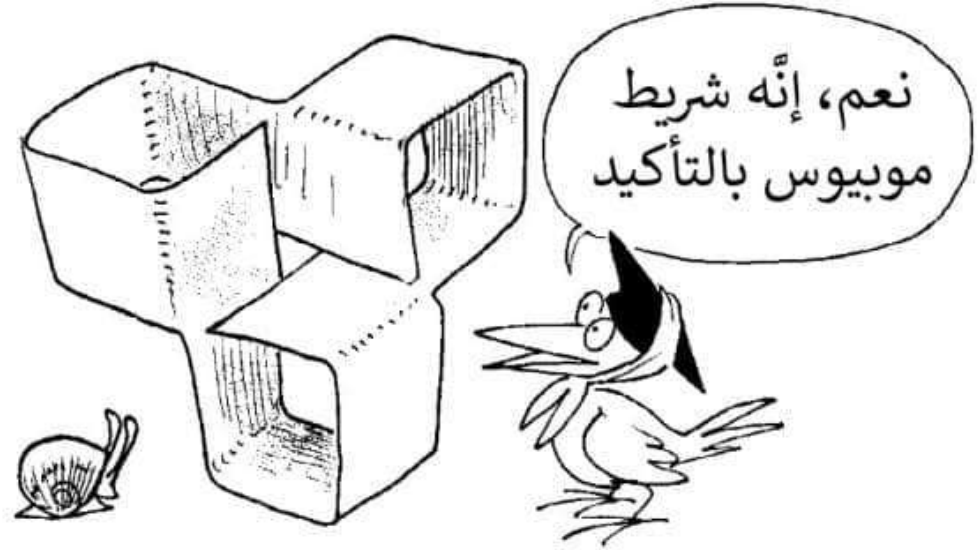


# معرفة بلا حدود Savoir sans frontieres

مغامرات أرشيبالد هيغنز

البُنية الهيكلية للعالم  
(طوبولوجيا العالم)

جان بيار بوتى



نقلها إلى العربية  
م. سامر السراج

# Savoir sans Frontières

## معرفة بلا حدود

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



### جان بيار بيتيت ، رئيس الرابطة

عالم الفيزياء الفلكية، ومدير البحوث السابق في المعهد الوطني للبحث العلمي، ومبتكر نوع فني جديد هو القصة العلمية المصورة. أنشأ عام 2005 مع صديقه جيل دي أغوستيني رابطة "معرفة بلا حدود" التي تهدف إلى نشر المعرفة مجاناً في جميع أنحاء العالم، بما في ذلك المعرفة العلمية والتقنية. وبفضل التبرعات تدفع الرابطة للمترجمين مبلغاً يصل إلى 150 يورو متحملة تكاليف التحويل المصرفي (أرقام عام 2007). يتزايد عدد المترجمين يومياً، وبلغ عدد المجموعات المترجمة في عام 2007 حوالي 200 مجموعة قابلة للتحميل مجاناً، مترجمة إلى 28 لغة بما في ذلك اللغة اللاوسية والراوندية. يمكن إعادة نسخ ملف pdf هذا مجاناً وإعادة إنتاجه كلياً أو جزئياً من قبل المعلمين في دوراتهم بشرط أن لا تكون هذه العمليات ربحية. ويمكن استعمال الملفات في المكتبات العامة والمدارس والجامعات، سواء على شكل مطبوع أو في شبكة الانترنت. يأمل المؤلف باستكمال هذه السلسلة مع مجموعات أبسط تناسب مستوى أعمار 12 عاماً. كما يتم العمل أيضاً على مجموعات ناطقة للأمينين ومجموعات ثنائية اللغة لتعلم اللغات انطلاقاً من اللغة الأم. تبحث الجمعية باستمرار عن مترجمين جدد للغات التي يجب أن تكون لغتهم الأصلية، ويملكون المهارات التقنية التي تجعلهم قادرين على إنتاج ترجمات جيدة لمجموعات القصص.

للتواصل مع الرابطة يمكنكم زيارة موقعها الالكتروني

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

# حدود بلا معرفة

فرنسيان عالمان ويديرها 2005 عام تأسست ربحية غير جمعية من رسمه تم الذي النطاق باستخدام العلمية المعرفة نشر: الهدف تم: 2020 عام في. مجانًا للتنزيل قابلة PDF ملفات خلال عملية 500000 من أكثر مع. لغة 40 في ترجمة 565 تحقيق تنزيل.

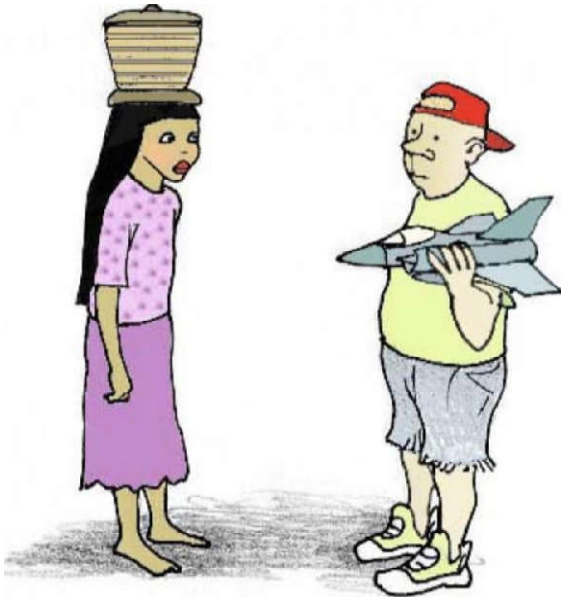


Jean-Pierre Petit

Gilles d'Agostini

بالمال التبرع تم. تماما تطوعية الجمعية للمتربين بالكامل.

زر استخدم ، تبرع لتقديم  
الرئيسية الصفحة في PayPal



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



# تحذير للقارئ

من الأفضل تجنب قراءة هذا الألبوم:

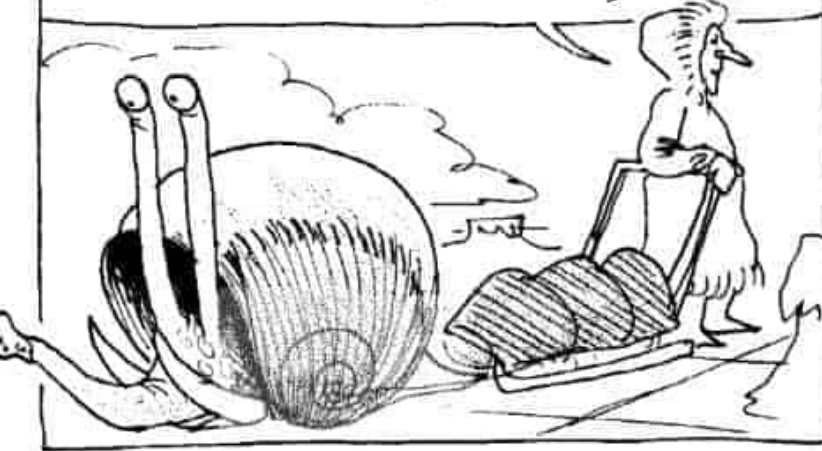
- في المساء قبل الذهاب إلى النوم.
- بعد وجبة طعامٍ دسمةٍ.
- أو عندما لا تكون متأكدًا من شيء، لأنَّ هذا سيجعل الأمور أسوأ.

**المؤلف**

# الكوكب دون قطب جنوبي<sup>١٤</sup>



لا، أنا أستخدم الرخويات الكبيرة، وهي تقاطع قديم  
بين الحلزون والماموث. إنها حيوانات قوية ومدربة  
بشكل خاص لتتبع خطوط الطول.



أوه هذا أمر مختلف ...

ورغم أنني متواضع بشكل  
استثنائي، فأنا أقبل ذلك.

ألن تستخدم  
كلاب الهاسكي؟



يبدو وكأننا نعبّر خط الاستواء بالفعل،  
من الصعب أن نبقى مواكبين له

أوووه ... إنه المجد



ها نحن نمشي إلى أرض  
العجائب الشتائية  
♪ ♪

هيا هيا، سيروا خلفي على خط الطول،  
إنه مستقيم  
نحو الأمام.

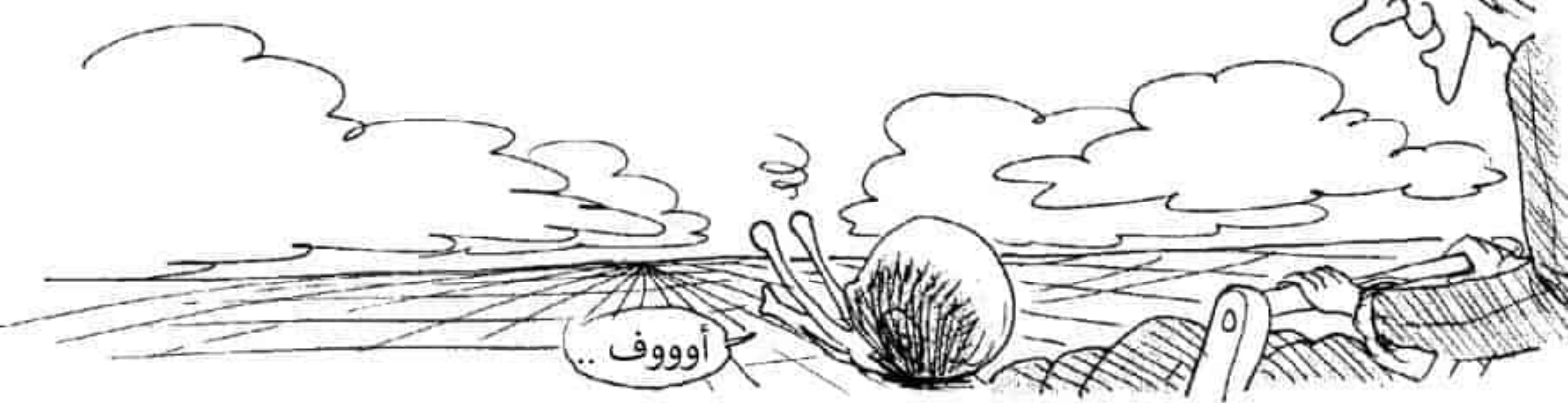
إنني رجل  
قوي حقاً.



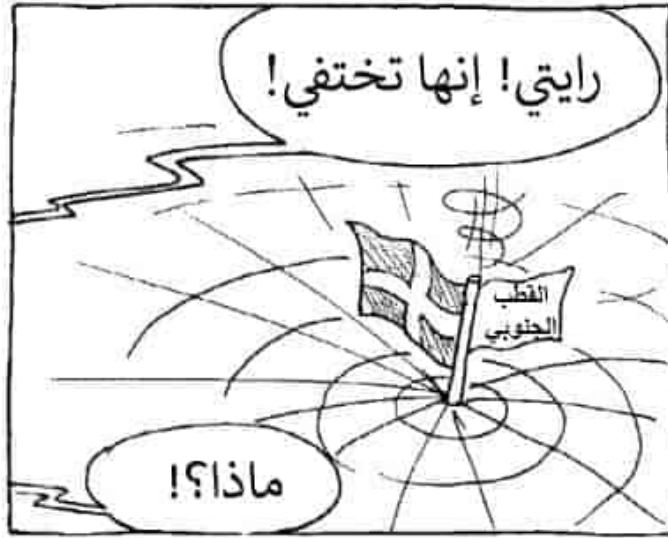
أستطيع رؤية القطب الجنوبي،  
إنه قطبي الجنوبي

هيا ... هيا

أوووف ..







إنه في حالة  
صدمة.

هيا يا سيد أموندسن،  
دعنا نذهب إلى المنزل.





لا يزال يهذي،  
اضطرت أن أربطه.

حسناً؟

تنزلق الرخويات على امتداد خطوط الطول المتجمدة دون صوت.

حدث شيءٌ مدهشٌ أثناء ذهابك. اختفت راييتي  
فجأةً وحلَّت مكانها رايةٌ أخرى مكتوبٌ عليها  
"القطب الجنوبي".

هل عدتَّ  
بالفعل؟



لا، انتظر... هل كانت راية  
"القطب الجنوبي" تبدو كنقطةٍ  
في البداية؟

نعم، لم تسألين  
عن ذلك؟

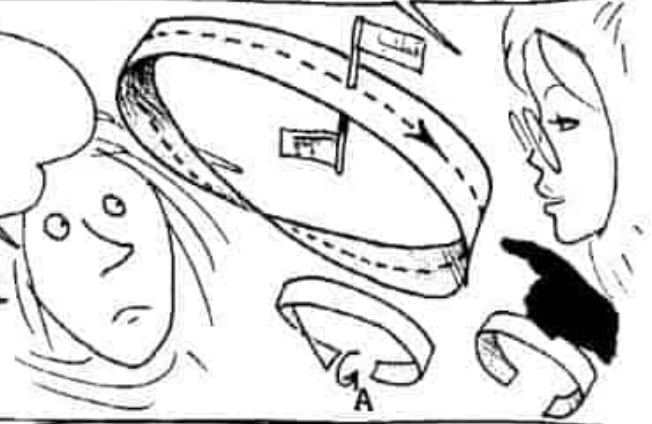
هذا الأمر كله جنونٌ تماماً.

