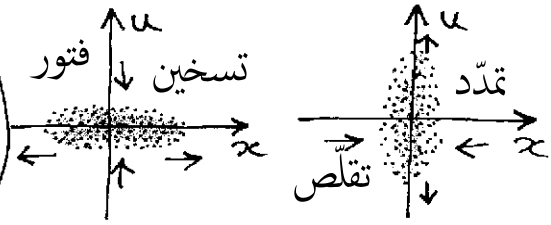


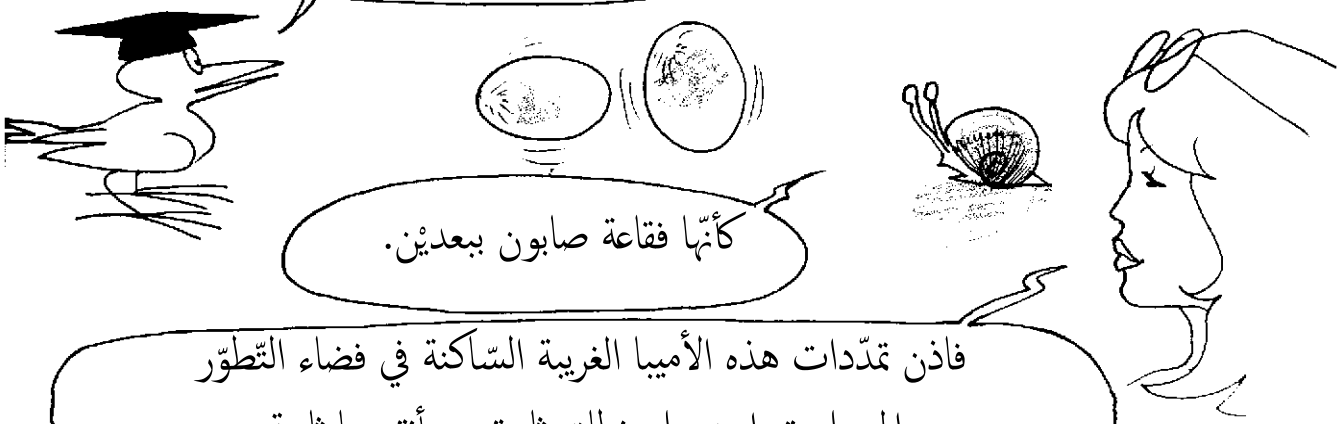
تقنيّاً يمكننا السّماح للجزيئات بالتّقاطع من دون تصادم بوضعهم في أنابيب رقيقة جدّاً.



تختلط السّحابتيْن في سحابة واحدة متوزّعة اعتباطيّاً و النّتيجة ارتفاع في درجة حرارتها, انتشار حسب البعد و السرعة u و بالتّالي تزداد المساحة المغطّات بهذه الجزيئات و هذه المساحة هي الانتروبيا

سيتذبذب النّظام كون التّمدّد مرادفاً لانخفاض السّرعة (ذات التّحريض الحراري) و درجة الحرارة, العمليّة المنعكسة تحدث خلال التّقلّص.

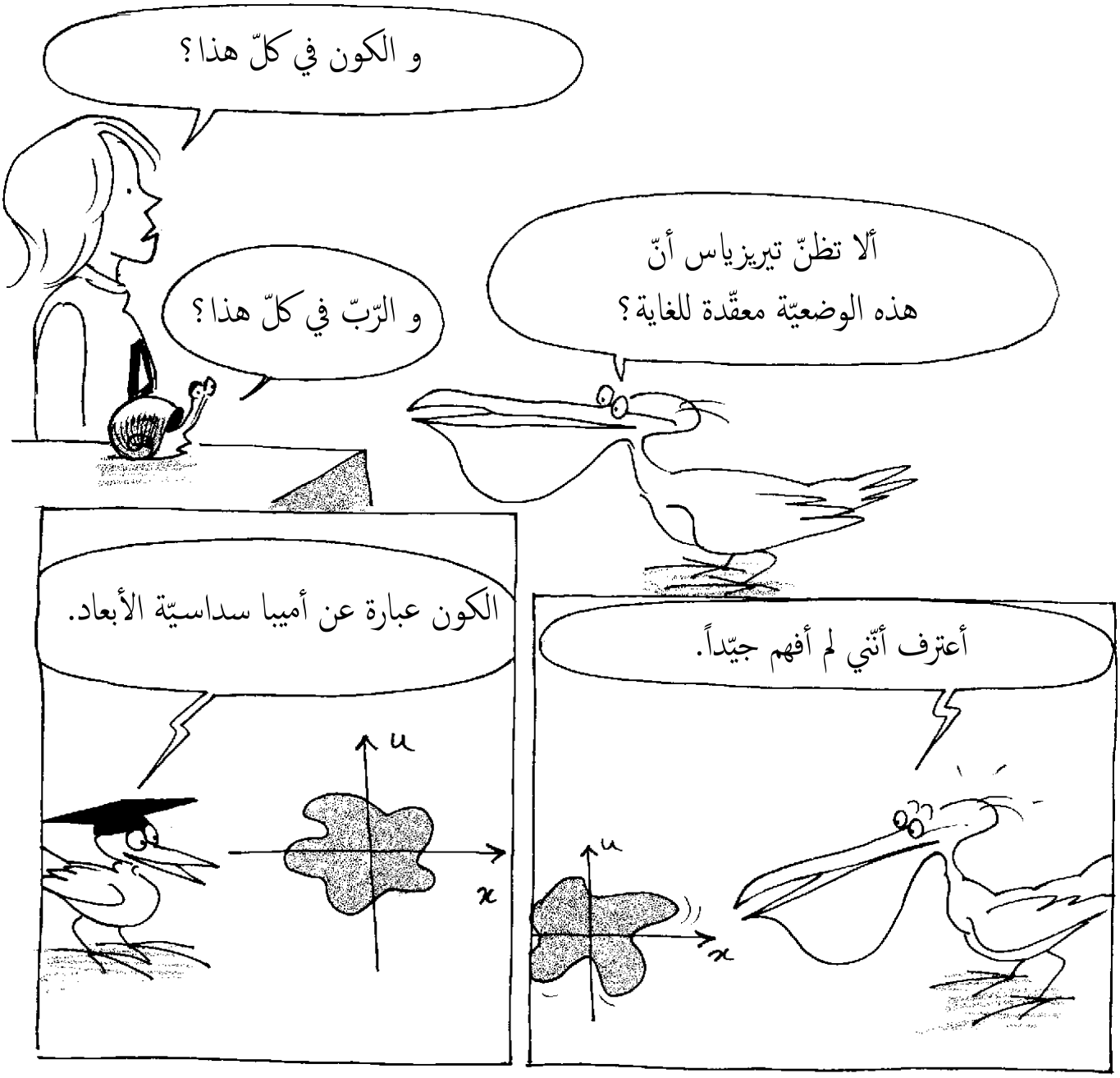




كأنّها فقاعة صابون ببعديْن.

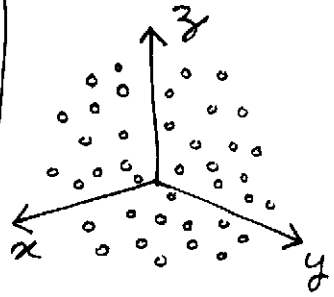
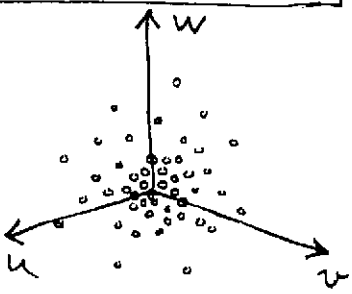
فاذن تمدّدات هذه الأميبا الغريبة السّاكنة في فضاء التّطوّر المرحليّ تتواجد على نطاق ثابت و بأنتروبيا ثابتة. (*)

(*) في المثال المعطى لا تلتقي الجزيئات

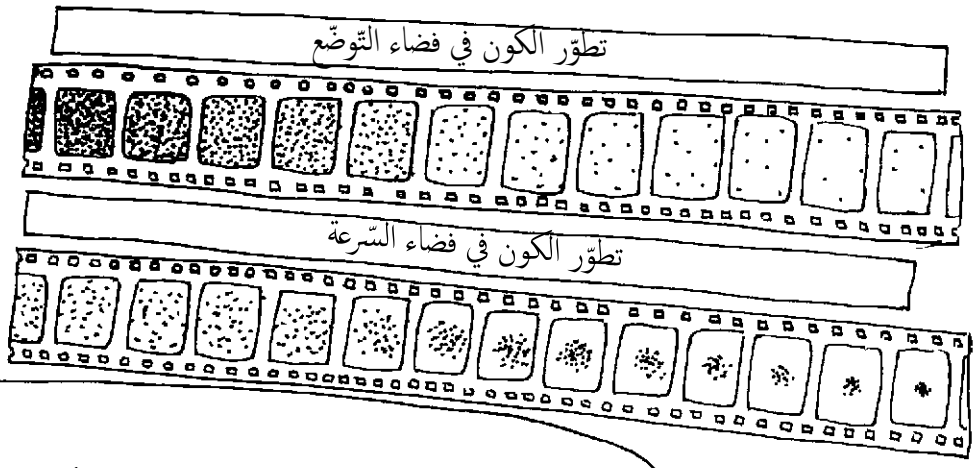

و الكون في كلّ هذا؟
و الرّبّ في كلّ هذا؟
ألا تظنّ تيريزياس أنّ
هذه الوضعيّة معقّدة للغاية؟
الكون عبارة عن أميبا سداسيّة الأبعاد.
أعترف أنّني لم أفهم جيّداً.
u
x
u
x

(*)

هذا الفضاء المرحلي له ستة أبعاد, ثلاثة منها تخصّ الوضعيّة و ثلاثة تخصّ السّرعة, يكفي أنّ تبسطه على بيانيْن ثلاثيَّيْ الأبعاد.

فضاء الوضعيّة	فضاء السّرعة
	

في الفضاء المرحلي يتميّع الكون و تشتّته هذا شبيه بالفوضى بينما تنخفض سرعة الاضطرابات, في فضاء السّرعة يتكاثف الكون و هذا يميل أكثر الى النّظام.



بصفة عامة في هذا الفضاء السّداسي الأبعاد تبقى بنية الكون النّظاميّة ثابتة, و الانتروبيا الّتي تمثّل حجمه المفرط أو نتاج حجمه في فضاء التّوضّع عبر حجمه في الفضاء المرحليّ تبقى غير متغيّرة.(*)

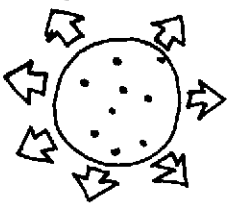
بمعنى آخر, الكون في أبعاده السّتّة سائل لا ينضغط.

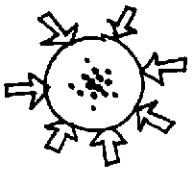
(*) نظريّة عالم الرّياضيّات الفرنسي ليوفيل.

أي أنّه يتمدّد من حيث
الموضع و يتقلّص من حيث السّرعة.

فضاء الموضع

فضاء السّرعة



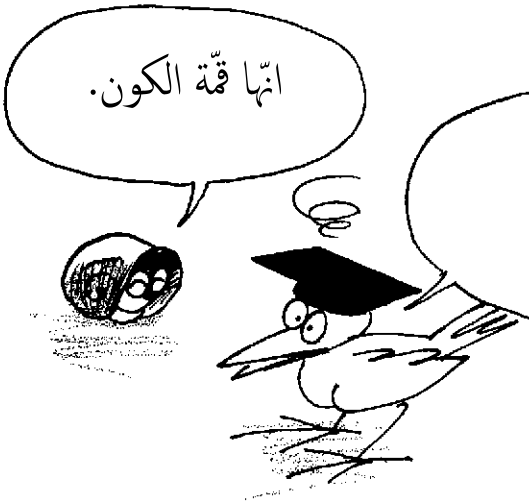


و لكن انتظر لنرى لأنّ المبدأ الثّاني يقول بنموّ
الانتروبيا مع الوقت, كيف يمكن للكون
أن يتطوّر مع انتروبيا ثابتة ؟

معك حق, هذا التّناقض هو أحد
نقاط ضعف النّماذج الكونيّة التّقليديّة.

انّها قمّة الكون.

أن ينحدر نموذج ما من
حسابات علميّة للغاية كالنّموذج
الكوني العام لا يعني تمام انسجامه.



و لكن أليس للعلم جواب في نظريّة أو ما شابه؟
للأسف هذه واحدة من نقاط ضعف نظرتنا للكون.
لم أكن على علم بهذه التّناقضات, في الأخير فانّ الباحثين لا يجهرون بها.
اذن فالوقت يمضي دون أن نعلم لما؟ مبهر هذا العالم.
و لا أحد أعلمني.
على أيّة حال هذا ليس بالأمر الجيّد.
زيادة على أنّ الانتروبيا تبقى عبر الزمن فانّها في أوَجّها, كانت الفوضى في ذروتها خلال الانفجار الكبير.

(*)

(*) الكون متجانس للغاية في كلّ الاتّجاهات

(*) أنظر الملحق « B »

أجل, ربّما
معك حقّ و لكن العلم عجز عن
اثبات ذلك.

ربّما خُلِق الكون متجانساً في
الأصل و لكنّ العلم محدود.

ربّما يجب النّظر في أصل الكون؟

غريب, في كتب الرّسوم, يظهر
كلّ شيء على ما يرام و الآن يظهر
كلّ شيء مختلط.

قد نجد مفتاح
السّر هناك.

يكفي قراءة كتاب
الكون الكبير بالمقلوب للعودة الى
الصّفحة الأولى.

تعني المقدّمة, أين
يشرح الكاتب غاية كتابه.