أعتقد أنني بدأتُ  
أستوعب الأمر.

الأمر واضح إذا اعتبرنا المنطقة المجاورة لخط الطول الذي أتبعناه سطحاً  
أحادي الجانب، أو شريط مويبوس (\*) ذو طرفٍ واحدٍ. (للمزيد يمكن الرجوع إلى  
"نظرة نحو إقليدس" الصفحة 54)

هل تقصدان أن القطب الجنوبي حيث كنا في  
وقت سابق لم يكن سوى القطب الشمالي رأساً  
على عقب؟

أين هو القطب الجنوبي الحقيقي إذن؟



وبالتالي ما الذي يحدث؟

الموضوع غريبٌ بعض الشيء.

فقدنا القطب الجنوبي  
على ما يبدو.

أوه، هذا لطيفٌ.



دعونا نفكر..

حسناً، طبقاً لرأي صوفي، نحن موجودون  
على ما يشبه كرة ذات جانبٍ واحدٍ.

ماذا يقولون؟

هذا جنونٌ.

مرحباً، كيف هو الوضع  
حيث تعيش؟



أوه، مشابهٌ حقاً للوضع هنا.

(\*) شريط يتّم لهُ نصف دورة  
قبل أن يلتصق طرفاه، وبالتالي  
يكون له جانبٌ واحدٌ فقط.

حسناً إذا أردنا إخراج السيد أموندسن من وضعه الصَّعب، علينا أولاً أن نفهم شكل هذا الكوكب الغريب. لنستخدم بعض المبادئ الأساسية في علم البنية الهيكلية (الطوبولوجيا). ومن أجل ذلك سنقوم بتحليل كل الأجسام إلى:



## الخلايا التقلصية

يبدو أن هذا الجسم غير القابل للتفكيك هو نقطة..

إنَّ أيَّ جسمٍ، والذي يُعتبر مجموعةً من النُّقاط، يشغل مكاناً معيناً في الفضاء. وهذا الجسم يكون قابلاً للتقلُّص إذا أمكن له أن يتقلَّص ويصبح نقطةً واحدةً، ولكن عن طريق جريانه على ذاته.

ما الذي يمكن أن تفعله بنقطة؟



لنأخذ هذه القطعة المنحنية على سبيل المثال، إنها جسمٌ ذو بعدٍ فراغيٍّ واحدٍ.

نعم، يمكن تحديد موضع نقطةٍ على هذا المنحني باستخدام قيمةٍ واحدةٍ فقط، وهي الإحداثي السِّيني المنحني الأضلاع، أو طول الخط الذي يفصل نقطةً ما عن نقطةٍ أخرى تمَّ اعتبارها نقطة المبدأ.





يمكنني وضع قطعة من المنحني داخل بعض المعكرونة المجوّفة، حيث يمكن أن تتقلّص وتتقلّص في الداخل.

كما هو حال الزئبق في ميزان الحرارة بالضبط.

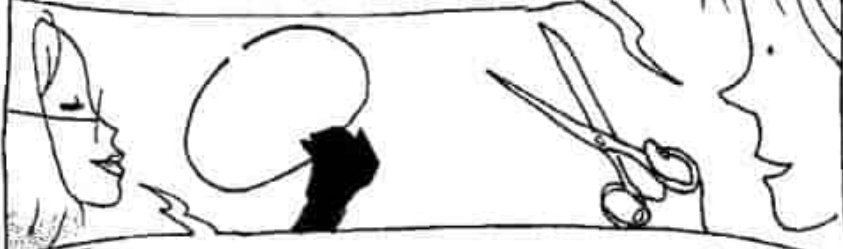


هل كل المنحنيات قابلة للتقلّص إذن؟



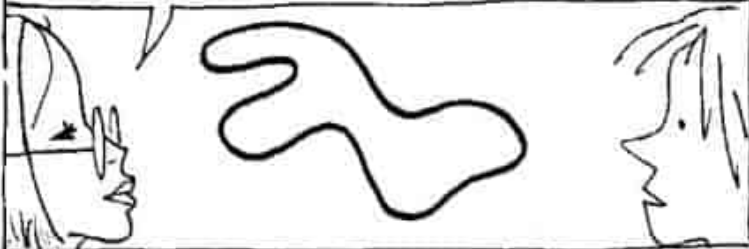
لا، فالمنحنيات المغلقة غير قابلة للتقلّص.

لكننا نحتاج عندئذٍ إلى قطعها فقط!

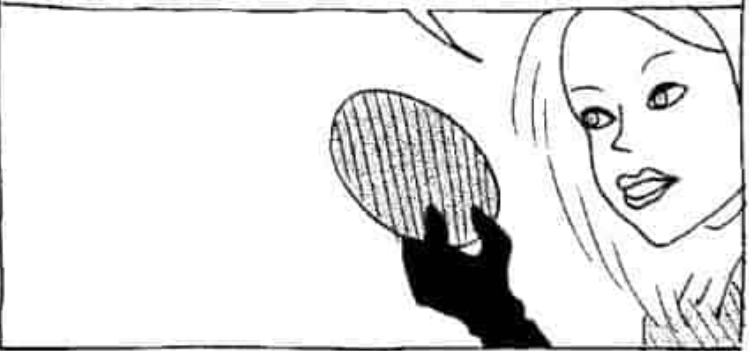


حسناً، ولكن المنحني يصبح حينها قطعة فقط، ولا يعود مغلقاً.

وبالتالي فإن الدائرة غير قابلة للتقلّص، ونفس الشيء ينطبق على المنحنيات المغلقة، سواء كانت مستوية أم لا.



ومع ذلك، فإن القرص، وهو قطعة مسطّحة، قابل للتقلّص.

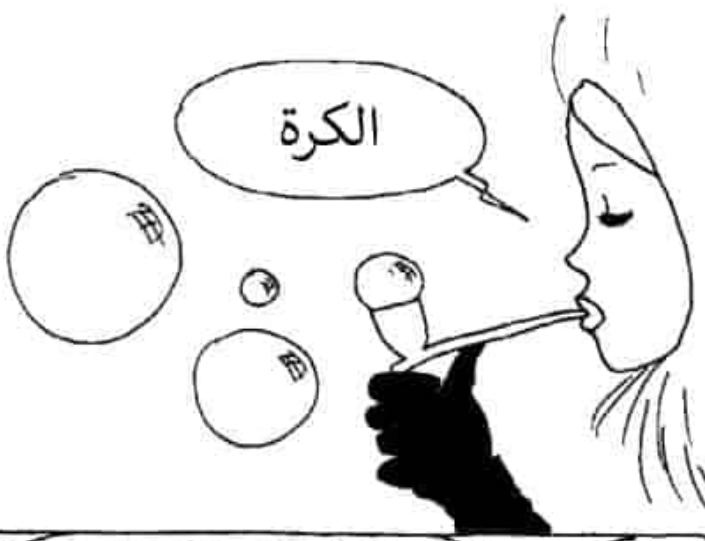


إذا أخذت دائرة على سبيل المثال، هل يمكنني تقليصها بهذا الشكل وفقاً لتلك الفكرة؟ أم لا؟



لا، لايجري الأمر هكذا لأنها لم تعد تمتد على ذاتها؛ بل تتطور خارج المكان الذي كانت تشغله في البداية.

إنَّ القرص قطعة مسطحة، لذلك فهو جسمٌ ثنائي الأبعاد. حسناً، إذن هل الجسم الثنائي الأبعاد بالنسبة للقرص يماثل الدائرة بالنسبة إلى القطعة؟



من أجل تقليص المنحني المنحني المغلق عليك أن تفتته. وينطبق الشيء ذاته على الكرة والأجسام المماثلة للكرة.



آه، ولكن هذه الكرة التي تحوي فتحةً فيها لم تعد سطحاً مغلقاً يدعى كرة. ماذا يُدعى إذن؟

هل هو قرص؟ تماماً ياتيريسياس، بالطريقة نفسها التي تتصرف بها دائرة مقطوعة كأنها قطعة.

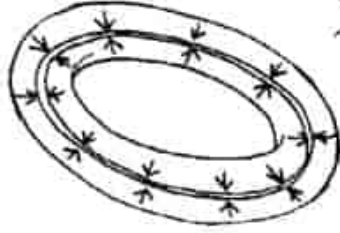


ولكن هل الكتلة الموجودة داخل الكرة، أو البيضة، تُعتبر جسماً قابلاً للتقلُّص يا صوفي؟ ذلك هو السؤال.

بالضبط، سطح الكرة غير قابل للتقلُّص، أمَّا الكتلة الموجودة داخلها فهي قابلةٌ للتقلُّص (\*) وبعبارةٍ أخرى، فقشرة البيض ليست قابلةً للتقلُّص، أمَّا مخُّ البيضة فإنه قابلٌ للتقلُّص.



نعم، يمكنني فهم ذلك، إذا لم أقم بتقطيعه، فإن أكثر ما أستطيع فعله هو تقليصه كدائرة



هل هي من نمط الأشياء التي تُعتبر كتلاً غير قابلةٍ للتقلُّص؟

نعم، "الأجسام الدَّورانيَّة" (\*) على سبيل المثال

مالذي ترمي إليه بالضبط؟

اهتم بشؤونك الخاصة!

وبالتَّالي فإنَّ "الأسطح الدَّورانيَّة" غير قابلةٍ للتقلُّص أيضاً.

لا أدري إن كنت تدرك ذلك تماماً لكنَّ هناك مستكشفاً متصلاً بين أيدينا.

هل تعتقد فعلاً أننا سوف نخرج من هنا عن طريق تقطيع فتات المعكرونة؟

إنَّ مشكلته العصبية ذات منشأ هندسيّ. أعتقد أننا سنجد حلاً لذلك فقط إذا وسَّعنا مفاهيمنا الهندسيَّة نحو أفقٍ أبعد.

كانت كلُّ حياته مكرَّسةً لاكتشاف القطب الجنوبيِّ، وقد استثمر نفسه تماماً في ذلك، سواء على المستوى الشَّخصيِّ أم الاجتماعيِّ.

(\*) أجسامٌ تتشكل بتدوير منحنيٍّ مغلقٍ حول خطٍ يقع في نفس المستوى ولكن لا يتقاطع مع المنحني

جميلٌ جداً، لكنَّ الحلَّ الحقيقيَّ  
الوحيد هو معرفة أين ذهب  
القطب الجنوبيُّ الوامض.



للأسف نعم، فقد ساقه حُظَّة التَّعيس إلى  
مواجهة وضع لا يستطيع التَّعامل معه.

وتحوَّل السؤال فجأةً إلى  
تساؤلٍ صادمٍ عن ذاته.



# التَّفكُّكُ الخليوي

سيتمُّ تفكيك كل جسمٍ هندسيٍّ إلى عناصر، أي خلايا متقلَّصة ذات أبعاد  
من كافَّة القياسات: نقاط، قطع، سطوح، أحجام، الخ .....

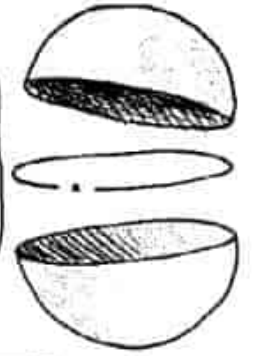
بصورةٍ عامَّةٍ يمكننا القول إنَّ النقطة  
ذات بُعدٍ صفريٍّ.

ما هو البعد الذي  
تملكه النقطة إذن؟

ومن أجل تفكيك دائرة، عليك فقط اعتبارها قطعةً  
مغلقةً على نفسها بواسطة نقطةٍ. وإذا أزلنا النقطة فإنَّ  
القطعة تبقى موجودةً.

هل هو حجم دوراني؟  
حسناً، أنا فقط بحاجة  
إلى قطعه  
بقرص.

يمكن تفكيك "السّطح  
الكروي" إلى قبتين وقطعة  
مغلقة بواسطة نقطة.



وبهذه الطريقة سوف يتفكك  
القطع الدوراني كدائرة.

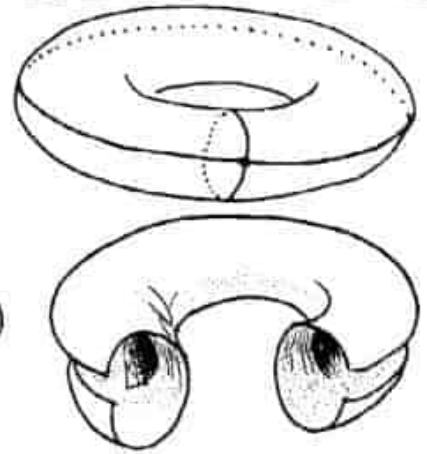


والتي سوف تحتاج بدورها إلى  
التفكيك إلى قطعة ونقطة.