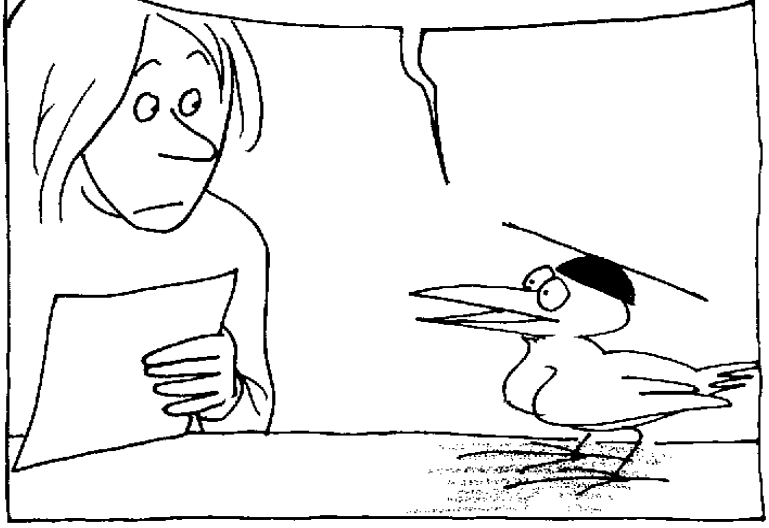
كلّما نظرنا الى الماضي وجدنا الكون أكثر حرارة
و بالتّالي فانّ سرعة اضطراب الجزيئات كانت عاليّة.(*)

حسب النّموذج العام, قبل أوّل جزء من المئة
للثّانية, كانت سرعة كلّ الجزيئات أقرب
الى سرعة الضّوء.

أخبرني, حسب نظريّة النّسبيّة
الخاصّة عندما نقترب من سرعة الضّوء يتغيّر
الوقت, أليس كذلك؟

بدقّة أكثر, الجزيء الّذي يتحرّك بسرعة
الضّوء قد يمرّ بأحداث غير منتهية في
ظرف قصير جدّاً...لا شيء.

يبدأ الوقت
في التّجمّد كالزّئبق في المحرار.



(*) درجة حرارة الغاز هي مقدار الطّاقة المتوسّطة للحركة الحاريّة ½ mV2

(*)

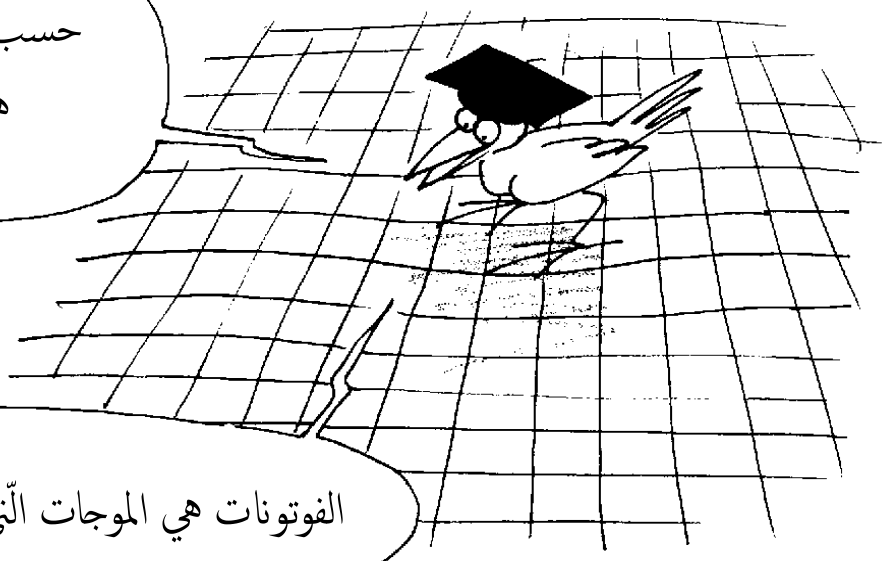
(**)

في الحقيقة يجب تصفّح
ما لا نهاية من الصّفحات لبلوغ
بداية البداية.
أعلم ذلك.
هذا ما بدا لي : كلّ ما تصفّحت
هذا الكتاب للعودة الى البداية, كلّما
أصبحت صفحاته رقيقة
أظنّ أنه لا يعني شيئاً
و انّما هو وجهة نظر فقط.
و اذن, مالّذي يعنيه سمك الوقت
النّهائيّ لجزء المئة من الثّانية الّذي يفرّقنا
عن الوقت=0
تريد القول أنه من المستحيل العودة الى أصل الوقت ذاك و أنّه من المستحيل تعدّيه ؟

و لكن في حدود ز=0 الكلّ
يتحرّك بسرعة الضّوء.
أجل فالتّقاطع مع السّرجس
الزماني المكاني يستوجب
وسيلة (و مراقباً) من مادّة عاديّة
A
و لكن مالّذي تخيّلناه و لم نتمكّن من صنعه؟
أظنّ الانفجار العظيم من صنع مخيّلة العلماء.
باختصار, نماذج الكون الحاليّة نتيجة
لحظة خالية من الحسّ, لا نعرف لما حصل
ذلك في فوضى عارمة و لما استمرّت الحال
على ما هي عليه, و لأنّ تطوّره تأثّر
بطريقة متساوية الاعتلاج فُمضيّ الوقت ما
يزال سرّاً غامضاً.
A
نسخة للاعادة.

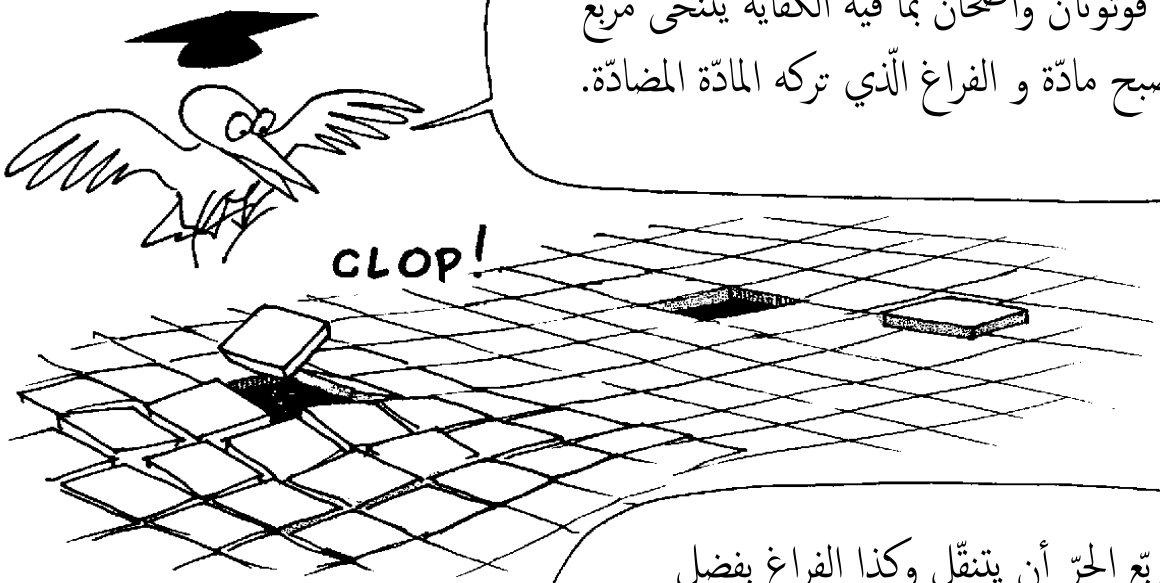
ثالث مفارقة كونيّة

حسب الانجليزي ديراك, ما نسمّيه فراغاً
هو جمع من المادّة و مضادّها.

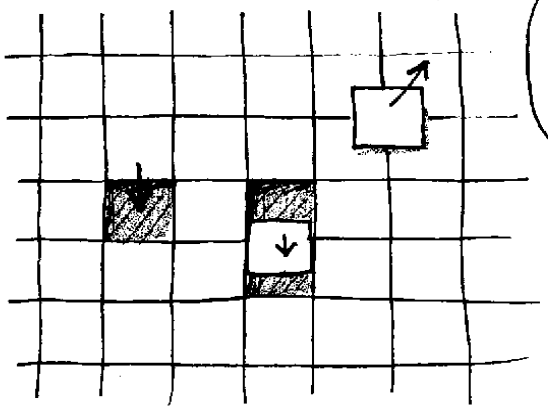


الفوتونات هي الموجات الّتي تُحرّك هاته الشّبكة الفضائيّة.

عندما يلتقي فوتونان واضحان بما فيه الكفاية يتنحّى مربّع
من مكانه فيصبح مادّة و الفراغ الّذي تركه المادّة المضادّة.



يمكن للمربّع الحرّ أن يتنقّل وكذا الفراغ بفضل
حركة المربّعات المجاورة, كما في لعبة أحجيّة الخمسة عشر.



راجع الانفجار العظيم (*)

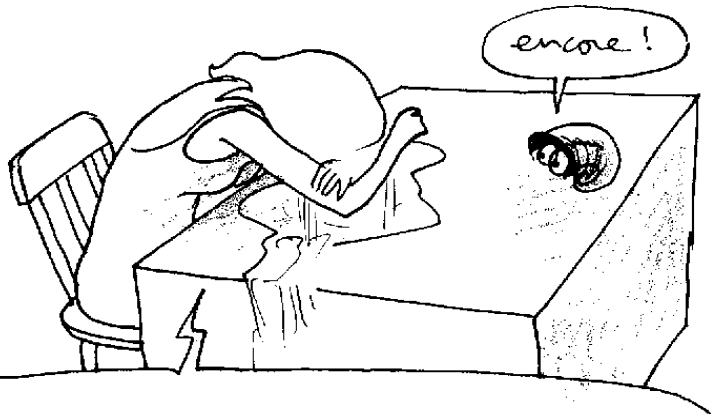
عند الانفجار العظيم كان الاضطراب الّذي مسّ الشّبكة الكونيّة كبيراً, لم تكن المربّعات في أماكنها, لقد كانت تنفصل عن بعضها و تتّصل ببعضها بتواصل في ضجّة عارمة.

عندما انخفضت درجة الحرارة بما فيه الكفاية كانت كلّ المربّعات تقريباص تدور في أماكن فارغة,عدا واحد من المليار. و أصبحت الطّيّات الّتي تحرّك الشّبكة الكونيّة ضعيفة لدرجة أنّها لم تعد قادرة على انتاج المزيد من المربّعات.

و لكنّ خطر عدم التبدّد الكلّي بقي قائماً لأنّ المادّة و ضدّها لهما شحنات متعاكسة, متجاذبة بعضها لبعض.

(*) في ظرف ثلاثة عشر ثانية أصبحت حرارة الكون سبعة ملايير درجة.

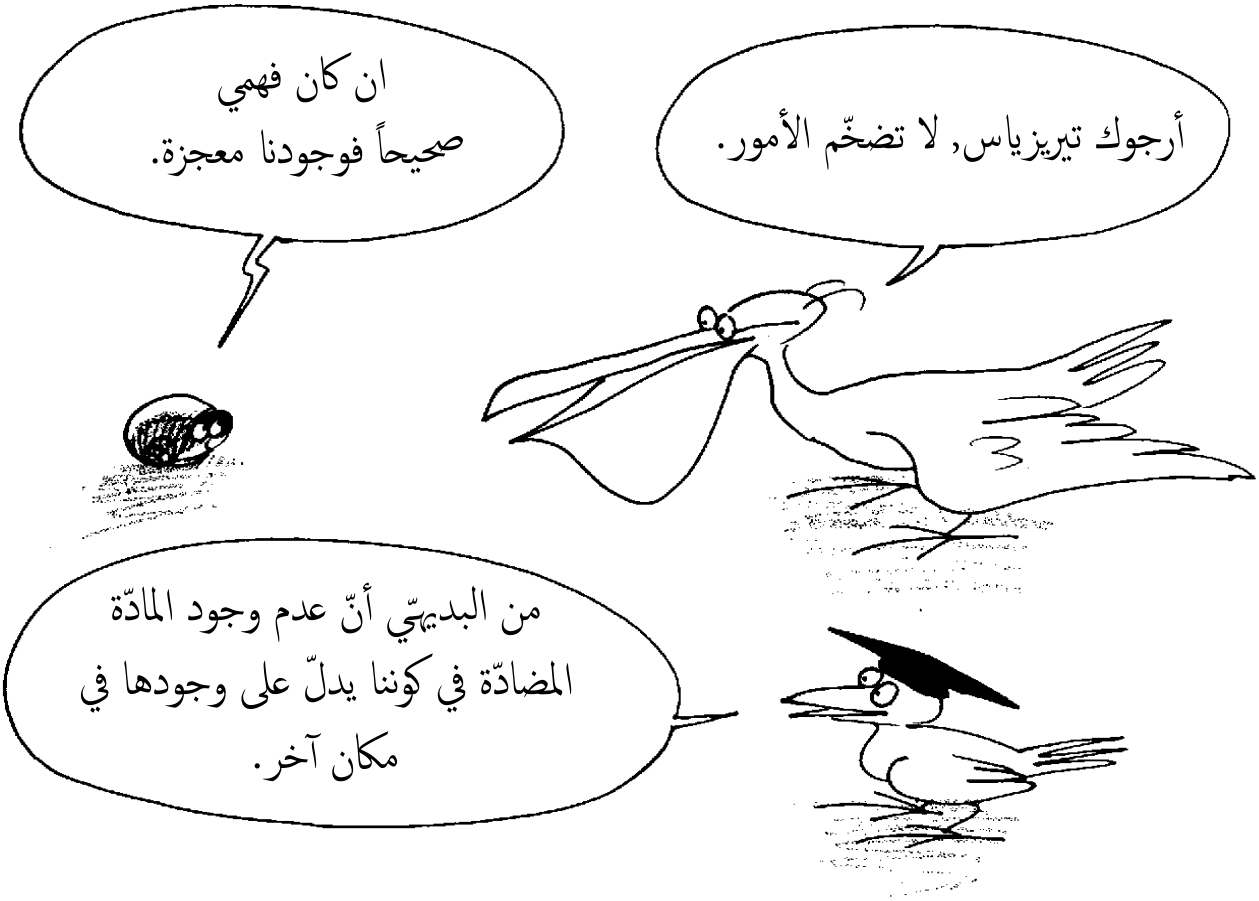
الأمر بسيط للغاية,كما قالت صوفي قبل قليل, الظّاهرة العنيفة للتّوسّع فرّقت الأختين العدوّتيْن بمنعهما من تدمير بعضهما البعض.



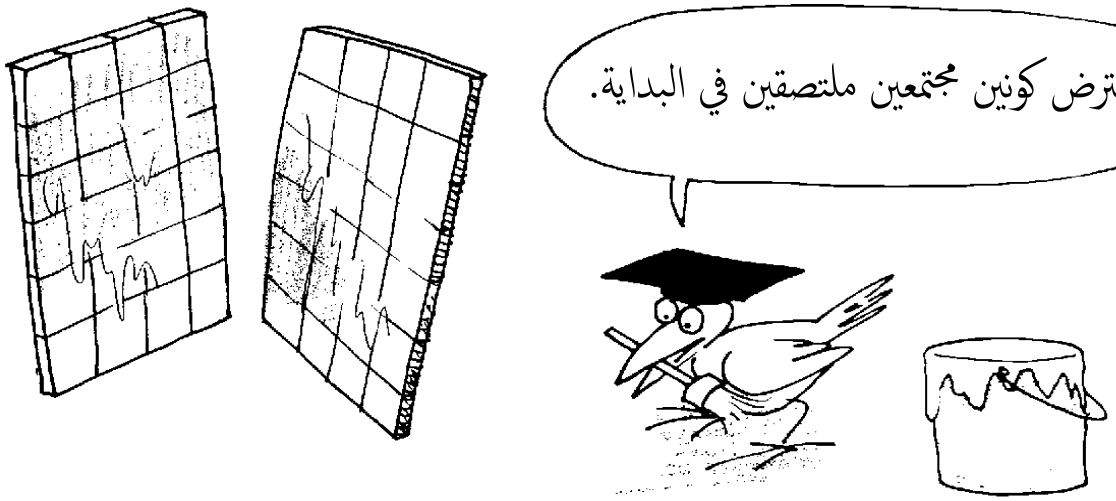
أجل, و لكن بينما حدث ذلك أصبح الكون متصادماً فلو كانت هنالك مجرّات من المادّة و ضدّها لتقابلت من وقت الى آخر.

و لأنتج ذلك صوتاً من شدّته لسُمِع في الكون كلّه.

و لكنن لم نحلّ مسألة المادّة و ضدّها.

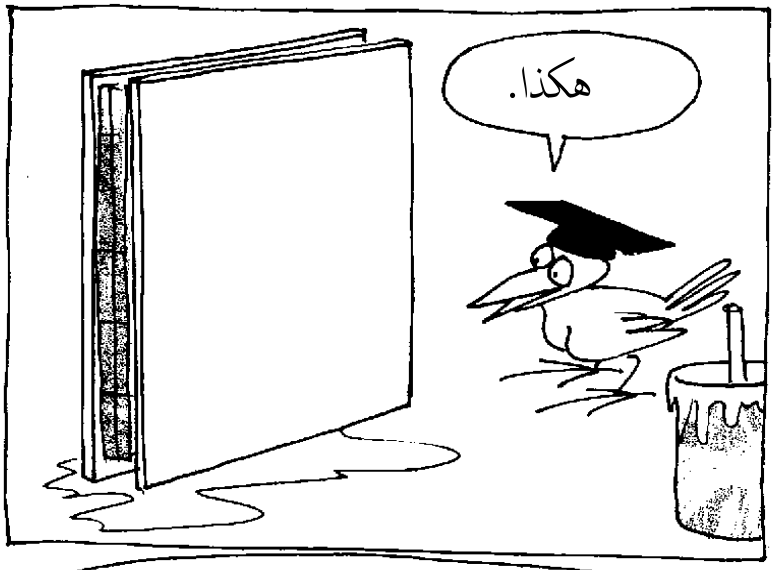


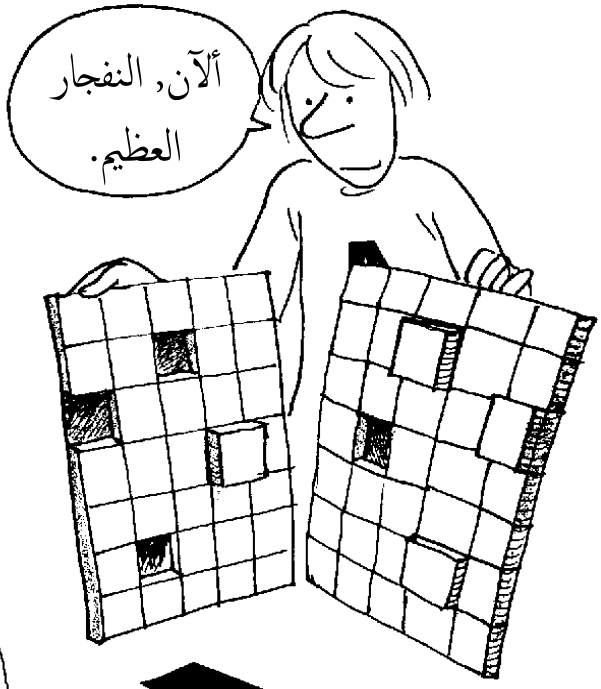
الشّبكة



(*)

نظريّة أ.سخاروف و جون بيار بوتي

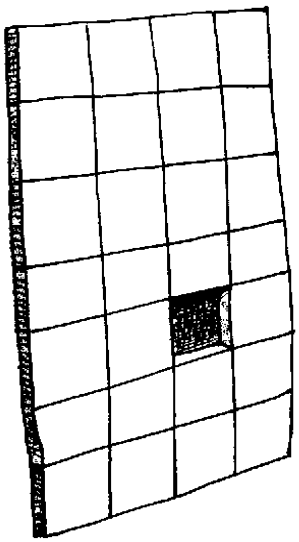




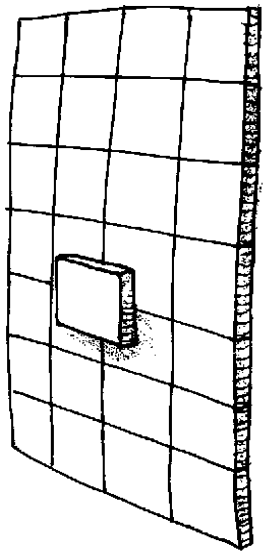
بفصل الطّبقتين يمكننا ايجاد بعض المربّعات منزوعة من أماكنها و البعض أكثر سمكاً.

في كلا الكونيْن ستتوضّع المربّعات السّميكة في الأماكن الشّاغرة و اذا كان التّوضّع متماثلاً فسنجد الرّتابة الأصليّة.

بينما لو حدث فرق في التّماثل فسيكون هناك افراط في المادّة في أحد الكونيْن, و في ضدّ المادّة في الآخر بحيث لا يمكنهما التبدّد.

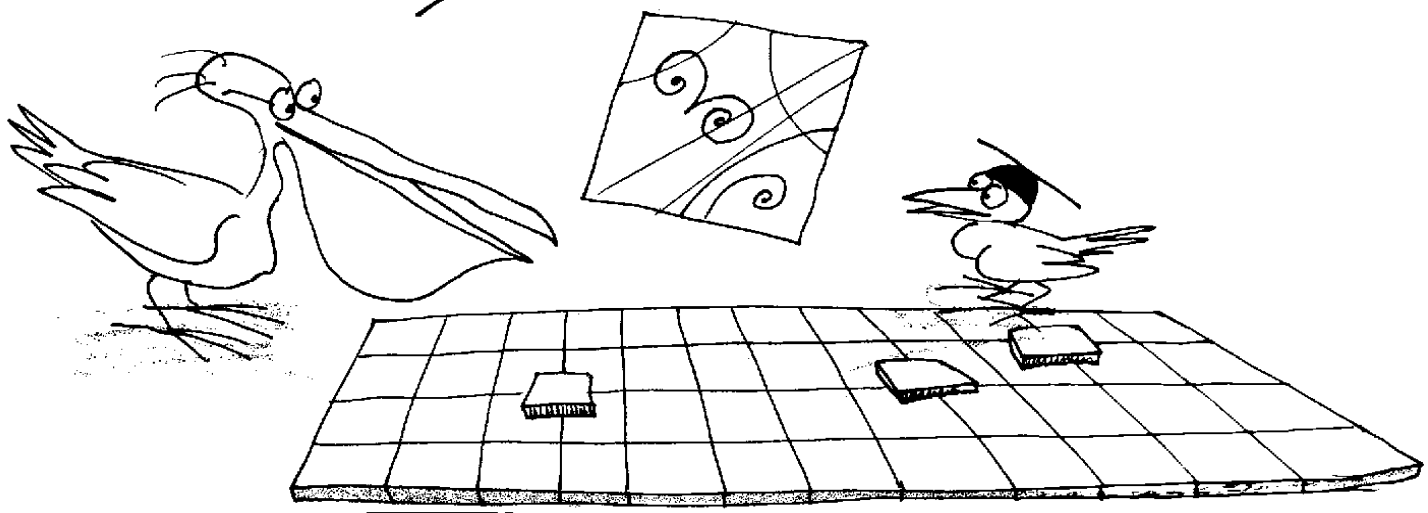


الكون المعاكس -المادّة المضادّة

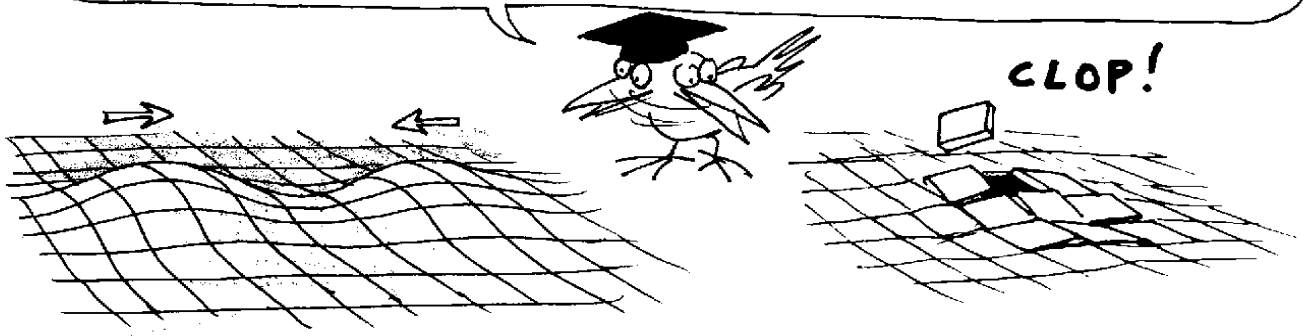


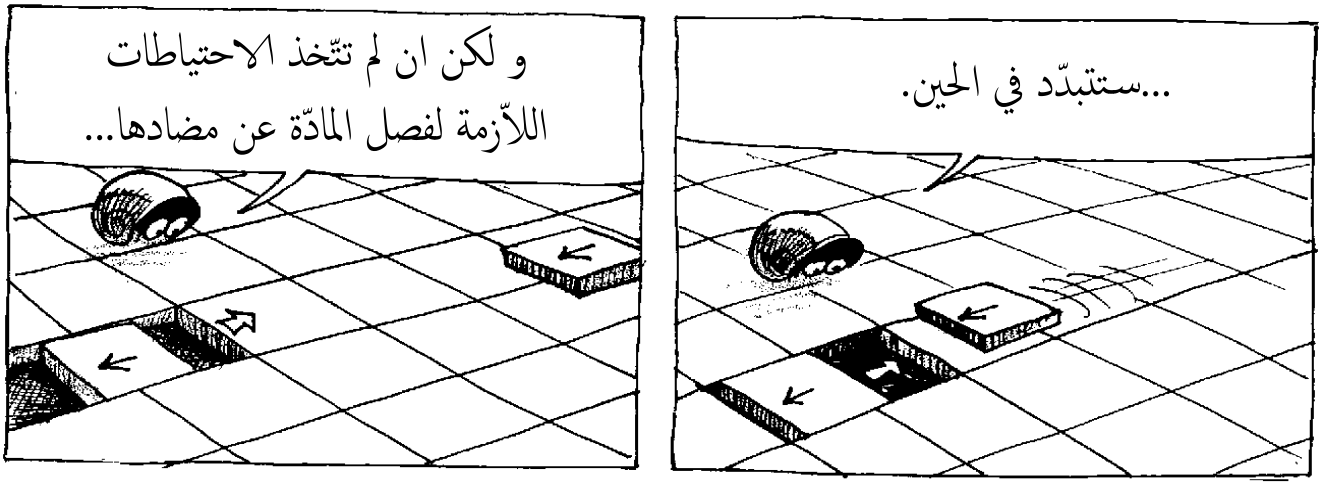
الكون -المادّة

و لكن الى ما تنسب المادّة المضادة الكتشفة في الأشعّة الفضائيّة
بعض الوقت بعد اكتشاف ديراك أو تلك الّتي نصنع في المخابر؟

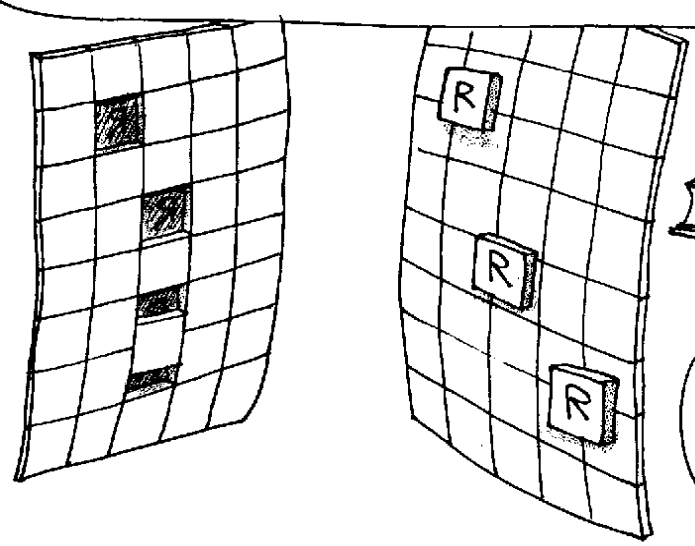


لا شيء يحول دون بيننا و بين انتاج تركيز طاقوي في مسرّعات
جسيمات عملاقة لدرجة فصل مربّع أي انتاج زوج من المادّة و مضادها.