وبالنسبة إلى "السّطح الدّوراني"،  
أقطة بدائرة تمّ قطعها بدورها  
عند نقطة.



ها هو حلّ آخر يتمثل في نقطة واحدة  
وقطعتين ووجه واحد، حيث تكون جميع  
العناصر قابلة للتقلص.



حسناً، ولكن ماذا نستفيد من كلّ ذلك؟

من الواضح أنّه يساعدنا  
في فهم العالم.





# خاصية

## أويلر - بوانكاريه

عند تفكيك الجسم بهذه الطريقة فإننا سوف ننشئ العدد "س" و يساوي عدد النقاط، ناقص عدد القطع، وزائد عدد العناصر المسطحة القابلة للتقلص، و ناقص عدد الحجوم القابلة للتقلص، و ناقص عدد الكميات المتقلصة. وسوف نطلق على هذا العدد "س" (\* ) اسم "خاصية أويلر-بوانكاريه".

وبالنسبة للسطح الكروي  
 $س = 2 + 1 - 1 = 2$

نقطة واحدة، قطعة واحدة، قبتين.



وهكذا فإنه بالنسبة للدائرة  
 $س = 1 - 1 = 0$



نقطة واحدة، قطعة واحدة.

من الواضح أن العدد المميز  
 "للحجم الكروي" هي  $س = 1 - 1$  ، بينما هو  
 للحجم الدوراني  $س = 1 - 1 = 0$

(انظر الرسم في  
 الزاوية العليا  
 اليمنى من  
 الصفحة 14)



دعونا نرى السطح الدوراني: نقطة واحدة وقطعتان وعنصر مسطح واحد  
 $س = 1 + 2 - 1 = 0$

وهذا يعني: نقطة واحدة وقطعتان وعنصر مسطح واحد قابل للتقلص.



(\* ) والتي تتوسع على الفور إلى عدد من الأبعاد أعلى من ثلاثة (وهو مجموع بديل).

أصغوا الآن بانتباه: إن العدد المميّز "س" مستقلٌ في وضعيّة التفكيك  
(في الخلايا القابلة للتقلُّص)!!

على سبيل المثال، تمّ قطع هذا المنحني المغلق إلى ثمانية  
قطع متّصلةٍ بثمانية نقاطٍ، ولكنّ عدده المميّز لا يزال صفراً.

إنّه كذلك بالتأكيد.

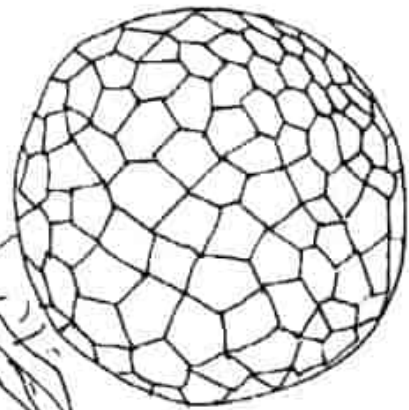
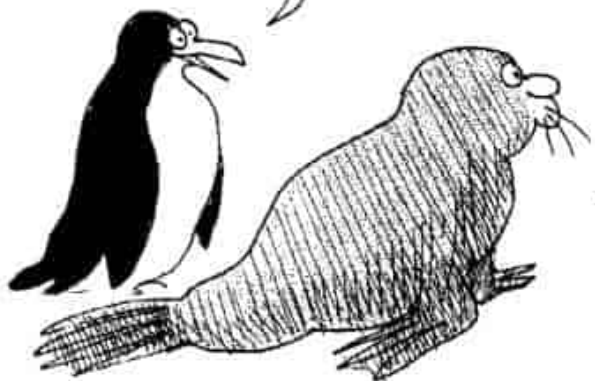
دعونا نتأمّل هذا التفكيك للكرة:  
4 قممٍ، 6 قطعٍ، 4 وجوهٍ،  
وبالتّالي لدينا  $س = 4 + 6 - 4 = 2$

وهنا 8 قممٍ، 12 قطعةٍ،  
6 وجوهٍ، وبالتّالي  
 $س = 6 + 12 - 8 = 2$

يمكنك المحاولة بأي طريقةٍ تريدها،  
وسوف ينتج العدد 2 في النهاية.

إنجازٌ رائعٌ.

شيءٌ مذهلٌ.

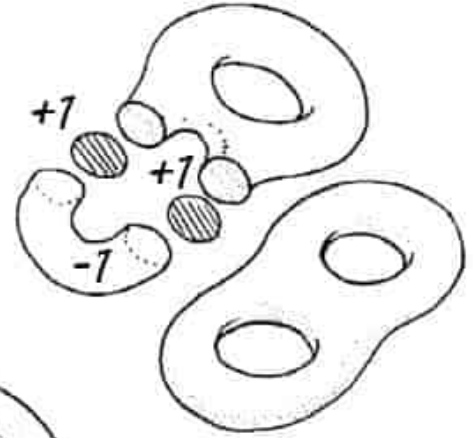


إليكم نظرية مفيدة: إذا كان الجسم ناتجاً عن اتحاد جسمين، فإن عدده المميّز هو مجموع عددي الجسمين اللذين يُشكّلانه.

## الإدارة

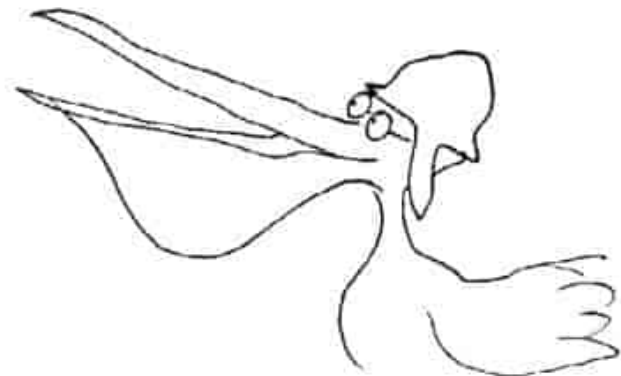
العدد المميّز للحجوم الدّورانيّة يساوي الصّفر.

عند إضافة معاملي  
يتمُّ إضافة وحدةٍ إلى  
العدد المميّز.



وقياساً عليه فإنّ الحجم المماثل لشكل  
الرّغيف الفرنسيّ سيكون عدده المميّز مساوياً  
لعدد الفتحات ناقصاً وحدةً واحدةً.

هل تخميني دقيق أنّ الوضع  
مشابهٌ في حالة السطوح المماثلة  
لشكل الرّغيف الفرنسيّ؟



(\* الرّغيف الفرنسيّ (فوغاس): خبزٌ أساسه الرّيتون  
يُصنع في جنوب فرنسا.

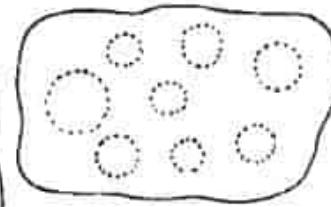
أبداء، فالسُّطوح المماثلة لشكل الرِّغيف الفرنسي لا يمكن أن تتقلص كالقرص بوجود "ن" من الفتحات فيها. ففكر بالمزيد من التعقل.



يمكننا الانتقال من السطح الكروي (ذو العدد المميّز 2) إلى السطح الدوراني (ذو العدد المميّز 0) بإضافة معامل، أي أن المعامل يُنقص العدد المميّز للسطح بمقدار وحدتين.

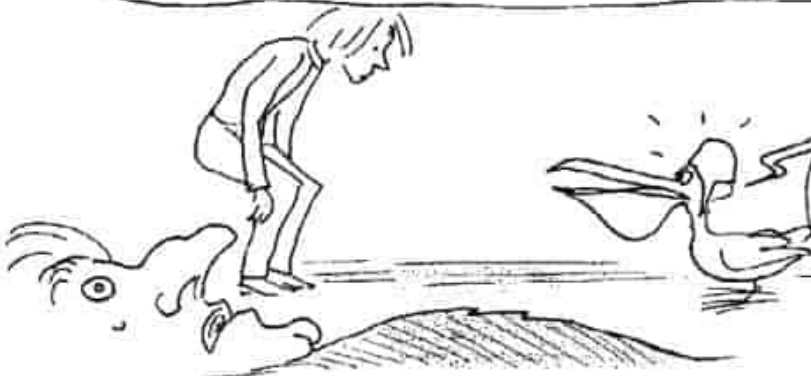
وبالتالي فإن العدد المميّز للسطوح المماثلة لشكل الرِّغيف الفرنسي يساوي 2 ناقصاً ضعف عدد الفتحات.

إن سطح قطعة من جبنة غروير، الذي يحوي "ن" فتحة، يتكوّن من سطوح كروية عددها "ن" زائد السطح الخارجي للكرة. وبالتالي فإن العدد المميّز هو:  $س = 2(ن+1)$



أي أنه لإنشاء حجمٍ مماثل لجبنة غروير علينا أن نبدأ بكرة كاملة (س=1)، ثم نزيل ن التي تمثل الكرة - الحجم + الكرة - السطح (س=1-2+1) وهكذا فإن العدد المميّز للحجم المماثل لجبنة غروير يساوي  $-(ن+1)$

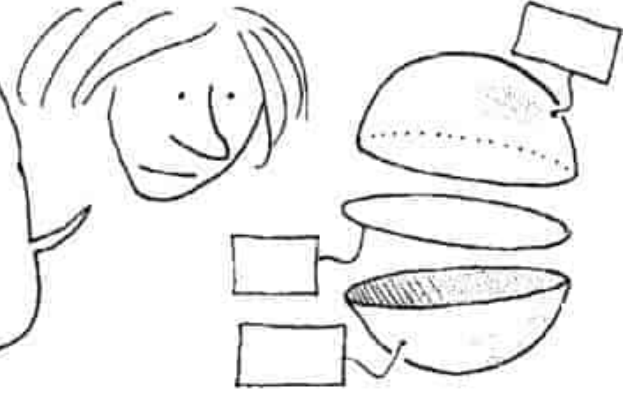
نعم، ولكنك لا تعتقد بالتأكيد أنك ستعالج أموندسن المسكين من صدمته الجيوع عصبية بهذا النوع من الكلام الفارغ.



# العالم الذي

## نعيش فيه

يمكننا حساب العدد المميّز للكرة ث2 من خلال اعتبارها اتحاداً لنصفي كرة وخط استواء، فيكون الناتج  
 $س = 0 + 1 + 1 = 2$



دعونا نحسب العدد المميّز لهذه الكرة الموسّعة ث3. كما رأينا في قصّة "نظرة" نحو إقليدس " فإنّ خط الاستواء (\*) هو كرة ث2 ذات عددٍ مميّز قيمته 2

في القصّة المصوّرة " نظرة" نحو إقليدس " طرحنا مفهوم "الكرة الموسّعة ث3" ذات الأبعاد الثلاثة، وهي حيّز مكانيّ ثلاثيّ الأبعاد مغلق على نفسه بشكلٍ كاملٍ.



هل أنت مجنون؟



وبناءً عليه فإنّ كرتنا الموسّعة ث3 مؤلّفة من حجمين قابلين للتقلّص، قيمة كلّ منهما 1-  
 $س = 0 = 2 + 1 - 1 =$

$س = 0 = 2 + 1 - 1 =$

\* الذي يفصل الجسم إلى عنصرين متشابهين.



وبالتالي فإنّ العدد المميّز للكرة الموسّعة ث3 هو صفر.

حسناً، دعونا ننتقل إلى الكرة الموسّعة ث4، ذات الأبعاد الأربعة.



وهي حيّز مكانيّ على شكل كرة موسّعة ث3 تتطور دورانياً في الزّمن (\*) وهذه الكرة الموسّعة ث4 لها خط استواءٍ هو كرة موسّعة ث3 ولها نصفاً كرة، وقيمة كلٍّ منهما 1

إذن فالعدد المميّز "س" في هذا الزّمكان للكرة الموسّعة ث4 سوف يكون من جديد:  $2=0+1+1$

إذا أخذنا كرة موسّعة ث5 ذات خمسة أبعاد فإنّ عددها المميّز سوف يكون صفراً من جديد، وخط الاستواء فيها سيكون كرة موسّعة ث4

وهكذا فإنّ العدد المميّز (خاصية أويلر- بونكاريه) لكرة موسّعة ث ن هو 2 إذا كانت ن عدداً زوجياً، و 0 إذا كانت ن عدداً فردياً.

أوو، إذا استمرّ ذلك فإنني قد أفعل مثل أموندسن.



(\*) للمزيد انظر "الانفجار العظيم"، وأيضاً "أنماط فريدمان"



وهكذا فإنَّ خاصيَّة أويلر - بوانكاريه  
ساعدتنا على إضفاء شيءٍ من النِّظام  
وسط غابة الأجسام الهندسيَّة.