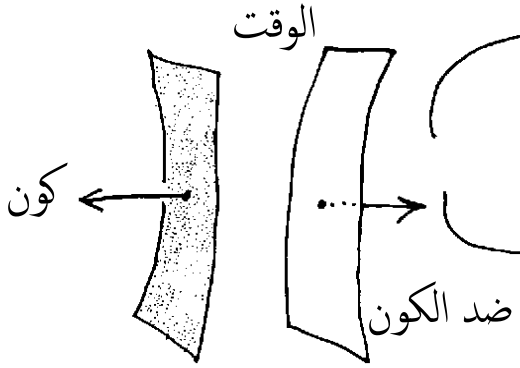




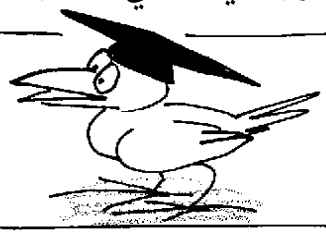
أندراي سخاروفقد استعمل هذه النّظرة لشرح غياب المادّة المضادّة الواضح في فضائنا.



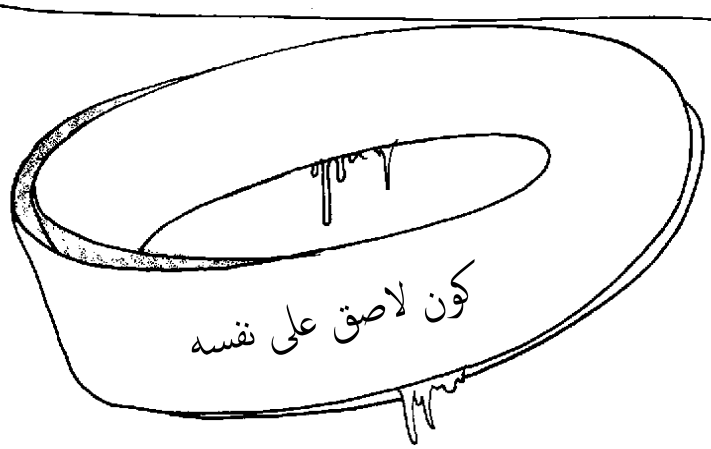
الفضائين التّوأمين يقدّمان مساويتين متعاكستين (كسر في التّناظر يمين-يسار)!

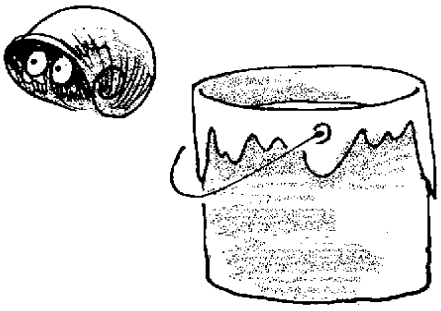


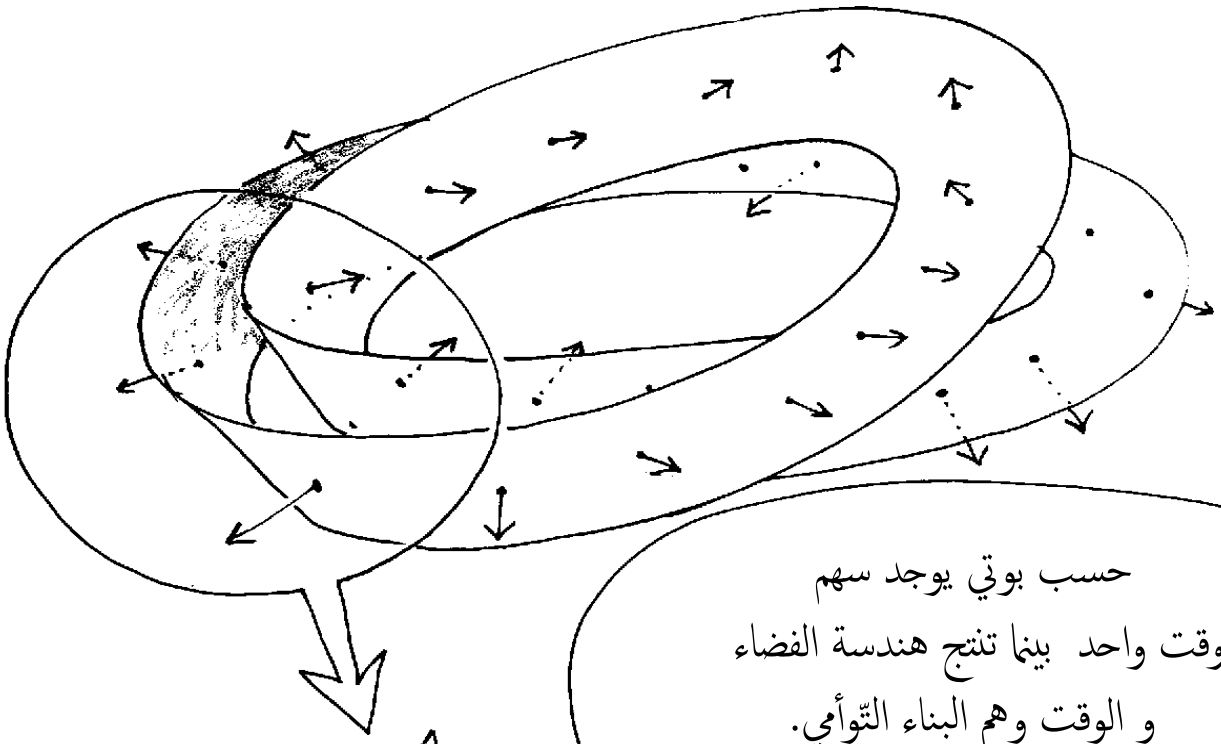
كلّما شدّت أسهم
الوقت في انعكاس أصبح مستقبل
أحد الكونين في ماضي الآخر.



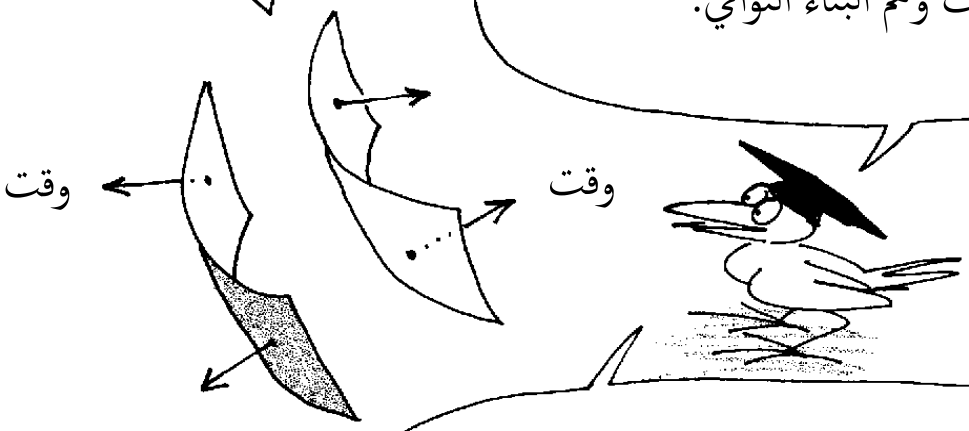
من نفس المنطلق عمل جون بيار بوتي سنة 1977 معتقداً وجود كون واحد ملصق على نفسه طوال شريط موبيوس على ثلاثة أبعاد.



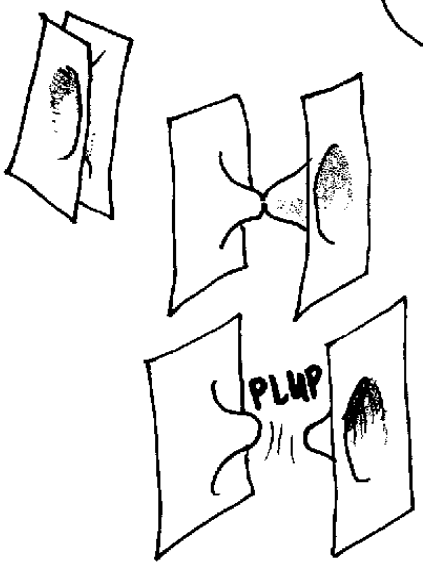




حسب بوتي يوجد سهم
وقت واحد بينما تنتج هندسة الفضاء
و الوقت وهم البناء التّوأمي.



يوجد اذن هناك نوع مادّة وحيد و ما المادّة
المضادّة ,حسب قول آبي لوماتر, الاّ المادّة بمنظور مقلوب.



فما هذه الأخيرة الاّ تشوّهات
البقايا في المنحنيات و هي متساوية تماماً.

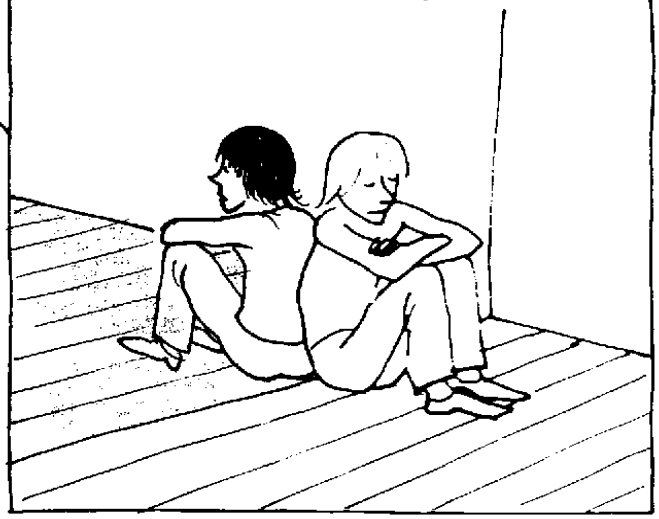
(*)

المادّة المضادّة
المادّة المضادّة
صورة هندسيّة تبيّن
ثنائيّة المادّة و المادّة المضادّة.
اذا كان فهمي صحيحاً فمن المستحيل تعدّي الانفجار العظيم و الاّ تجمّد الوقت في الميقات, على أيّة حال في الجانب الآخر يحدث كلّ شيء في الوقت العكسي.
و هل صوفي أحسن؟
أجل
هل يمكننا العبور الى الجهة الأخرى بواسطة الثّقوب السّوداء لنتواجد في الوقت العكسي؟
يا الاهي

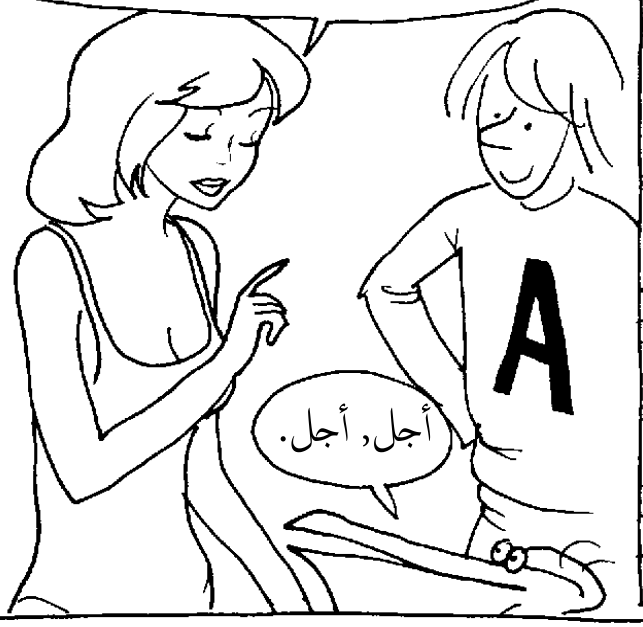
تتكلّم عن محادثة, لكانوا
يعلمون كلّ ما سنقول لهم بينما يجهلون
كلّ جملاتنا السّابقة.
يا الاهي
هذا مقلق.
ان التقينا يوما بأناس من
الوقت العكسي, ماذا نقول لهم؟
الى اللّقاء, لأنّهم حسب وقتهم ذاهبون.
اعذروني, لم أركّز طوال الوقت, أين كنّا؟
لكان ذلك مهمّا اقتصاديّاً لهم
لتحويل فضلاتنا الى مادّة أوليّة.
أنسالم يتساءل كيف لنا أن
نتواصل مع أناس من الوقت العكسي؟

يستحيل
التّواصل مع هؤلاء النّاس.
يظهر الأمر صعباً, لو أرسلنا لهم
رسالة فعندما يستقبلونها في
وقتهم سيرسلونها أيضاً.
!!!
لنحاول
أو هناك شخص لا يمكن تبادل المعلومات معه.
ذاتك
لن تتعلّم الشّيء الكثير.
حاول التّواصل مع نفسك في المرآة.
و لكن للكون ؟

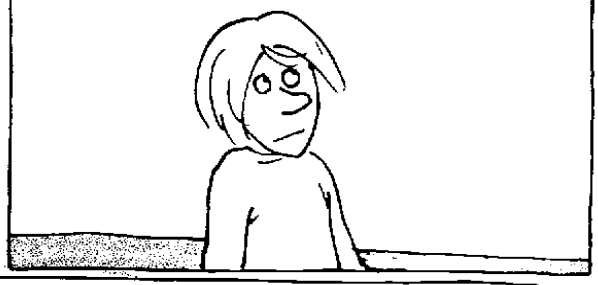
كان يا مكان, شابّان يتّكئان
على بعضهما كضاغط الكتب.