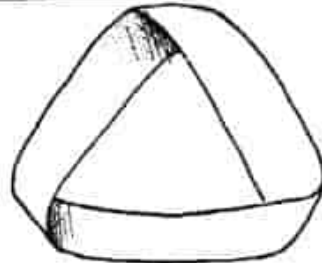
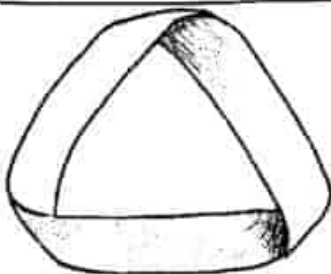
وبالتَّالي فإنَّ نهاية الأسطوانة متطابقةً طبولوجياً  
مع قرصٍ يحوي فتحةً داخله، وعدده المميِّز قيمته صفر.



ولكن ما رأيك في  
هذا الجسم؟

إنَّه شريط موبيوس أحاديُّ الجانب. وطالما  
أنَّه لايمكننا تحديد وجهٍ أو ظهرٍ له فإنَّنا  
ندعوه "غير قابلٍ للتَّوجيه".

وفي الواقع فإنَّ شريطٍ ذو عددٍ فرديٍّ من أنصاف  
الدُّورات هو شريط موبيوس وغير قابلٍ للتَّوجيه.  
ولكن هذين الشريطين يبدوان مختلفين نوعاً ما ...



لا يتم تدويرهما في نفس الاتجاه.  
وفي الواقع فإن أحدهما هو  
انعكاس للآخر في المرآة؛ لذلك  
نقول إنهما انعكاسيان.

مهما كانت طريقي في التدوير  
فإنني لا أتمكن من جعلهما على  
الوضع ذاته.



وذلك يماثل كون يدي اليسرى هي  
صورة مرآة ليدي اليمنى.

إن جميع هذه الشرائط، والتي يمكن أن تنكمش  
وفق منحني مغلق، لها عدد مميز يساوي 0

وبالطبع فإن الأماكن غير القابلة للتوجيه  
ذات الأبعاد "ن" موجودة أيضاً.  
(\* )

إن شريط موبايوس عبارة عن سطح غير قابل  
للتوجيه وهو سطح دون حافة. هل تكون هذه  
الأشياء، مثل السطوح سطح غير القابلة للتوجيه  
والتي ليس لها حافة، مغلقة على نفسها؟

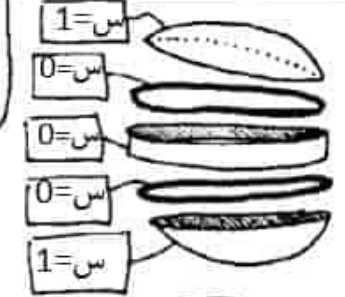
الإجابة في الفصل القادم.



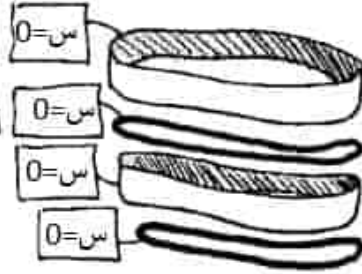
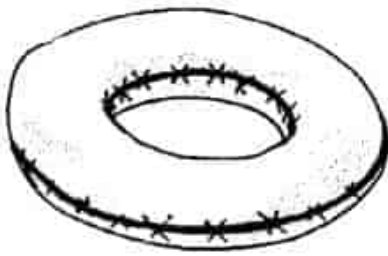
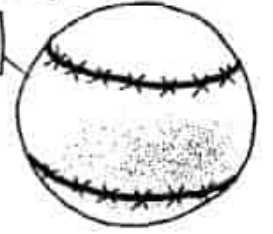
# الطَّرْف على الطَّرْف

إنَّ أيَّ منحني مغلقٍ (قابل للتفكك إلى قطعةٍ ونقطةٍ) تبلغ قيمة عدده المميِّز صفراً. هل الأمر نفسه بالنسبة للشُّريحة؟ سواءً كانت ثنائيَّة الحافة أو أحاديَّة الحافة، حيث يمكن أن يتمَّ تقليصها طبقاً لمنحني مغلقٍ (راجع النَّظرية في الصَّفحة 17).

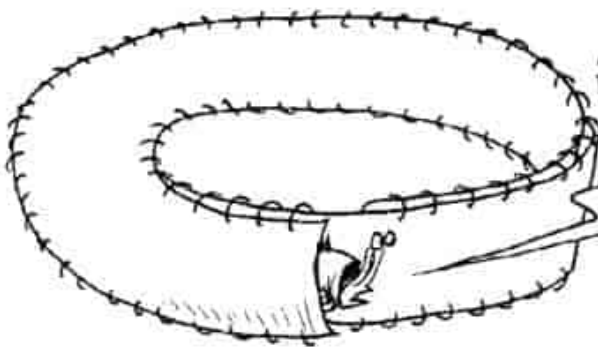
فعندما نقوم بإغلاق شريطٍ ثنائيِّ الحافة بواسطة قرصين على طول منحنيين مغلقين، نكون قمنا بإنشاء سطحٍ كرويٍّ ث 2 (ذو بُعدين).



ويمكننا أيضاً تثبيت شريطين ثنائيي الحافة فوق بعضهما، على طول منحنيين مغلقين، فنحصل على سطحٍ دورانيٍّ ث 2



لذا يمكنني بشكلٍ طبيعيٍّ تثبيت شريطي مويوس على طول منحني مغلقٍ واحدٍ فحسب.



مهلاً هذا وضع محكم



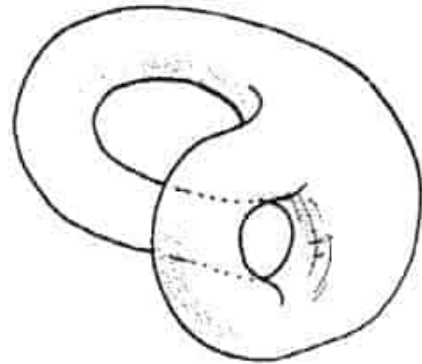
الأجسام المتبدلة؟!

علينا استخدام بعض "الأجسام المتبدلة" (\*)

(\*) يتمُّ الحصول على الأجسام المتبدلة 23 من صدقة الهوموموليس.



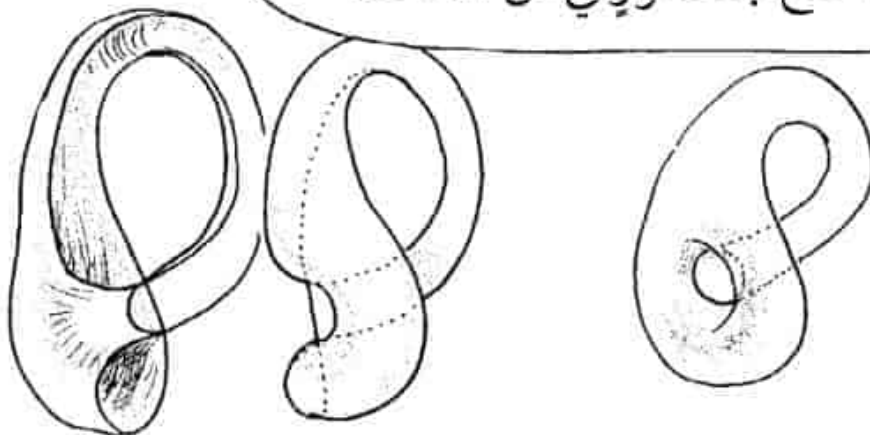
إذا قمنا بتشكيل جسمٍ تبادليٍّ على سطحٍ صَدْفَةٍ فإنَّها تبدأ في النُّمو،  
وفق حافَّتِها، وتنحو إلى تشكيل سطحٍ مغلقٍ، ولكن تسمح لهذا  
السُّطح بالعبور خلال ذاته؟

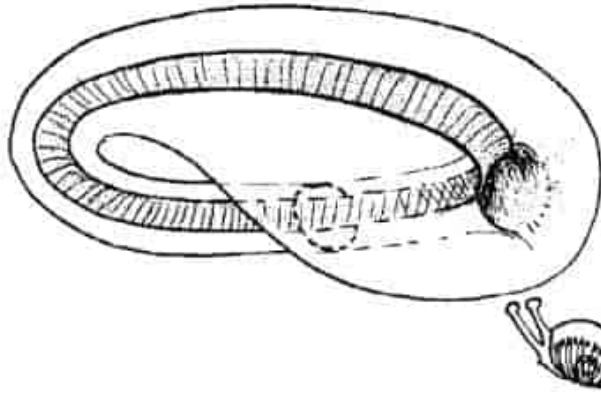


اختفت الحافة ولكن  
ما هذا الشيء الدائري؟

إنَّه المنحني ذاتي التَّقاطع، والذي ليس بحافةٍ.  
يمكنك التَّحقق من ذلك بواسطة قارورة كلاين هذه،  
حيث يتطور السُّطح باستمرارٍ في كل الأنحاء.

مقطعان  
متقاطعان





إنَّ عددِها المميّز هو الصّفر لأنّها مؤلّفة من شريطي موبيوس (س=0) ومن سطح مغلق (س=0). وليس من السّهل علينا أن نجد طريقنا حول أحدها.

وإذا وجدت شريط موبيوس على سطح ما، فهذا يعني بالطبع أنّ له جانباً واحداً.



لا تبدأ أنتما الاثنان.

أخبرني يا تيريسياس، ألم تتمكن من إيجاد شريط موبيوس على مكانٍ ما من قوقعتك؟

إيه..!

إنّه سطحٌ غريب كلياً بكافة الجوانب.

لقد لامسنا حتى الآن فقط الأسطح التي لا تقطع بعضها البعض في حالتها الطبيعيّة، مثل الكرة. أما الأسطح التي تقطع بعضها البعض في عالمنا فندعوها "الأجسام الغامرة".

الأجسام الغامرة؟



# الأسطح الغاطسة

## والأسطح الغامرة



إن أيّ منحنٍ مغلقٍ، وبعبارة أخرى ذو هندسةٍ أحاديّة البعد، إذا لم يتعرض لحوادثٍ على الطريق، وإذا لم يكن لعدده المميّز الوحيد أيّ بدايةٍ أو أيّ نهايةٍ، فإنه بالإمكان توضعُه على سطحٍ مستويٍّ وفق عددٍ غير محدودٍ من الطُّرق.

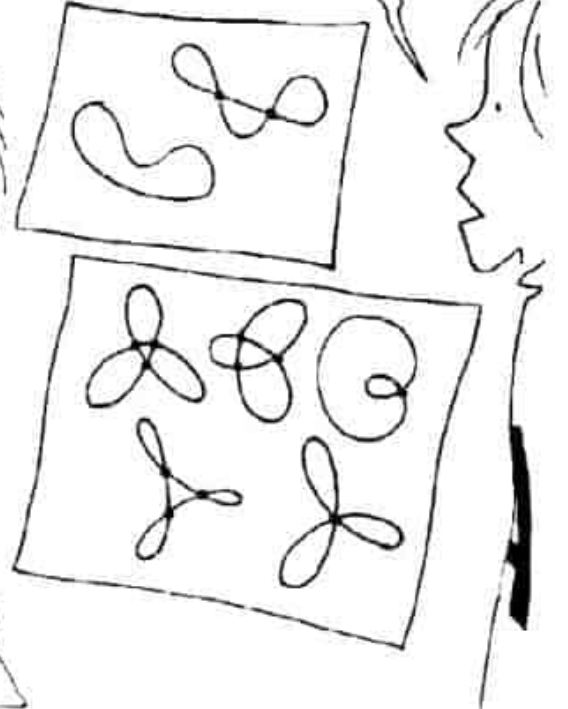
عندما لا يقطع نفسه،  
أقول إنّه تمّ "تغطيسه"  
في المستوي، وإلّا  
سأقول إنّه تمّ "غمره"  
في المستوي. (\*)

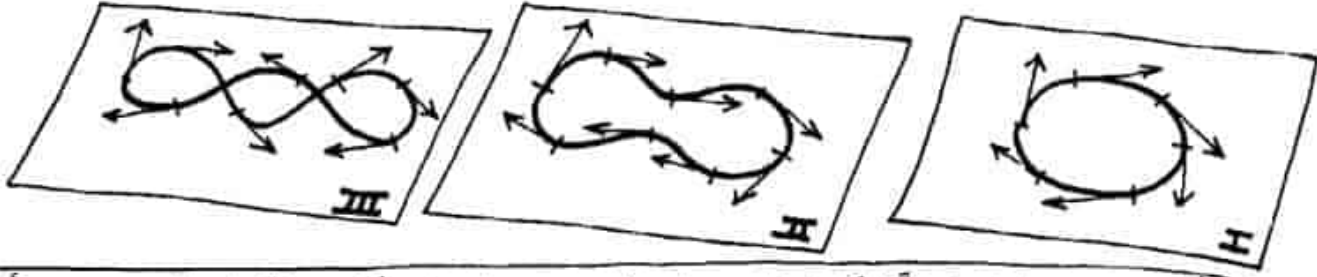


لقد افترضتُ أنّه يمكن تمييزهم بعدد  
النُّقاط المتقاطعة.