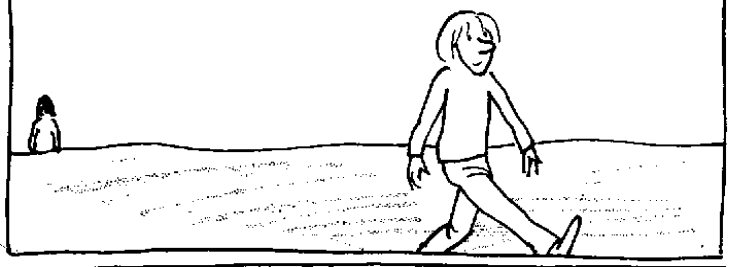
أتحبّون الحكايات؟ سأقصّ عليكم واحدة.



قال الأشقر : لو كانت
الأرض كرويّة لالتقينا في منتصفها
مشياً في طريق مستقيم.



كانا يسكنان نفس المنزل و يقيمان في نفس
الطّابق. في يوم من الأيّام ذهبا قبالة
ما ليهما, الأشقر نحو الشّرق و الأسمر اتجاه الغرب.



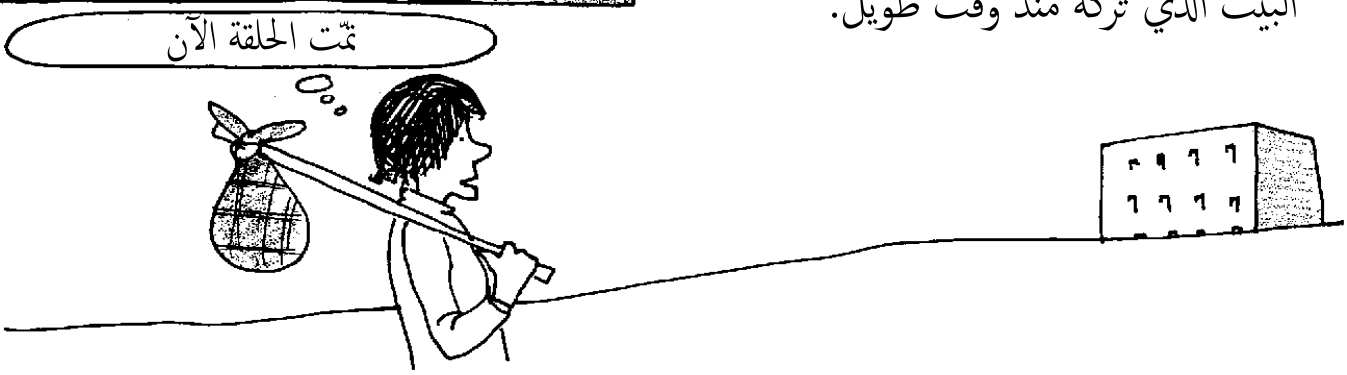
كانت الرّحلة طويلة الى درجة أنّ الأشقر خاف من عدم العيش الى نهايتها.

لقد ضعُف بصري و فقد تقريباً كلّ شعري.

عندما بلغ نصف الطّريق, أصبح الأشقر يعاني البرد الشديد لفقدانه كلّ شعره منتظراً صديقه دون جدوى.

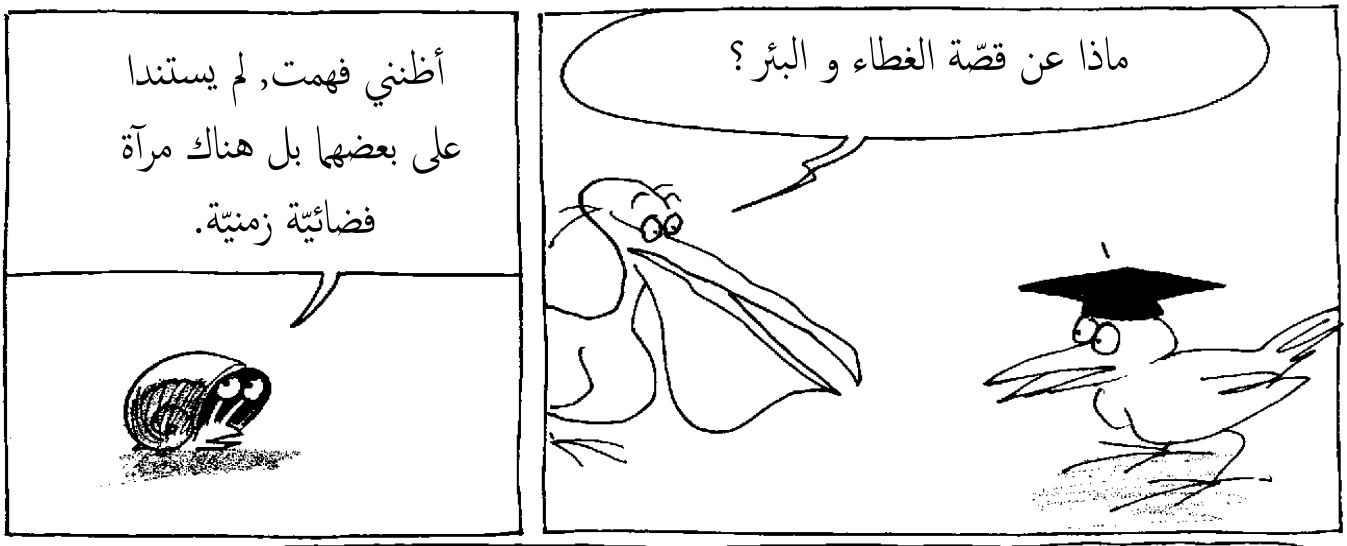
و رغم محاولاته العديدة
الاّ أنّه لم ينجح في استعماله.

في آخر المطاف وقع نظره على
البيت الّذي تركه منذ وقت طويل.

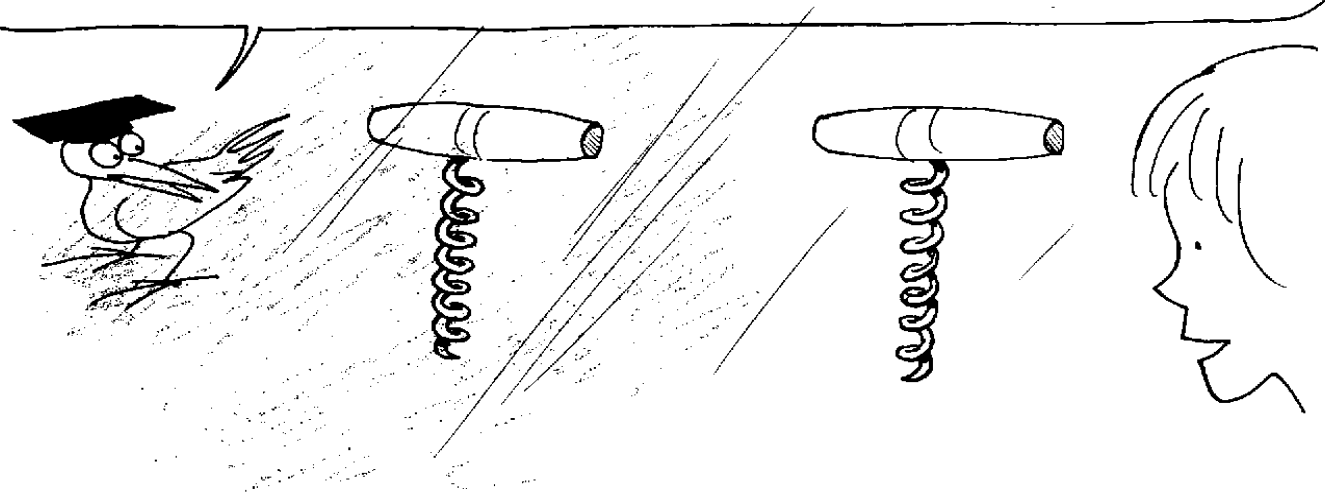


...فوجد نفسه
وجها لوجه مع شابّ أشقر.

صعد الدّرج ...



أظنّ أنّ البئر الأوّل يمثّل ثقباً أسود, و الآخر نافورة بيضاء, و أظنّ أنّه لم يستطع فتح القنّينة لأنّ اللّولب القنّيني أصبح بصفات متصاوغ مرآتي.

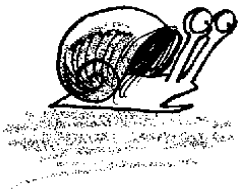


(*)

ماذا يقول مختصّو ميكانيكا الكم عن الوقت؟
بالنّسبة لهم, يختصر الكون في معادلة شرودينجر حيث يتجسّد ثابت بلانك.
كلّ ما يحدث في الكون حلّ لتلك المعادلة.
و أخيراً وجدنا معادلة تملك جواباً لكلّ شيء.
لهذه المعادلة زمن بياني ز و وقت بلانك يعادل 0,53 10 -43 ثانية. من المستحيل وصف ظاهرة وقتها أقل من زمن بلانك
هذه مفاجأة أخرى.
(*)

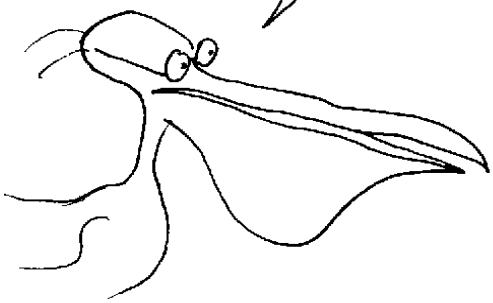
هذا يعني أيضاً أنّه بالنّسبة
للكميّين, ينتهي اوقت عند 10^{-43} ثانية
هم أيضاً لا يمكنهم بلوغ مفهوم ز=0

هذا يعني أنّ للوقت سماكة محدودة.

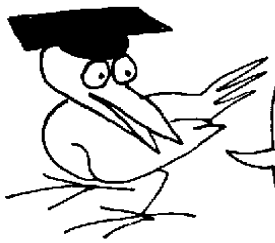


يا الاهي

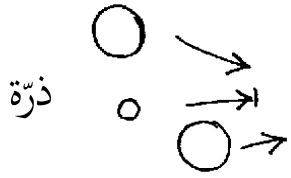
حسناً, عمّا نتحدّث بالضّبط ؟ ان
كان الكون كالماكينة فما هي آليّاته ؟



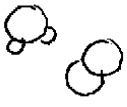
شكليّاً, يتمثّل الكون كما نعرفه في مزيج من الفوتونات و جزيئات المادّة في رابط مليار لكلّ
واحد. تنتج الجاذبيّة جمعاً من المادّة بحيث يخلق الانصهار المستمرّ من المادّة
اشعاعات, ناتج التّفاعلات هاته يدعى بالذّرّات.



نواتج التّركيب النّووي يمكنها التّفاعل مع بعضها بعفويّة فتمتصّ
الفوتونات (التّركيب الفوتوني) منتجة تركيبات تسمّى الجزيئات. يمكن للذّرات
أيضاً التفكّك و اعطاء فوتونات مجدّداً و هو ما يعرف بالانفلاق النّووي.



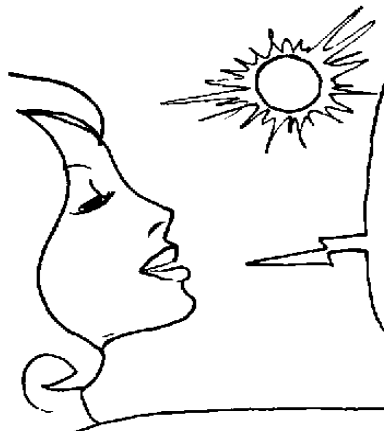
ذرّة



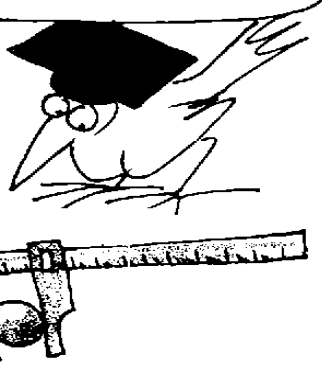
جزيء

انفلاق

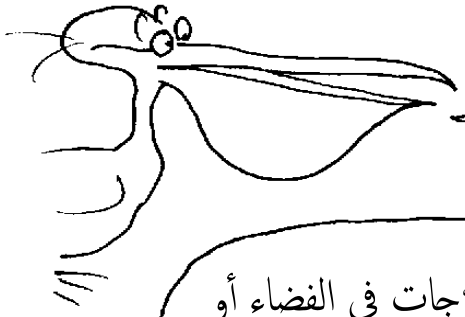
(*)



المادّة و الضّوء ما هما الاّ صورتين للكيان نفسه, الطّاقة و المادّة, كلّ هذه الظواهر تترجم تحوّلاً بسيطاً للمادّة في شكل فوتونات.



لقد فرضنا في بداية القرن أنّ جزيئات المادّة تحتفظ بنفس الحجم أي أنّ الطّاقة و المادّة المحتواة فيها تتحوّل بفعل الوقت.