لا، لأنني إذا أعدتُ تشكيل هذه  
المنحنيات باستمرار، فإنه يمكنني  
جعل "أزواج النُّقاط" تظهر  
وتختفي. ولكنّ الذي يبقى على حاله  
هو عدد الدورات.

انظروا، لقد أبقيتُ  
سهم القوّة مماساً  
للمنحني.





يمكنني، عبر إعادة التّشكيل المنتظم (دون خطوط مكسورة) في المستوي، أن أنتقل من المنحني الأول إلى المنحني الثالث. ومن خلال ذلك يكون لدينا الدّوران الكليّ للسّهم (360 درجة) عند عبور كل منحني.

إنّها "توافقية منتظمة" في المستوي. وهي تبقى عدد دورانات السّهم مماسةً للمنحني.

حسناً، لقد جرّبتُ كلَّ شيءٍ ولكنني لا أستطيع تغيير هذه الثمانية إلى دائرة.

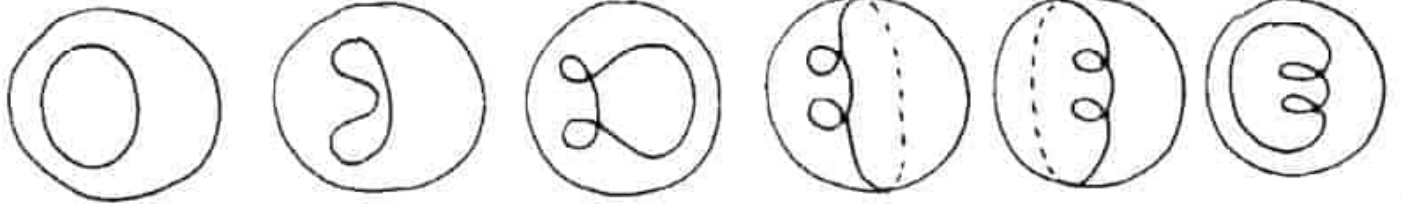
هذا أمرٌ طبيعيّ. فالسّهم لا يقوم بنفس عدد مرّات الدّوران. فالمجموع الجبريّ عند "الثمانية" قيمته صفر.

انطلاقاً من هذه القاعدة الخاصّة بإعادة تشكيل المنحنيات المغلقة في سطح ما (الاستمرارية، الانتظام)، فإنّ بعض الأشياء ممكنةٌ وبعضها الآخر مستحيلٌ دوماً.

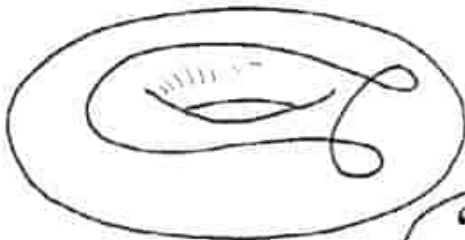
الأمر ليس بتلك البساطة!

يعتمد ذلك على الحيز المكاني  
المستخدم لتمثيل الكائن.  
لننظر إلى هذا المنحنى على  
سبيل المثال. لا توجد وسيلة  
للتخلص من النقطتين  
المزدوجتين على المستوي.

ولكن على  
"الكرة" ...



لذا فإن بعض الأشياء التي تبدو مستحيلة في مثل هذا المكان التمثيلي  
(المستوي في هذه الحالة) تصبح ممكنة عند تغيير هذا المكان، وفق  
طوبولوجيا مختلفة. والعكس بالعكس.



يتم التراجع عن الانحناء بسهولة في هذا المستوى،  
ولكن لا يمكنك القيام بذلك إذا تم تمثيله على  
جسمٍ دوراني.

ولكنها، في الزمكان الذي نعرفه، أشياء  
ممكنة بالتأكيد أو مستحيلة بالتأكيد،  
أليس كذلك يا تيريسياس؟

إنه أمرٌ مثيرٌ  
للقلق ...

نحن نعيش ضمن الأشياء  
الظاهرة فقط ... وحتى ...

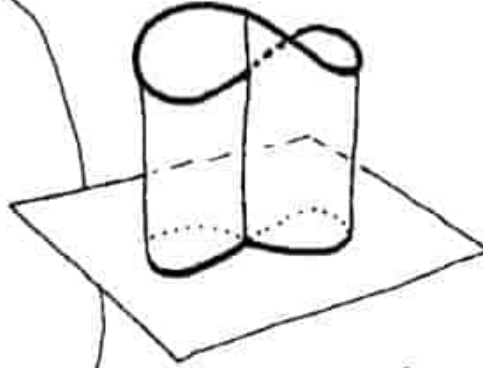


هل تعرف طوبولوجيا الزمكان  
الذي نعيش فيه؟



مممم ... لا

في الأساس هناك  
كائن واحد فقط  
في كل هذا:  
المنحنى المغلق  
عديم الأبعاد.



إن نقاط تقاطع المنحنى  
المغلق تُرْفَع فقط من خلال  
حالة تمثيلها على السطح.  
فالصورة ثنائية الأبعاد هي  
مجرد إسقاط.



لذا أستطيع عن طريق تغيير  
المكان التمثيلي أن أفعل أي شيء.  
هل أستطيع تغيير قارورة كلاين  
إلى كرة على سبيل المثال؟

لا تقطع قارورة كلاين  
عبر ذاتها أبداً في المكان  
الممثل بأربعة أبعاد.



لا، فهناك خاصيات تبقى "مستقلة عن المكان التمثيلي".

# الطوبولوجيا (أو علم البنية الهيكلية)

بالنسبة للأجسام ذات البعد الواحد ينتهي الحال بها جميعاً إلى: "ينبغي أن يكون المنحني إمّا مفتوحاً وإمّا مغلقاً".

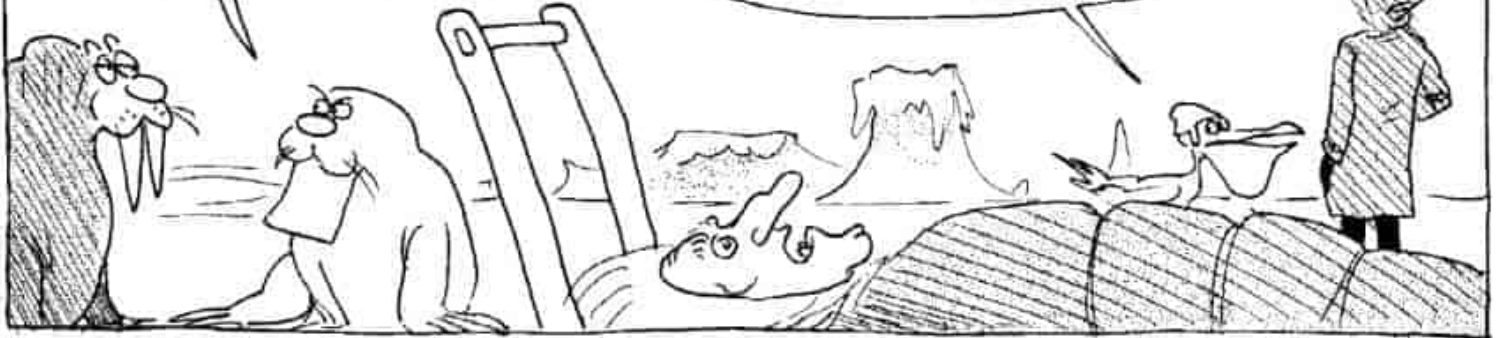
مثل عدد أويلر - بوانكاريه المميّز وقابلية التّوجيه والإنغلاق.



صدمة جيوعصبية؟ لا، أنا أشخصها صدمة طوبوعصبية.

كيف أصبح أموندسن إذن؟

لأجدد، مازال على حاله.



إن بُنيتنا العقلية ومنطقنا وتصوُّرنا للعالم تركز على أسس هندسيّة، وتلك أسسٌ يمكن أن تنزاح في أيّة لحظة.



إذا لم نتمكن من إعادة الحدّ الأدنى من التماسك إلى رؤية صديقنا للأشياء، فإنّه سوف يستمرُّ في رفضه للعالم المحسوس.



# نَسجُ السَّلَالِ

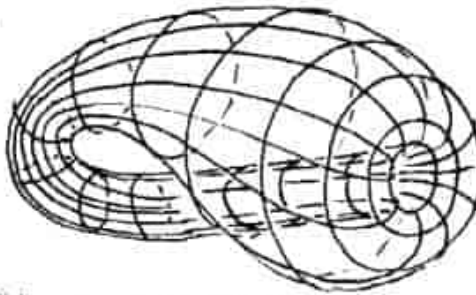
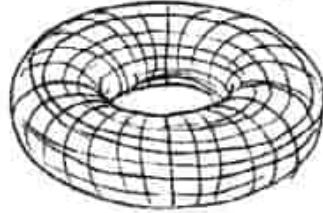
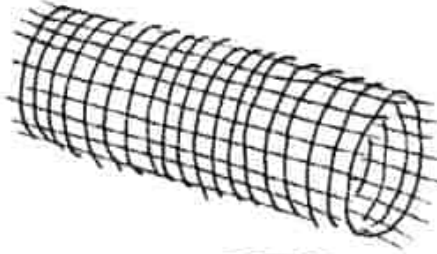
لقد وجدتُ طريقةً جيّدةً أخرى لتمثيل الأسطح:  
نَسجُ السَّلَالِ.

حسناً من الواضح  
أنّ هذه أسطوانة.



وجسمٌ دورانيٌّ

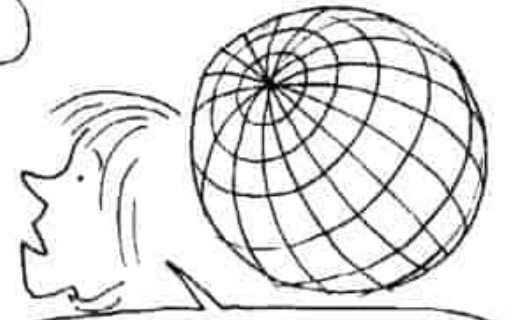
قارورة كلاين



ممم، ليس من  
السّهّل إنشاء كرة.



بالنسبة إلى الكرة عليك تقديم قطبين.



لكنني لا أفهم ذلك؛ إذ  
لم أكن بحاجة إليهما من  
أجل الأجسام الدورانيّة  
أو قارورة كلاين.

إنّ عدد أويلر - بوانكاريه المميّز يعطيك عدد الأقطاب  
التي تلزمك لتنسج سطحك. وقيّمته في حالة الأجسام  
الدورانيّة أو قارورة كلاين هي الصّفر. أمّا قيمته في حالة الكرة  
فهي 2.

مالم نجانب الصواب فإن الكون  
وفق نموذج فريدمان الدوري (\*)  
هو كرة موسعة ث 4. وهكذا يمكنني  
أن أرصف مكاناً ثلاثي الأبعاد  
باستخدام هياكل مكعبة. ولكن ماذا  
بالنسبة لمكان رباعي الأبعاد؟

يمكن تعميم هذا المفهوم طبعاً نحو  
"الوجه الموسعة"، أي مكان ذو أبعادٍ  
قيمتها 3 و 4 .... و "ن"



مكعبات موسعة؟  
حقاً ...