ما هو الرّابط السّحري بين حجم الأشياء و طاقتها؟

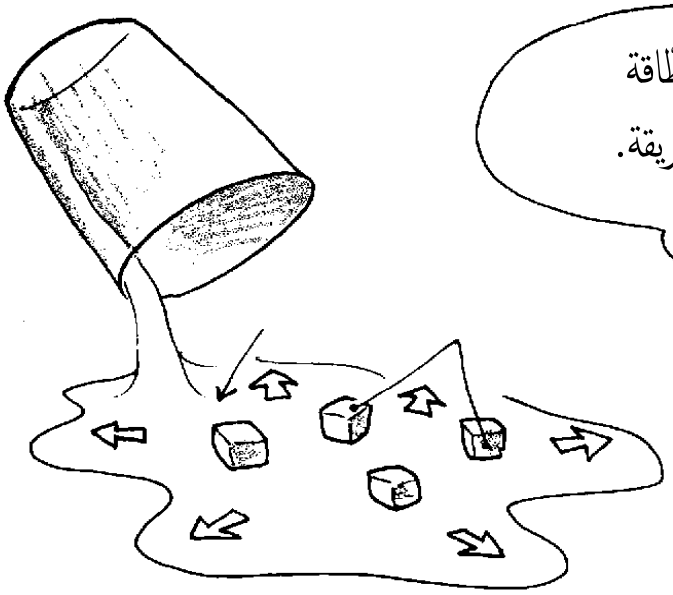
في ميكانيكا الكم كلّ الجزيئات تشابه تموّجات في الفضاء أو هو كميّة الطّاقة و المادّة E رزمات من الموجات. ان كان المحرَّكة بالجزيء فانّ طول الموجة المرتبطة به هي

$$\lambda = hc/E$$

بحيث أنّ h هو ثابت بلانك و c هي سرعة الضّوء.

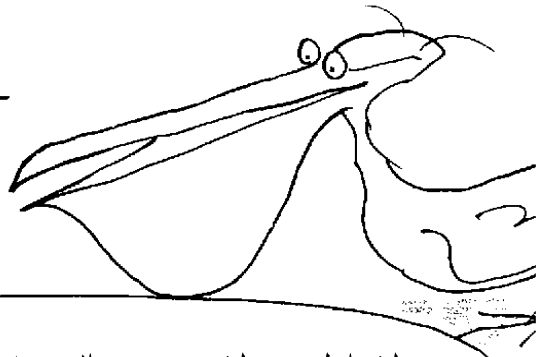
رزمة الضّوء الممثّلة لحجم المادّة تحافظ على طول موجتها مع مرور الوقت

المادّة و الفوتونات, هاتين الصّورتيْن للطّاقة
و المادّة لا تنتشران في الكون بنفس الطّريقة.



المادّة هي طاقة و مادّة متجمّدة.

باختصار فانّ الكون مركّب من حبيْبات
المادّة و الفوتونات مع كثير من الفراغ حولهم.



لا يا ليون, لا يوجد هناك فراغ في ميكانيكا الكم فالكون مساحة غير
ملساء. بعض الطيّات كأنّ بها نشاء و هي تمثّل المادّة. و البعض الآخر
و هو الفوتونات يمكنه التّمدّد و هو ما يسمح للكون بالاتّساع.

انتظري, ان كانت الطّاقة تتغيّر عكس طول الموجة
و التّمدّد الفضائي للجزيء فانّ تمدّد الفوتونات عبارة عن
ضياع مستمرّ للطّاقة.

و المؤكّد أنّ لا أحد يهتمّ لذلك.

(*)

عوض كون بانتروبيا ثابتة و طاقة
متغيّرة لكان الأمر أحسن بوجود العكس و لكن...
ان كان فهمي للتّمدّد الكوني صحيحاً فانّ هذا الأخير يتماشى
مع نموّ الفضاء الّذي تشغله الفوتونات الأصليّة الّتي تمثّل أساس الاشعاع
الكوني و في هاته الحال فانّ الكون يتمدّد في جميع الجهات.
و لكن حسب رأي علماء الفزياء الفلكيّة
لا النّظام الشّمسي و لا المجرّات و لا كومات المجرّات تتّسع. فمن
يا ترى يدفع ثمن الاتّساع؟
هيا يا صوفي.
حسناً.
هل الكون النّظريّ أمر جديّ أم لا؟

في النّهاية قد يكون الكون ثمرة مخيّلتنا.

تيريزياس, لا تتفوّه بالحماقات.ماذا عن التّجارب و
الملاحظات؟ ان كنّا نؤمن بالاتّساع الكوني فذلك بسبب التّغيّر الأحمر.

أنظروا الى هاذيْن الطّيْفيْن. أحدهما أُنتج في مخبر بالهدروجين الخاضع لدرجة حرارة مرتفعة و الآخر بتحليل الضّوء المنبعث من مجرّات بعيدة و هو يسجّل فارقاً ملحوظاً نحو اللّون الأحمر. انطلاقاً من هاته المعطيات نستخلص سرعة ركوده فأين الخيال بالله عليك؟

كيف يمكنك تأكيد انتساب الفارق نحو الأحمر الى فعل دوبلر- فيزو؟

عالم الفضاء و الفيلسوف ميلن الّذي رفض نظريّة توسّع الكون قد أعطى هذا الانخفاض في تردّدات الفوتونات تفسيراً آخر.

الى ماذا ننسبه اذن؟
الى تعب الضّوء مثلاً؟

طاقة الفوتون هي hv حيث h هو ثابت بلانك بينما v هي التّردّد. قال ميلن « لنفرض أنّ طاقة الفوتون تُحفَظ بينما h يكبر تناسبيّاً مع الوقت و بالتّالي سنقيس عند استقبال الرّسالة تردّداً v أضعف بدون فعل دوبلر و بدون توسّع.

كون ثابت, يا للعجب.غير معقول. ماذا عن الاشعاع الأحفوري أثر التوسّع البدائي؟

حسنا لنتحدّث عن كون متحرّك, و لكن بالنّسبة الى ماذا؟

(*) أيوجد هناك مكان للكون؟

الحاوي و المحتوى في الكون شيء واحد, قياس الميلان نحو الأحمر وحده يهمّ.

على أيّة حال يستحيل القياس لأشياء تبعد عنّا بمليارات السّنوات الضّوئيّة, الفكرة هي بناء نظام تمثيلي يأخذ كفاية الملاحظات بعين الاعتبار. في العلم نحاول دائماً الحفاظ على المظاهر.

(*)

(*)

لنرى, لمّا تريد تخيّل كوناً في اتّساع نقارن ذلك عادة
بالبالون المنتفخ مع بعض البقع المرسومة عليه ممثّلةً جمع المجرّات.
لا, النموذج التّقليدي مختلف عن هذا.
يجب أن تلصق على
بالونك كريّات صغيرة لأنّ
المجرّات لا تتمدّد بمرور الزّمن.
في هذه الحال, يشبه التّمدّد الكوني الرّسم التّالي:

(*)

لماذا لا تكبر أشياء الكون معه؟ المجرّات, النّظام الشّمسي و الجسيْمات الأوليّة.

صديقي, حجم هاته الأشياء محدّد بمجموعة من الثّوابت : الجاذبيّة ثابت بلانك, كتلة البروتون , و سرعة الضّوء.

كلّ هذا معلوم حسبك.

و لكن لماذا هذه الثّوابت غير متغيّرة؟

لأنّها ثابتة.

من يوم الى آخر و من جهة الأرض الى الأخرى و لكن لما لم تتغيّر منذ مليارات السّنين؟

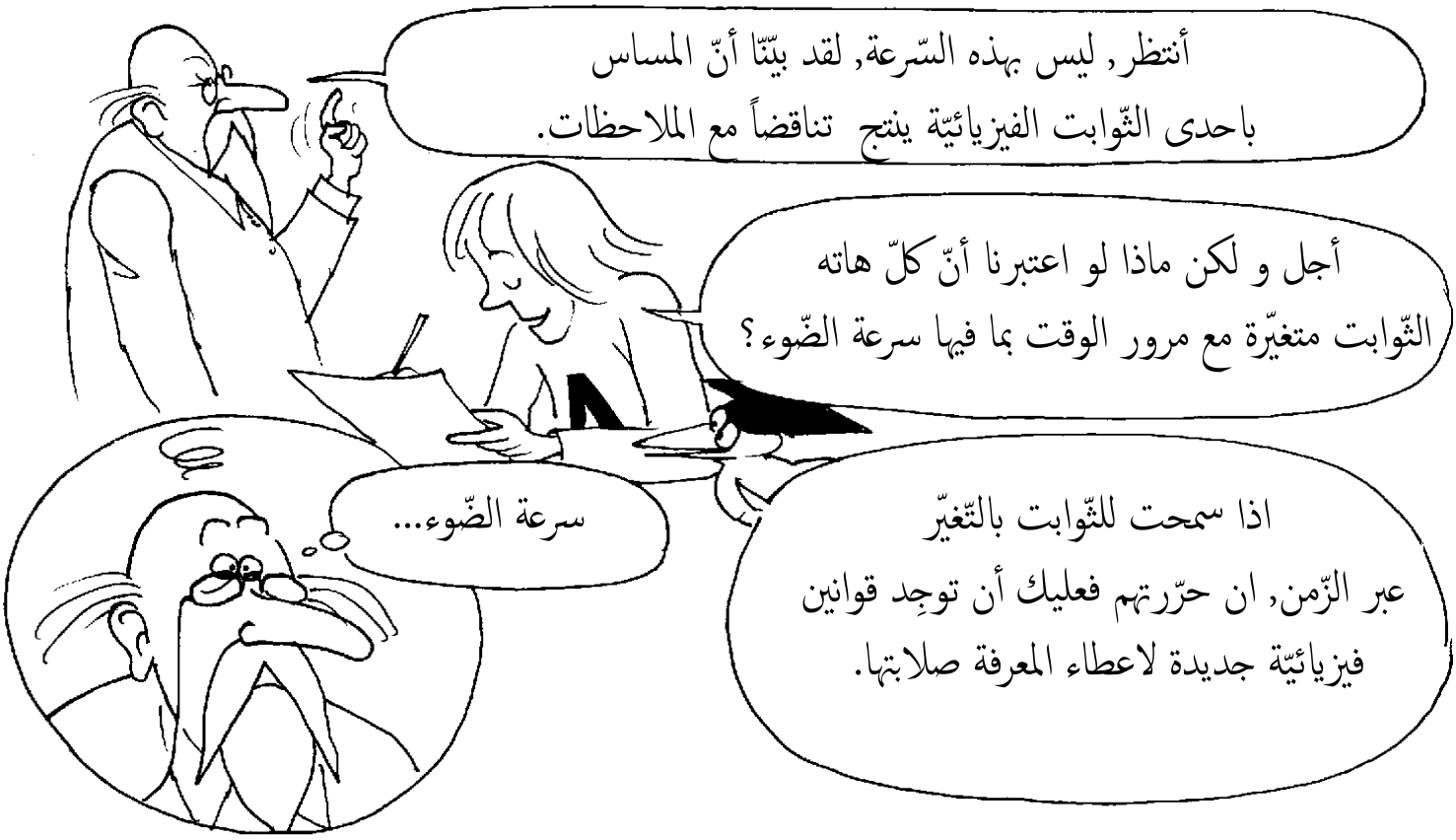
هذا غير مسجّل في أيّ مكان.

حقّاً !

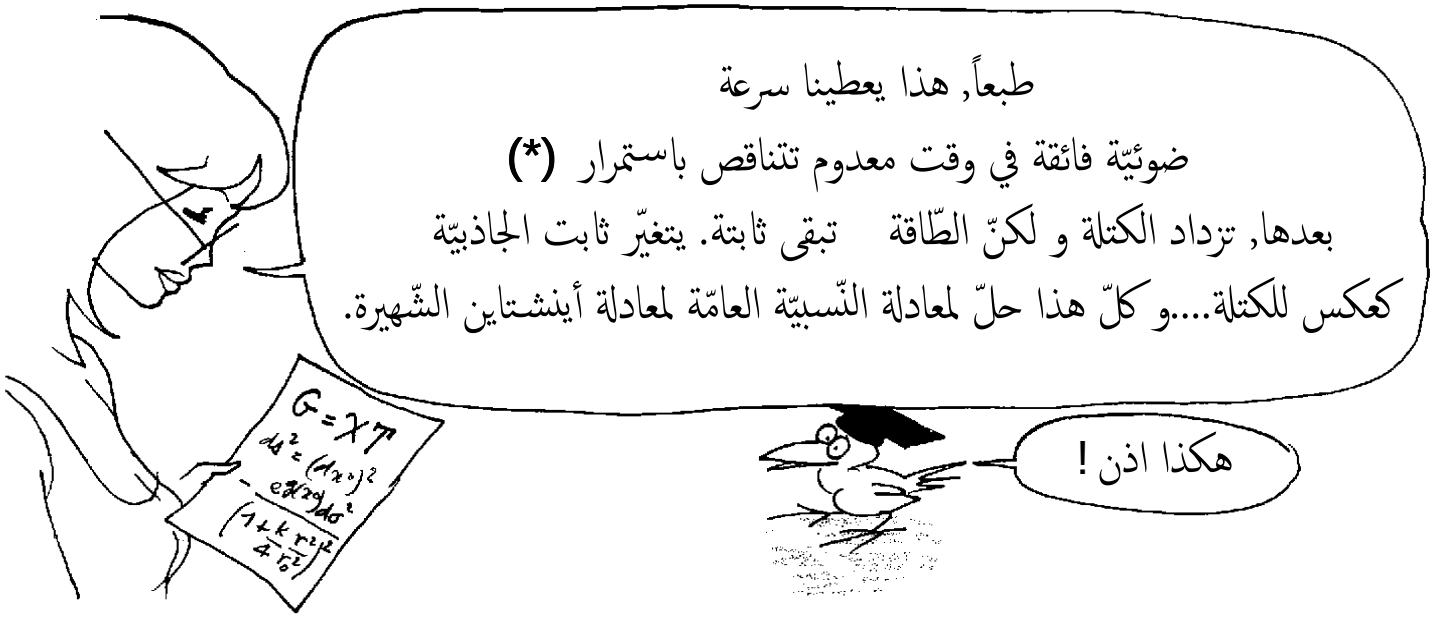
أظنّ أنّ سرعة الضّوء ثابتة بسبب النّسبيّة العامّة.

و ثابت بلانك ؟ألا يمكنه
التغيّر ...بسبب ميكانيكا الكم ؟
هذه نظريّة أخرى
مرتبطة بنظام التّمثيل هذا.
و لكنّ هذا من البديهيّات!
و البديهيّة ليست اعتقاداً بطوق و ربطة عنق.
تريد القول أنّه في بداية القرن كان بالامكان تحديد المقاييس الّتي تلعب دوراً في المعادلات
بدقّة, حتّى أنّ بعضها قد اكتُشِف حينها ثمّ وُضع اجماع ضمني مؤكِّداً ثباتها.
مالّذي يتغيّر يا ليون؟ طالما أراد الانسان حجز
الكون في مخيّلته , هناك مثال المجسّمات كثيرة السّطوح لأفلاطون
و العناصر الأربعة في وقتنا الحاضر هي ثوابت الفيزياء.

(*)



النّسبيّة الاستثنائيّة



(*) في هذا المثال تتغيّر سرعة الضّوء كما يلي $\frac{1}{\sqrt[3]{t}}$

(**) الانزلاق Δv في التردّد متناسب مع البعد عن المصدر, نجد قانون هابل.

ماذا لو كان التغيّر الأحمر غير ناتج
عن فعل دوبلر بركود سرعة المصادر فالكون اذن
ليس في توسّع. لم أعد أفهم شيئاً.
لا يهمّنا, كلّ ما يعنينا هو ايجاد الملاحظ, التغيّر الأحمر.
في هذا النموذج لا يمكن أبداً قياس أيّ توسّع لأنّ
شريطك المتري يتمدّد في نفس الوقت مع الكون.
كما لا يمكنك أن تُخضِع للبداهة موضعيّاً التّغيّرات h, c, G, m الخ
لأنّ أجهزة القياس المؤسَّسة على نفس الثّوابت تتحرّك بتوازي.
بالمناسبة, ماذا عن الانتروبيا؟
تزداد مع الوقت. هنا.
يقع تناقض الصفحة 36
ماذا عن التفرّد المبدئي حيث الوقت = 0؟

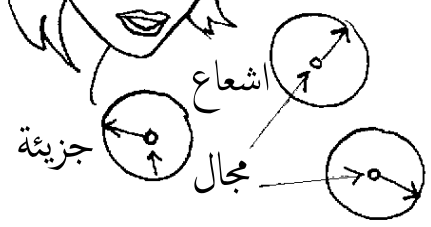
(*)

اذا تنازلنا عن متغيّر التّسلسل الزمني t مقابل الانتروبيا فالتّفرّد ينعدم لأنّ الوقت المبدئي يرمز الى $-\infty$ =S فتيصبح لا معنى للكون قبا الانفجار العظيم

يمكنكما يعني أنّ الوقت ليس بالثابت المناسب لوصف الأحداث و لكنّه سراب خادع.

لأنّنا على وشك الهجوم على التّناقضات, لقد رأينا في ما سبق أنّنا لا نستطيع تفسير الفوضى الظّاهرة و التّناسق الملاحظ لأنّ الجزيئات في بداية عمرها تتجاهل بعضها.

لقد بعثت هذه الجزيئات موجات مضيئة بسرعة c و وقت t=0 و لكنّها تبتعد عن بعضها البعض بسرعة كبيرة لدرجة أنّ مجالات أفقها لا تتداخل, انّها في حالة انعزال تام



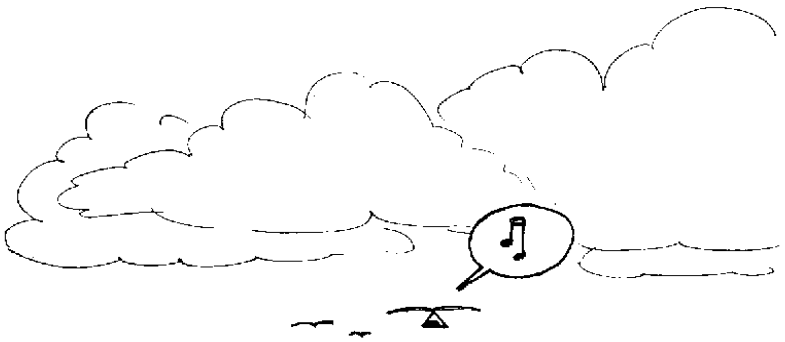
و لكن في القرب الشّديد تتداخل المجالات في كلّ الأوقات و تكبر في نفس الوقت مع الكون نفسهة, تتفاعل الجزيئات و بذا تُبرّر الفوضى و الانسجام

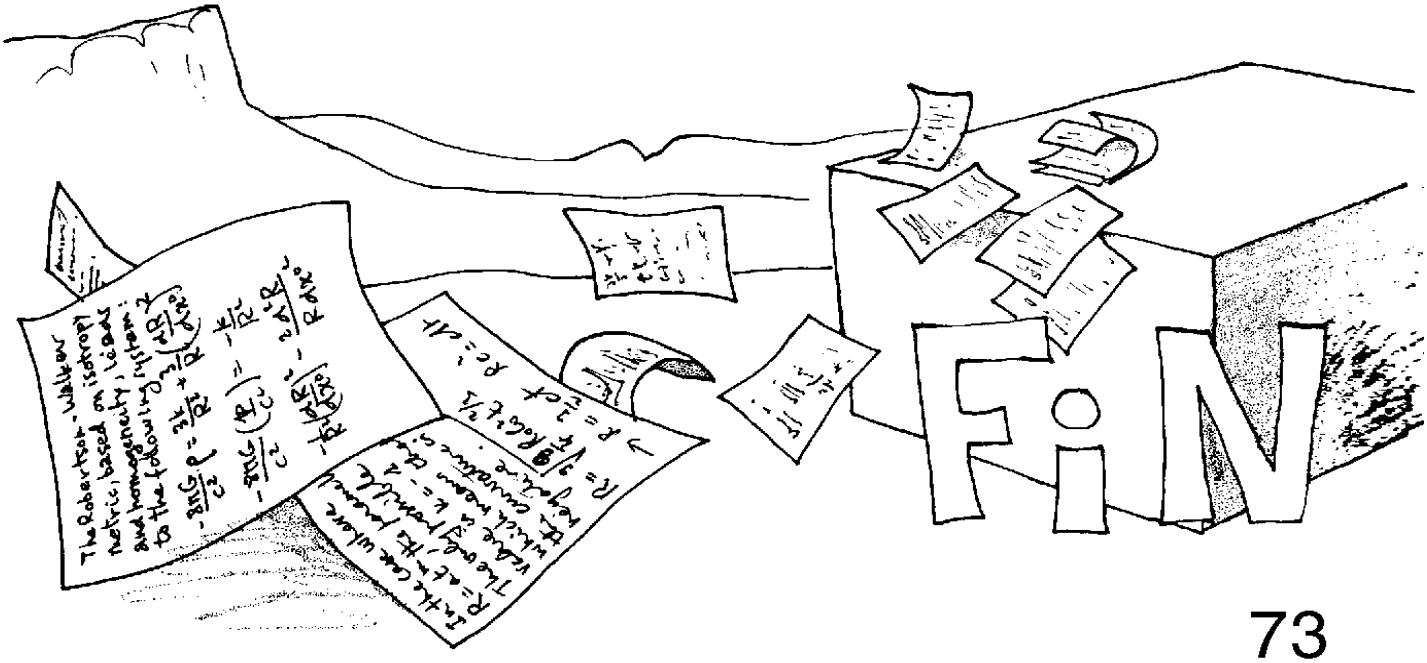
(*)

و وقت بلانك يبقى مشكلاً على
حال , ألا يمكنكم التخلّص من كلّ التناقضات ؟
مهلاً, هذا الوقت يساوي $\sqrt{\frac{hG}{CS}}$ لحظة.
يا الاهي
يتغيّر وقت بلانك في شكل T و يختفي حاجز بلانك.
سؤال آخر ؟
أين أنسالم يا تيريزياس؟
أظنّه في الأعلى.
(*)
72

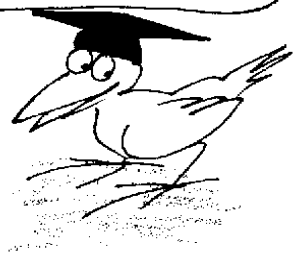
رأى أنّ السّحب محمَّلة
للغاية فأخذ طائرته الهوائيّة و ذهب مع
الاثنيْن الآخريْن.
ماذا تقصد؟

يوماً ما سأطير
أنا أيضاً و لم لا؟




FiN

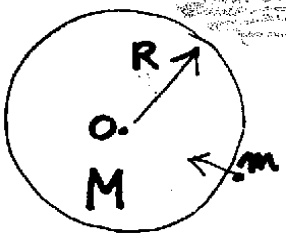
معروف عن العلم الحديث تشكّله من معادلات معقّدة للغاية لا يمكن أن يفهمها الاّ عدد محدود من العلماء و لكنّ الأفكار المبدئيّة دائماً بسيطة و من المعهود عرضها بطريقة معقولة بواسطة حسابات كتلك الّتي يستعملها البقّال.



النقاط التّالية عبارة عن أمثلة:

A الملحق الأوّل

أو كيفيّة ايجاد قانون تطوّر الكون في ثلاثة أسطر من الحسابات.



لنشبّه الكون بكتلة متجانسة من الغبار لشعاع « R » و كتلة « M » معتبرين حبّة من الغبار للكتلة « m » متوضّعة على سطحها

من هذه الأخيرة R يمكن أن نبيّن أنّ القوّة المطبّقة على الكتلة هي نفسها مركّزة في المركز 0, فبالتّالي: $F=\frac{-Gm}{R^2}$

لنطبّق $F= m\gamma$ الخاصّة بالميكانيكا

نحصل على $-mR''=\frac{GMm}{R^2}$ أو $R^2R''+GM=0$ و هو ما يسمّى بمعادلة فريدمان

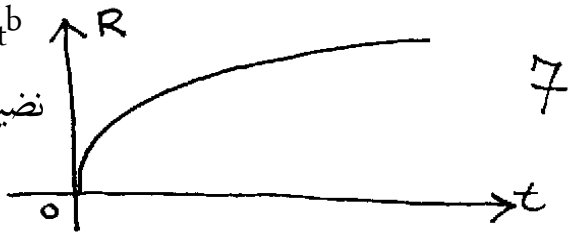
لنبني أحد الحلول الثلاثة لهذه المعادلة الفارقة

لنعطي لهذه الوظيفة $R(t)$ الشّكل at^b حيث a و b ثابتيْن يعيَّنان

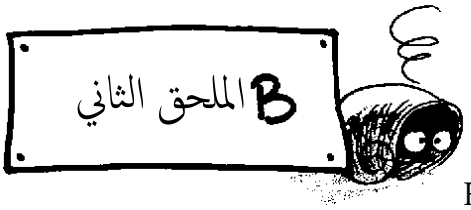
$R=at^b$ $R'=abt^{b-1}$ $R''= ab\,(b-1)t^{b-2}$

نضيف هذا للمعادلة فنحصل على $b(b-1)a^3t^{3B-2}+GM= 0$

و يعمل هذا مهما كان t



الملحق الثاني B

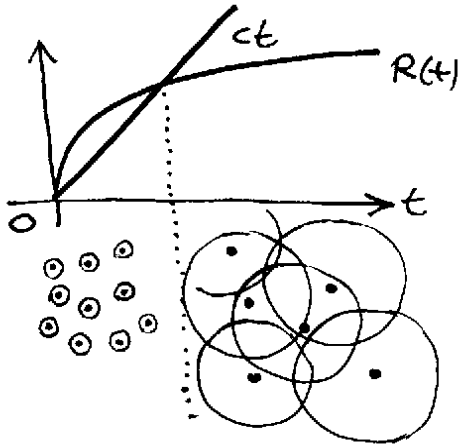


الحل الوحيد هو أنّ دليل t يجب أن يكون معدوماً.

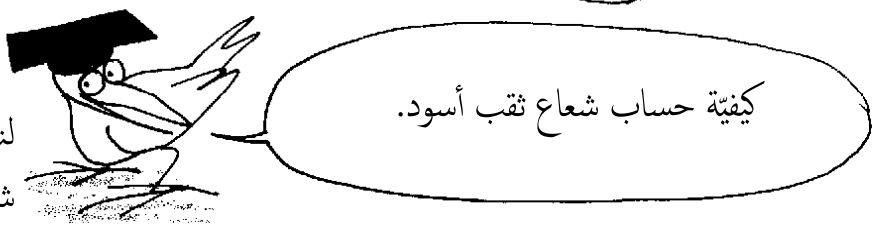
بالتّالي $b=\frac{2}{3}$ ما يعطينا $a=3\sqrt{\frac{9}{2}GM}$ و $R=3\sqrt{\frac{9}{2}GM}\ t^{2/3}$

R هو ميزة طول الكون الّتي يمكن تشبيهها امّا الى شعاع انحنائه أو الى المسافة المتوسّطة بين جزيئين القاء نظرة بسيطة على المنحنى R(t) تُظهر أنّ توسّع الكون بدأ من انفجار تبعه تناقص في سرعة الاتّساع.
لنعتبر R(t) المسافة المتوسّطة بين جزيئين و ct تمثّل اشعاع موجة كهرومغناطيسيّة منتجة في وقت t معدوم.