يمكنك ببساطة أن ترصفه  
بمكعبات موسعة

ولكن، دعونا نرى ... إن العدد المميز  
لكرة موسعة ث 4 هو 2. لذا فإن  
الزمكان الذي نعرفه ينبغي أن يظهر  
نمطاً واحداً على الأقل من "النقطة  
المنفردة"، هل هي قطب مثلاً؟

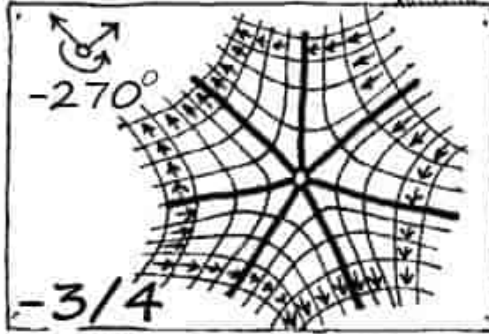
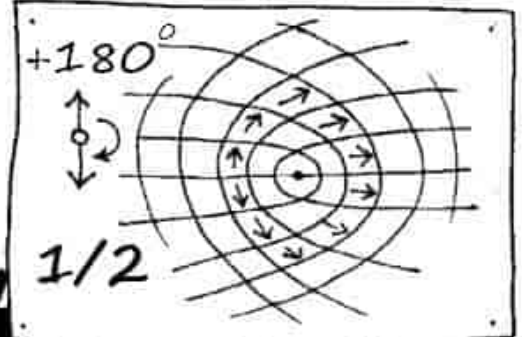
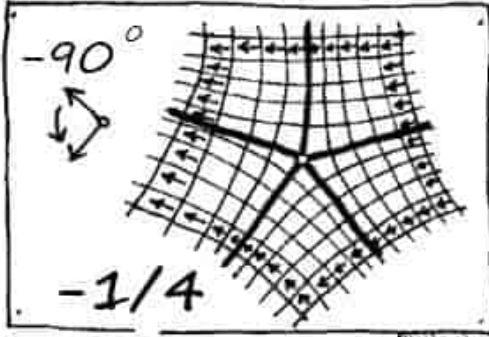
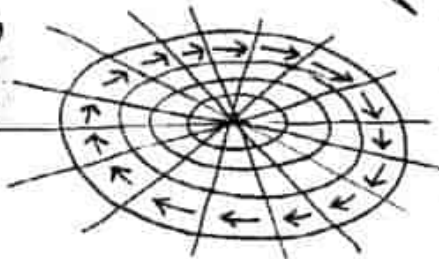
والانفجار العظيم،  
(\*) ماهو بالتالي؟

هكذا سمحت لنا الاعتبارات الهندسية  
البحثة بإدراك واحدٍ من أكثر الجوانب  
الرائعة لتاريخ العالم، والتي اكتشفت في  
نفس الوقت مع توسع الكون.

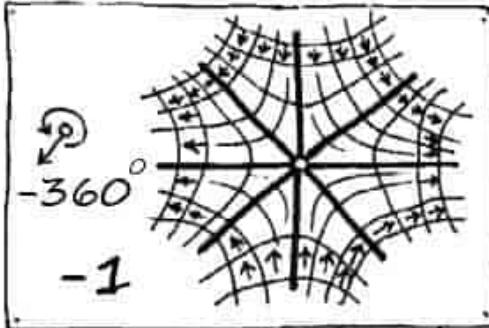
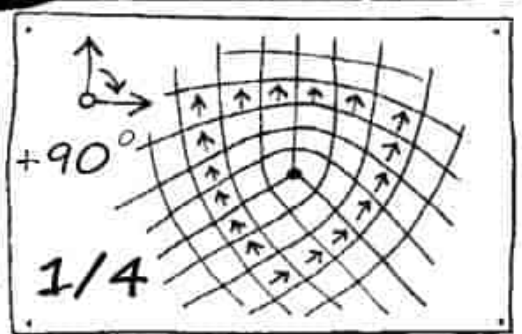
# النُّقَاطُ الْمَنْفَرْدَةُ

إنَّ ترتيب النُّقطة المنفردة الخاصَّة بالنَّسج يساوي زاوية اتِّجاه السَّهم، سواءً كانت موجبة أم سالبة، مقسومةً على 360 درجة (  $2\pi$  )

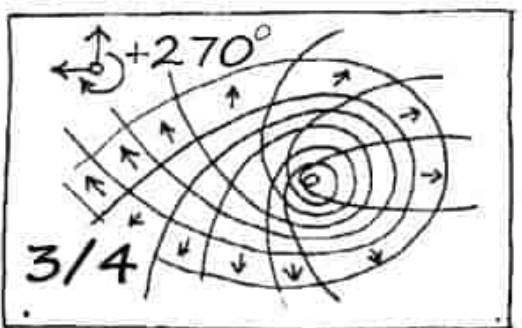
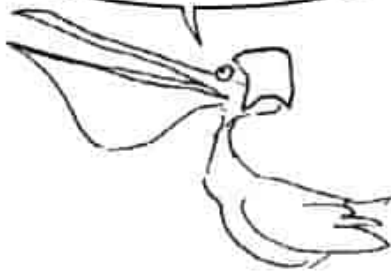
القطب هو 1



لدينا هنا: على اليسار النُّقَاطُ المنفردة ذات التَّرتيب الموجب، وعلى اليمين النُّقَاطُ المنفردة ذات التَّرتيب السَّالب



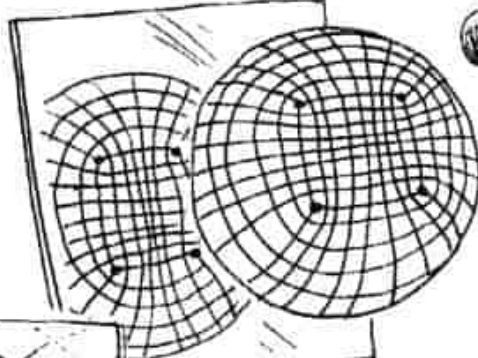
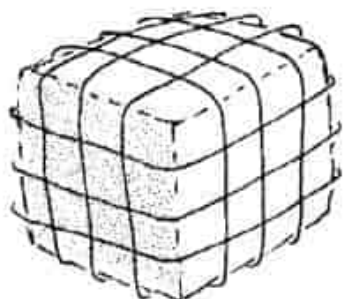
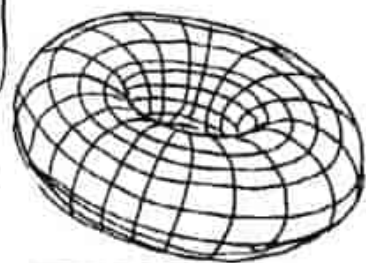
ماهي الفكرة من ذلك؟



إذا نسجت سطحاً مغلقاً، فستحصل في النهاية على نقاطٍ منفردة. وسيكون عدد أويلر-بوانكاريه المميِّز مساوياً للمجموع الجبري لتراتب النُّقَاطُ المنفردة.



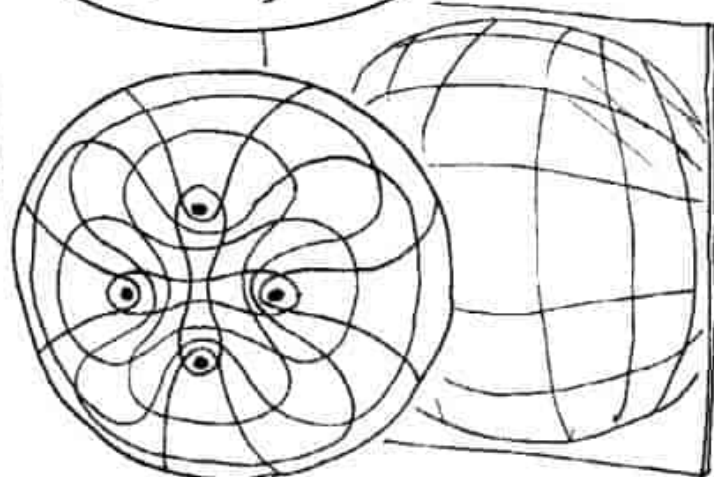
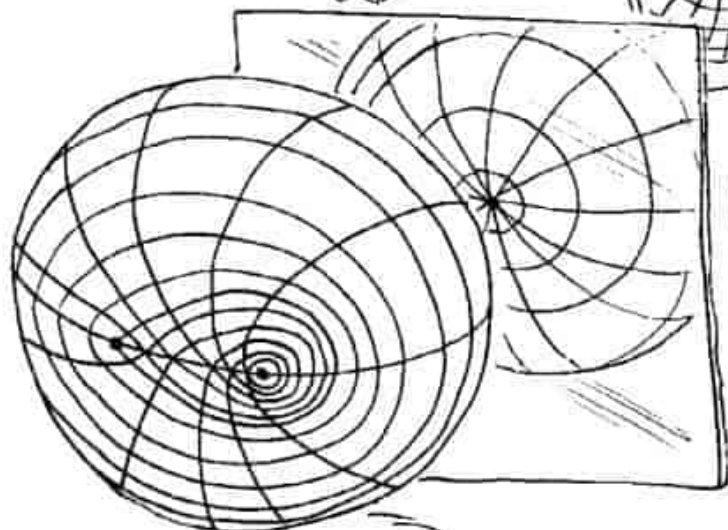
لقد أمكنني نسج جسمٍ دورانيٍّ دون نقطةٍ منفردةٍ. وهذا أمرٌ طبيعيٌّ فعدد أويلر-بوانكاريه المميّز الخاص به يساوي الصّفر.



وهاهي كرة ذات شبكةٍ  
أنجزت باستخدام ثماني  
نقاطٍ منفردةٍ ترتيبها  $\frac{1}{4}$



أو باستخدام نقطةٍ  
منفردةٍ قيمتها  $\frac{3}{4}$  وترتيبها  $\frac{1}{4}$   
وقطبٍ واحدٍ ...



أو باستخدام أربع نقاطٍ منفردةٍ ترتيبها  $\frac{1}{2}$



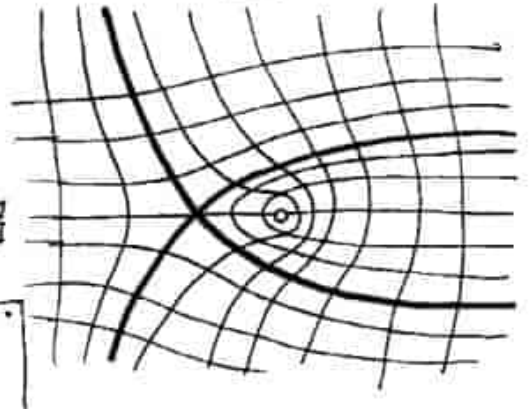
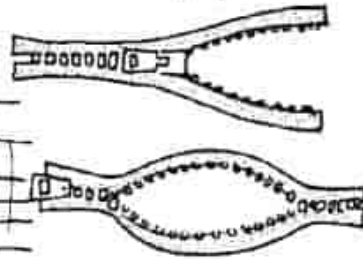
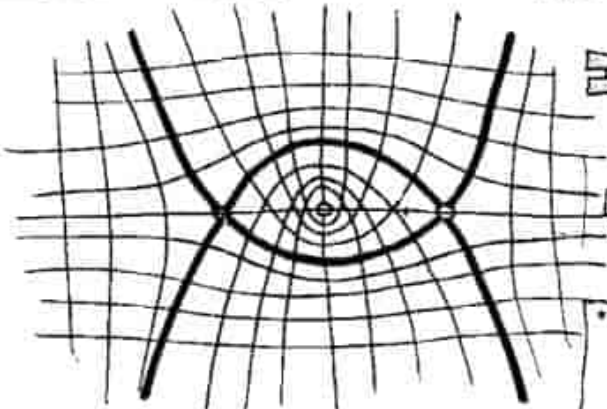
ملاحظة:

أولئك الذين قرأوا القصة المصوّرة "الانفجار العظيم"، الصفحات من 14 إلى 36، لابد أنهم لاحظوا التشابه بين رسوم النقاط المنفردة الشبكية وبين الرسوم الخاصة بالمخاريط الموجبة والمخاريط السالبة والمنحني. إن كافة هذه الأفكار وبشكل أساسي الزاوية مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالانحناء الكلي للسطح، ممثلاً في مكاننا ثلاثي الأبعاد، والذي يساوي تماماً عدد أويلر-بوانكاريه المميّز مضروباً بـ 360 درجة أو  $2\pi$

من المؤسف أن مثل هذه الأشياء عديمة الفائدة،  
مثل اللغة اليونانية واللغة اللاتينية.

أين؟

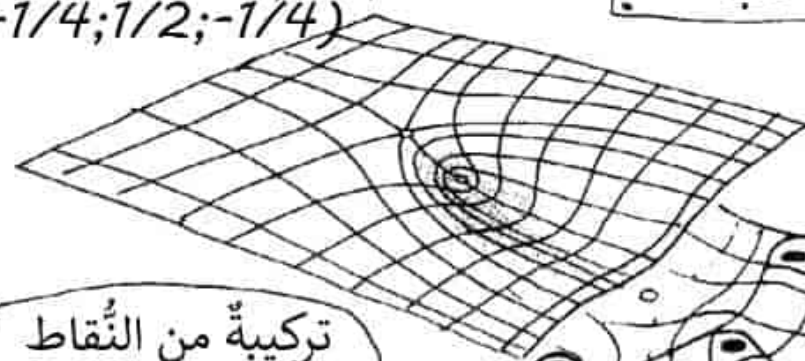
ليس على الإطلاق  
يالليون! هناك الكثير  
من النقاط المنفردة في  
الطبيعة.