بسرعة ضوئيّة ثابتة نلاحظ أنّ شعاع مجال الأفق يبقى لوقت ما أدنى من المسافة المتوسّطة بين الجزيئات الّتي تتجاهل بعضها البعض تماماً خلال هذه المرحلة

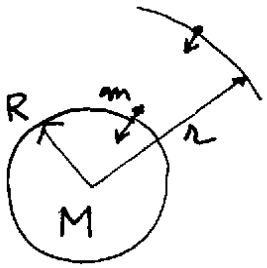


الملحق الثّالث C



لنأخذ نجمة ذات شعاع R وكتلة M بكتلة m على سطحها.

لنفترض أنّ هذا صاروخ , الطّاقة الّتي ينتجها لن تتجاوز mc^2 ما يقابل مثلها من الطّاقة
لنحسب الطّاقة المصروفة لاستخلاص الكتلة m من حقل جاذبيّة النّجم.
القوّة هي $F=-\frac{GMm}{r^2}$ العمل هو $F=-\frac{GMm}{r^2}\,dr$ حيث dr هي تنقّل بسيط



الطّاقة الواجب تزويدها هي $E=-\int dr=$

ستتجاوز هذه الطّاقة الطّاقة القصوى المتوفّرة اذا: $R \quad mc^2$

حساب أكثر دقّة لتناقص الكتلة يعطينا قيمة مفصّلة أكثر $Rs=$

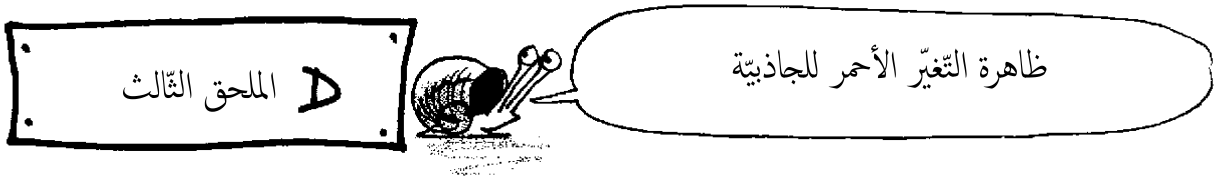
اذا كانت كتلة M محتواة داخل شعاعها الخاص بشوارز شيلد لا يمكن لأيّ شيء الخروج لأنّ الطّاقة اللاّزمة تتعدّى mc^2

طول شعاع شوارز شيلد الشّمسي هو 3,7 كم

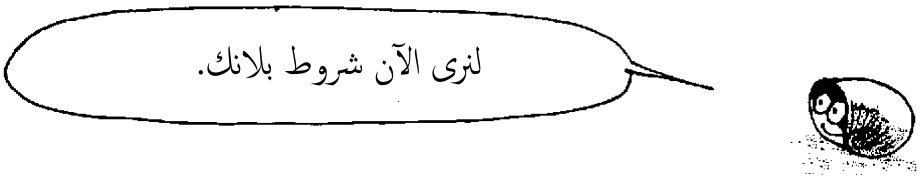
للفوتون طاقة hv

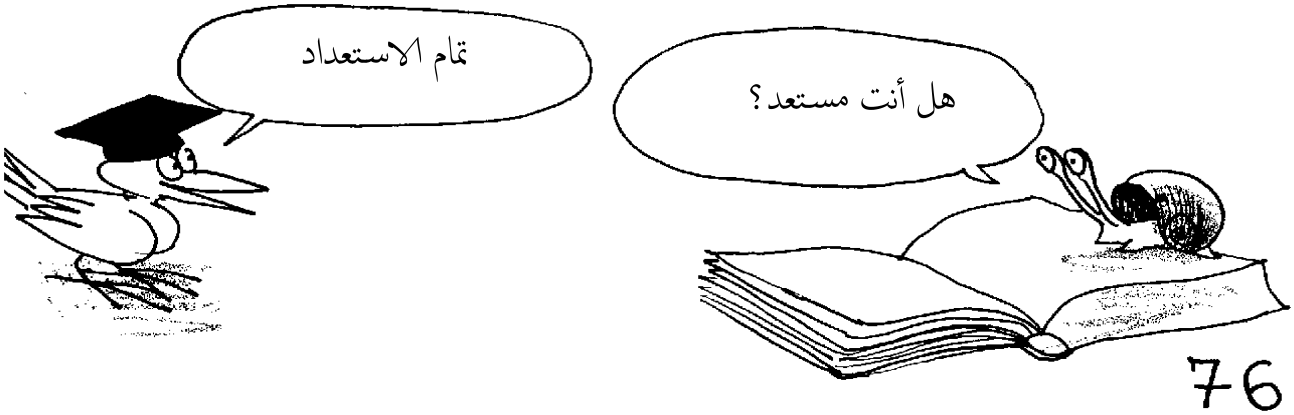
انّه يمثل كميّة من الطّاقة تساوي $\int_R^{\infty} \frac{GMm\varphi}{r^2}\, dr = \frac{GM}{RC^2}\, hv$ = m تمكّننا من حساب طاقة استخلاصها

طاقة فوتون ينجح في الخروج من النّجم هي $E' = hv\,(1-\frac{GM}{Rc^2}) \langle hv$

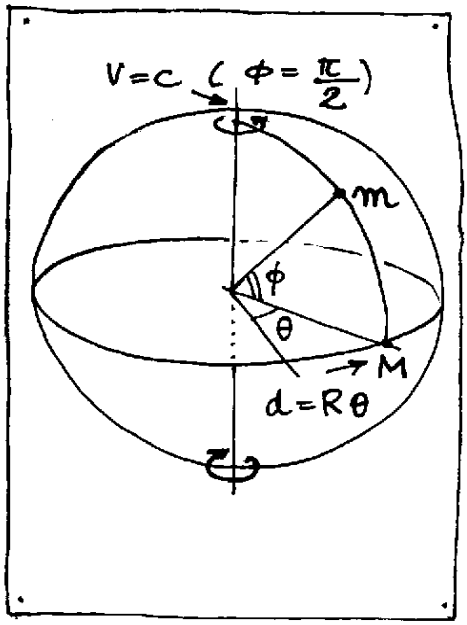


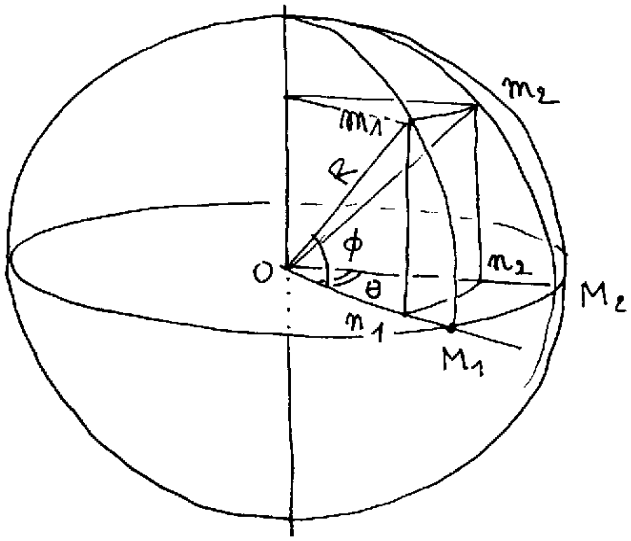
اذا كان $R \langle \frac{GM}{Rc^2}$ فلا يمكن للنّجم ارسال الضّوء بل يصبح ثقباً أسوداً

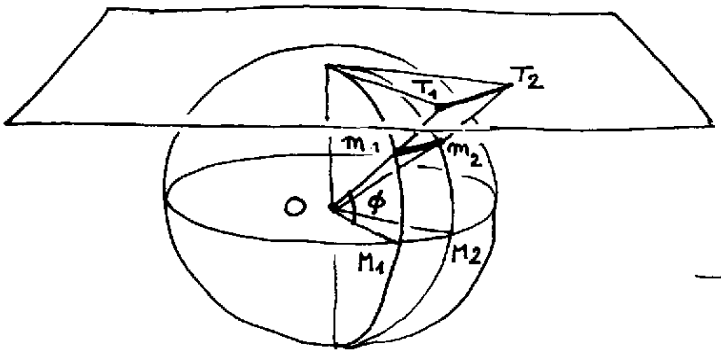


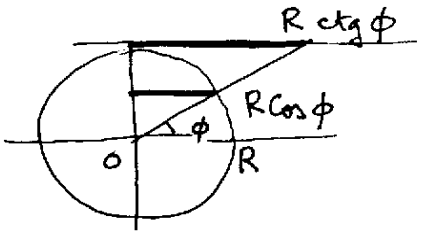


البيانات E


V=C (ϕ = π/2)
m
ϕ
θ
M
d=Rθ


m2
m1
R
ϕ
θ
O
m2
M2
m1
M1


T1
T2
m1
m2
O
ϕ
M1
M2


R ctg ϕ
R Cos ϕ
ϕ
O
R

$$= \frac{\widehat{m_1 m_2}}{\widehat{T_1 T_2}} c$$

$$v = c \frac{R \cos\phi \ \theta}{R \operatorname{cotg}\phi \ \theta} = c \sin\phi$$

ANNEXE F LA SUPER-RELATIVITÉ

$$\chi = -\frac{8\pi G}{c^2}$$

Donc $G \approx c^2$

mc^2

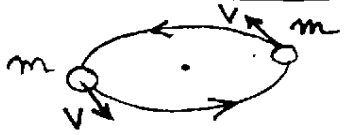
$2\pi R$.

$R \Rightarrow \frac{Gm}{c^2} \approx R$, $mc^2 = cte$:

$\frac{G}{c^2} = cte \Rightarrow \boxed{m \approx R}$

$Rc^2 = cte$

$\boxed{c \approx \frac{1}{\sqrt{R}}}$ $\boxed{G \approx \frac{1}{R}}$



r

$\frac{mV^2}{r}$

$\frac{Gm^2}{4r^2}$

r

R $\frac{Gm^2}{R^2} \approx \frac{mV^2}{R}$

$\boxed{V \approx \frac{1}{\sqrt{R}}}$

$\beta = \frac{V}{C}$

$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

$\frac{h}{mc} \approx R$

$\boxed{h \approx R^{3/2}}$

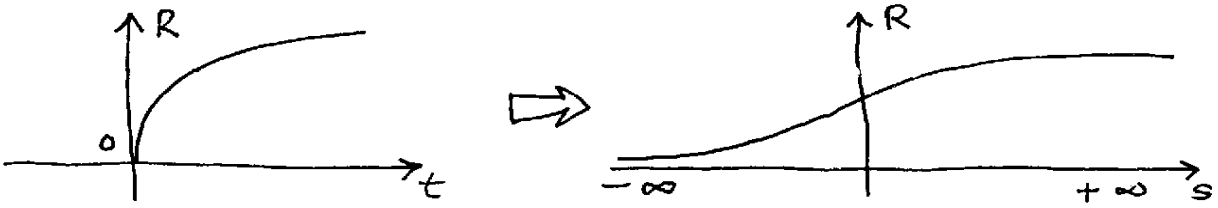
$$\frac{2R''}{R} + \frac{R'^2}{R^2}(2+\beta^2) + \frac{kc^2}{R^2}(1+\beta^2) = 0$$

$V = \beta c$

$R = a t^b$ $\qquad$ $k = -1$ donne

$\boxed{R \approx t^{2/3}} \cdot k^{\beta}$

$H = \int_0^t c(\tau)\, d\tau$ $\qquad$ $H \equiv R(t)$



$\boxed{l \approx t} \Rightarrow \boxed{\nu \approx \frac{1}{t}}$

عجيب أمر الكون أليس كذلك؟
كلّ هذه المعطيات موجودة في الكون.
أتظنّين يا صوفي أنّ مسألة الكون و الوقت ستُحلّ يوما؟
المعطيات العلميّة مهما كانت دقيقة فانّها تظلّ دائماً محدودة عندما يأتي الأمر للوقت و الكون و لكنّ العلماء لن يكّلوا من البحث عن أسرارهما.
كنت متأكّداً من ذلك يا لذكائي الفذّ.
بل يا لتواضعك.
انظروا.

$n =$

$m =$

$T =$

$V =$

$\vec{V} \begin{cases} u \\ v \\ w \end{cases}$

$$f = n\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} e^{\frac{-m(u^2+v^2+w^2)}{2kT}} = n\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} e^{-\frac{mV^2}{2kT}}$$

S

$$S = -k\int_{-\infty}^{+\infty} du \int_{-\infty}^{+\infty} dv \int_{-\infty}^{+\infty} dw\, f \log f = -k\langle \log f \rangle$$

$\langle A \rangle =$

$$\langle \log f \rangle = \log\left(\frac{m}{2\pi k}\right)^{3/2} + \log \frac{n}{T^{3/2}} - \frac{m}{2kT}\langle v^2 \rangle$$

$$\langle v^2 \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} du \int_{-\infty}^{+\infty} dv \int_{-\infty}^{+\infty} dw\, (u^2+v^2+w^2)\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} e^{\frac{-m(u^2+v^2+w^2)}{2kT}} = \frac{2kT}{m}$$

$$S = \underbrace{k\left[\frac{3}{2}\log\left(\frac{2\pi k}{m}\right) + 1\right]} + k \log \frac{T^{3/2}}{n} \sim \log \frac{T^{3/2}}{n}$$

$\langle v \rangle \simeq \sqrt{\langle v^2 \rangle}$

$n \sim \frac{1}{L^3}$ $\quad L$

$T \sim \langle v^2 \rangle \quad \frac{T^{3/2}}{n} \sim \langle v \rangle^3 L^3$