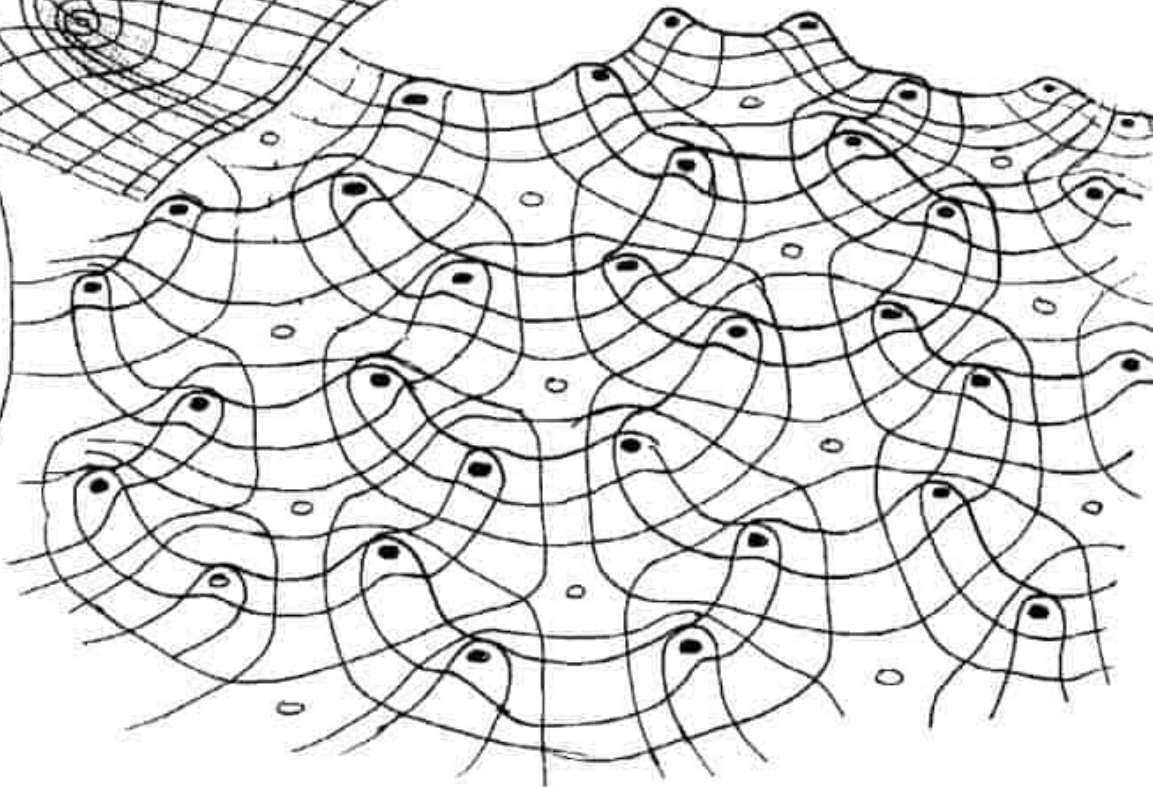
فتح مشبك  
السحاب

$(-1/4; 1/2; -1/4)$

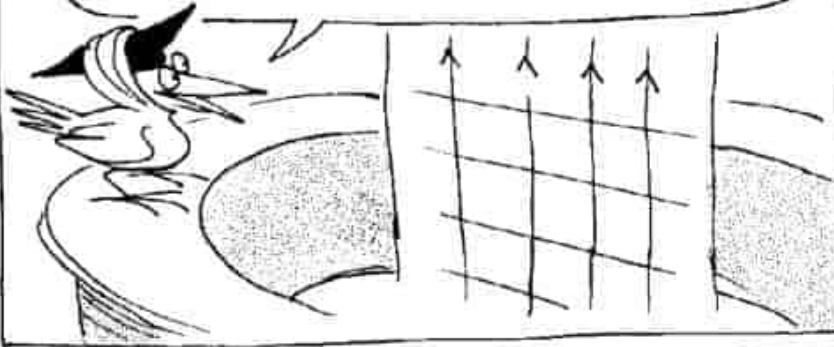
$(1/2; -1/2)$



تركيبة من النقاط  
المنفردة  $+1/4 - 1/2$   
رقاقة مفرودة على  
أوتاد خيمة.



يُنتج هذا النُّظام مجالاً مغناطيسيّاً  
موحّداً، تكون خطوطه وحقولُه عبارةً  
عن خطوطٍ مستقيمةٍ متوازيةٍ بسيطةٍ.



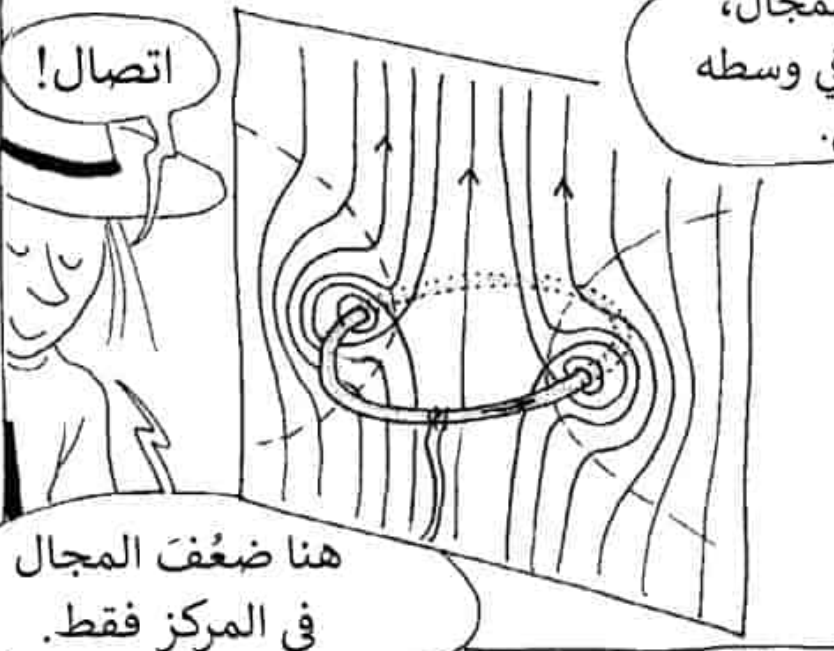
وماذا تفعل الآن؟



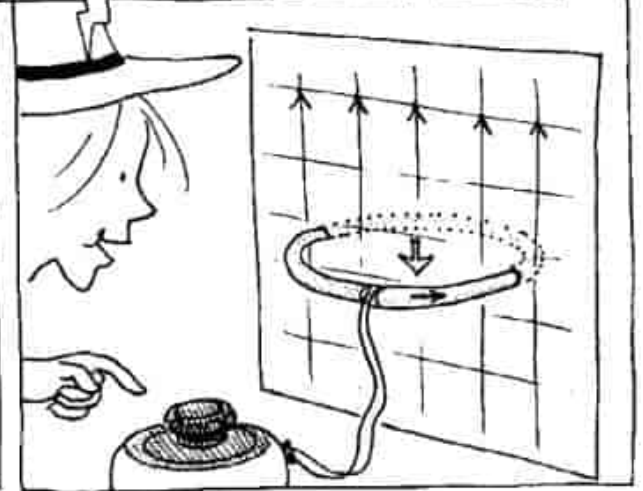
مجالات مغناطيسيّة

ولكن إذا وضعتُ ملفاً ضمن هذا المجال،  
فسيؤدّي ذلك إلى إنشاء حقلٍ آخر في وسطه  
ويتّجه نحو الطرف المعاكس.

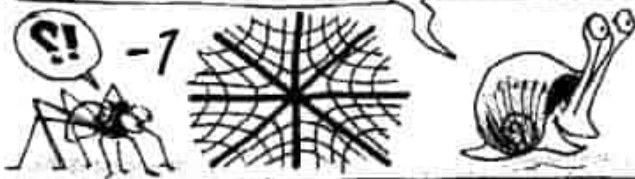
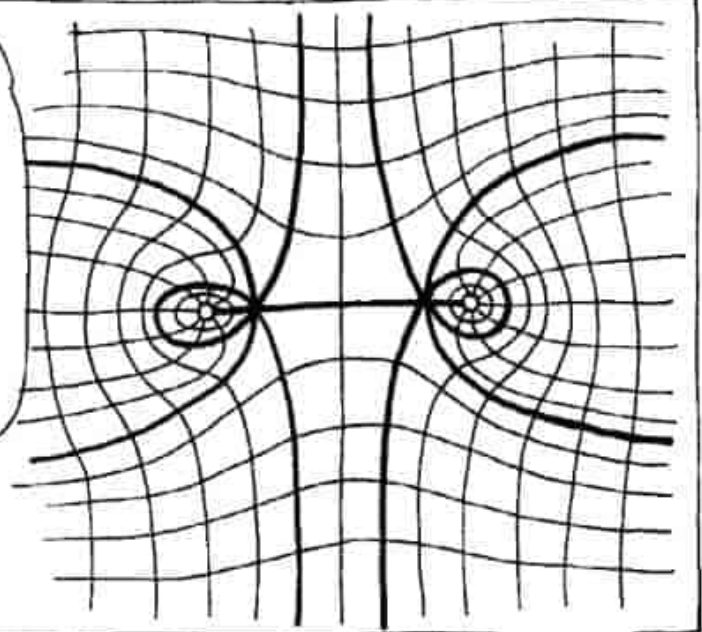
اتصال!



هنا ضعّف المجال  
في المركز فقط.

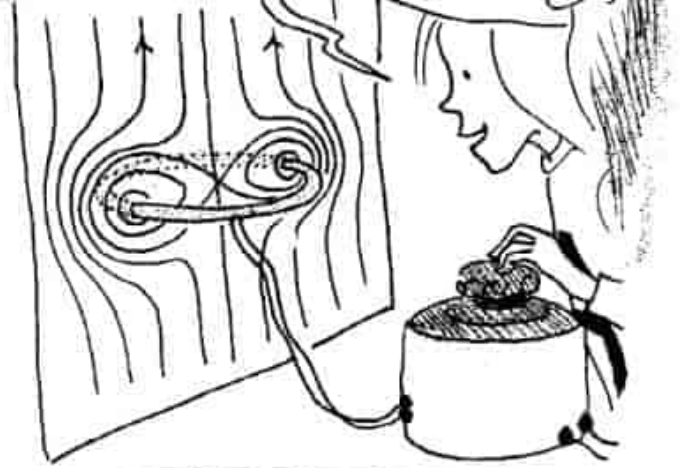
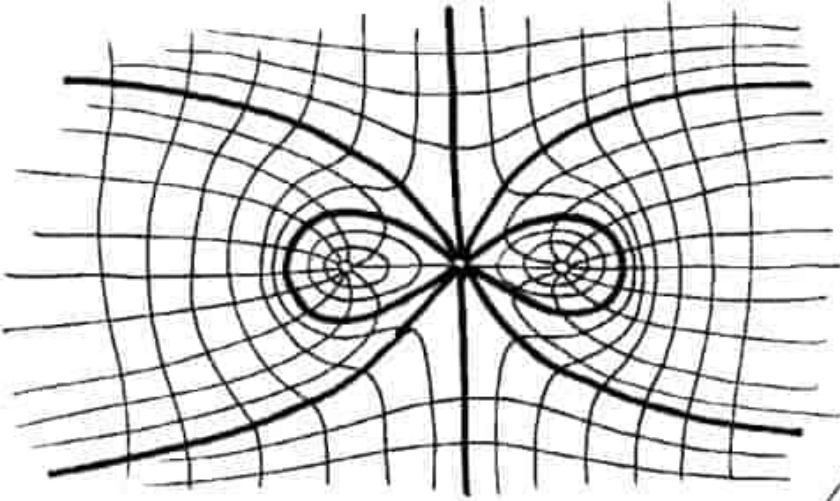


أووّه! لقد جعلتَ القطبين يظهران  
(يمكن رؤية آثار الملف اللولبيّ من الأمام  
في الشكل 1) بالإضافة إلى نقطتين  
منفردتين ترتيبهما 1-. فيكون المجموع  
صفرًا. وتظهر النُّقاط المنفردة السُّلبية  
حيث يتم إلغاء المجال "ب".

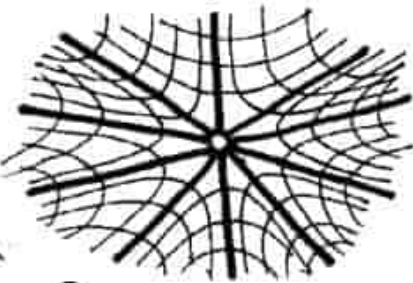


يمتلك النّظام في الواقع تناظراً في الدّوران، وقد حصلنا على نموذجٍ لشبكة ذات خطوطٍ من النّقاط المنفردة.

سأقوم الآن بزيادة التّيّار لإلغاء قيمة المجال المغناطيسيّ في مركز الملف اللولبيّ.



إنّ النّقطتين من المجال الصّفريّ، واللّتين يمكن رؤيتهما من الأمام في الرسم، قد اجتمعتا في نقطة واحدةٍ ترتيبها -2 (وهذا مثلاً على التّقاء النّقاط المنفردة)



-2



نعم، هذا ممتعٌ. هل نقوم بدفع المجال أبعد من ذلك؟

قد يكون الأمر مجازفةً، وقد يصبح خطيراً.

أصبح لديه تركيزٌ حقيقيٌّ على  
الحقول المغناطيسيَّة منذ  
مغامرة "حاجز الصَّمت".

ما الذي تخشاه يا ليون؟ تعتقد أننا  
نخلق تغييرات لا يمكن التراجع عنها في  
الرَّمكان؟ إنها لا تتجاوز 100 غاوس في  
النهاية يا عزيزي.

رائع

لقد انعكس المجال  
المغناطيسيُّ في مركز الملفِّ.  
وتضاعفت نقطته المنفردة إلى  
نقطتين ترتيبهما 1-1. وبالتالي  
أنشأنا دوامةً مغناطيسيَّةً  
بواسطة الهندسة الحلقية.

وهكذا فإنك تصادف الشبكات  
والنُّقاط المنفردة عند كل مفترق  
طرقٍ في علم الفيزياء.

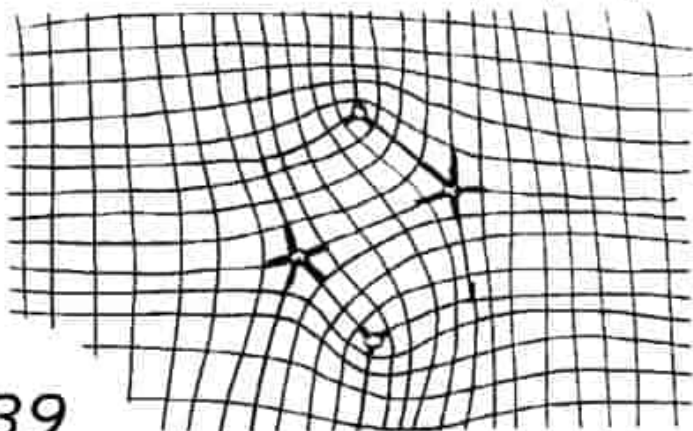
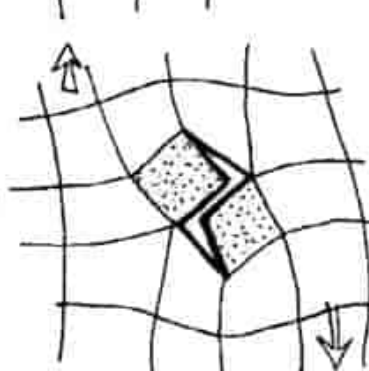
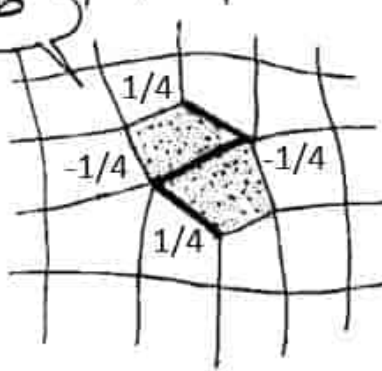
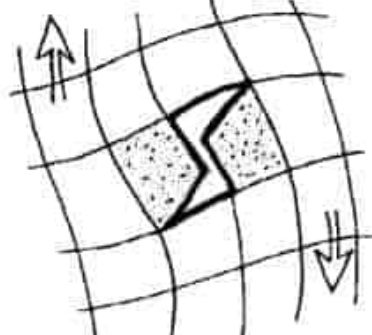
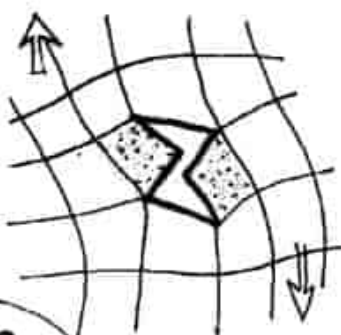
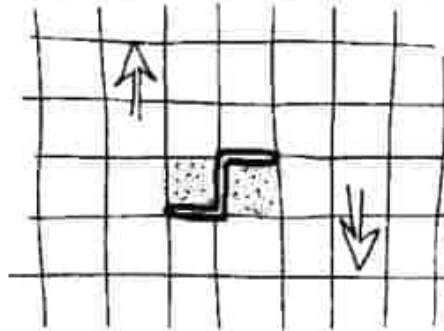
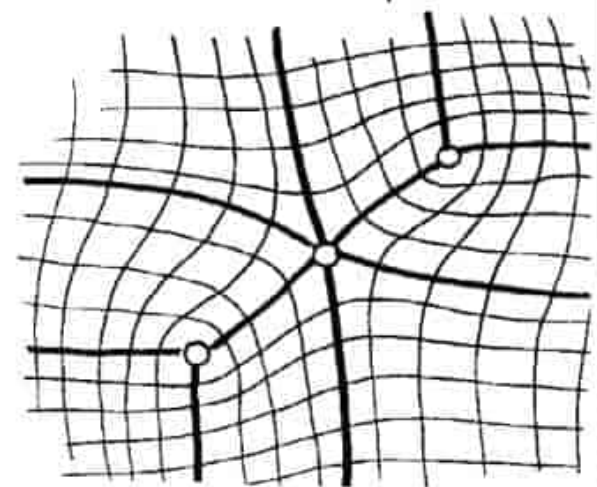
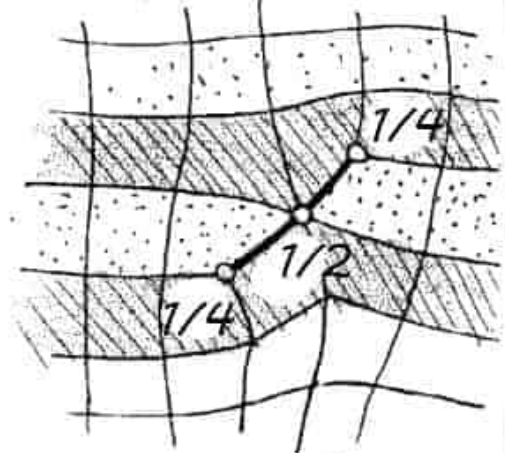
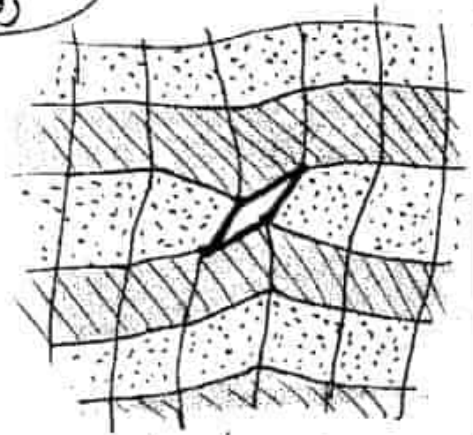
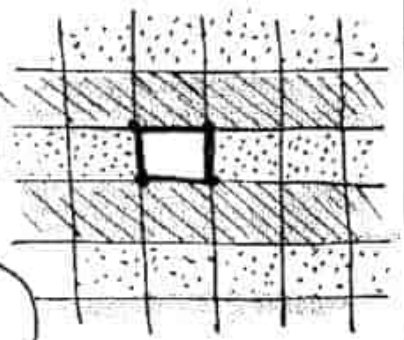


تُعتبر البلورات منجماً للنقاط المنفردة. في هذا المنظر العلوي لبلورة ذات شبكةٍ مربعةٍ، إذا أنشأنا صدعاً بإزالة أحد العناصر، فسيتم إنجاز الفتحة بتكلفةٍ مقدارها نقطة منفردة ترتيبها  $1/2$  - ونقطتين منفردتين ترتيبهما  $1/4$

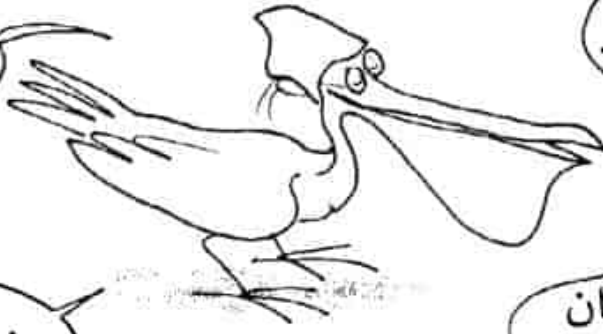
سوف تؤدي "حركة القص" إلى إعادة ترتيب الشبكة، الأمر الذي يتطلب نقطتين منفردتين ترتيبهما  $1/4$  ونقطتين منفردتين ترتيبهما  $1/4$  -



لقد أزلت رقاقة



وما عساه يكون  
ياتيريسياس؟



هذا يذكرني بشيءٍ ما.

.. نوعاً من البلورات؟

لنفترض أنّ الكون كان  
نوعاً ما من ...

ماذا لو كان الكون مؤلفاً من أنواع من الأخاديد أو "العناصر الأولية" التي يمكن أن تكون تصدعات من الاضطرابات، ومزيجاً من نقاط الرّصف المنفردة (\*). وعندها قد تستجيب الحركة أو التفاعلات لإعادة ترتيب الأمر برّمته ...



إذا كنّا نتحدّث عن الأفكار  
الجيدة فهذه فكرةٌ جيّدة.

مممم ...



(\* تشير كلمة "شبكة" إلى الأجسام ذات البعدين.  
ويعادل "الرّصف" عدداً أعلى من الأبعاد.

# A

تحول شريط موبوس  
إلى "سطح بوي" ..  
(نسبة إلى العالم ورنر بوي)

سوف يتم توضيح كل الأفكار القادمة  
من خلال رسومٍ تعبيرية، موسومة  
بالأحرف أ، ب، ج، د

الإدارة

# B

الشيء ذاته:  
تركيبة من حافة  
المنحنيات  
والتقاطعات الذاتية

# C

إنشاء اقتران من  
النقاط الكائنة في  
الطرف المقابل

# D

انعكاس واضح  
للزمن

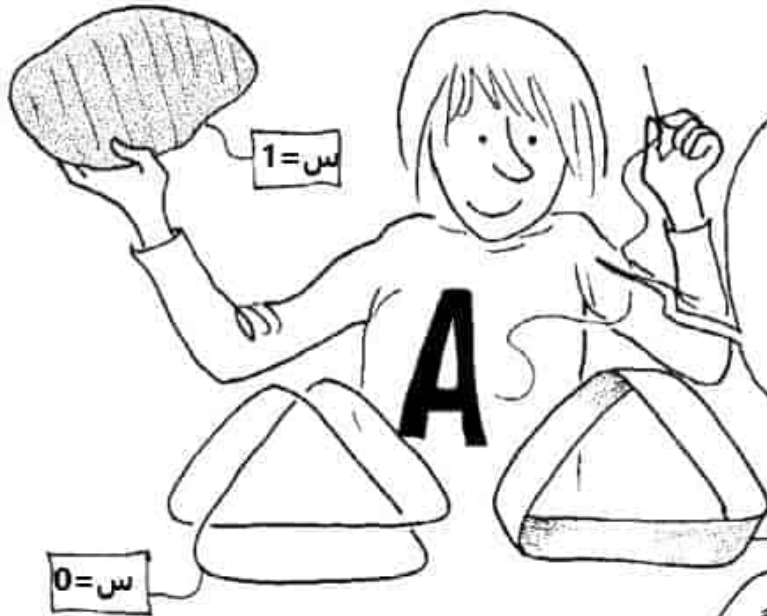
## سطح "بوي"

ومازلنا لا نعرف شيئاً  
عن هذا الكوكب  
الغريب الذي لا يوجد  
فيه قطب جنوبي.

إننا مستمتعون بالفعل،  
ولكن في هذه الأثناء ما يزال  
أمونديسن في ورطة ...



ولكن انتظروا ... حتى يكون هناك قطب واحد  
فقط، فإن عدد أويلر- بوانكاريه ينبغي أن يساوي 1.  
ويبدو أنها أحادية ...



إنَّ قيمة العدد المميّز لشريط موبيوس هي الصّفر. وكان بإمكانه أن أحيكه على طول منحني مغلق ذو عددٍ مميّزٍ قيمته صفر أيضاً، والقرص البسيط مثالٌ على ذلك ..



سوف تمتلك هذه التّجميعة خاصيّةً موحّدةً، وسوف تكون عبارةً عن سطحٍ أحاديٍّ مغلقٍ. ولكن لماذا لانستخدم سطحاً غامراً بدلاً من لصقها؟

يمكن مشاهدة تسلسل تحويل شريط موبيوس إلى سطح "بوي" في الشكل أ والشكل ب وها هو الجسم النّهائي:

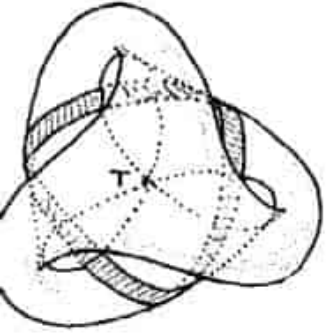


وتلك هي السّطوح "الموازية" لسطح "بوي". وهي أيضاً تطوّر "حافة" شريط موبيوس المقابل للتّتابع أ

نوع ممتع من التّوازيات ..

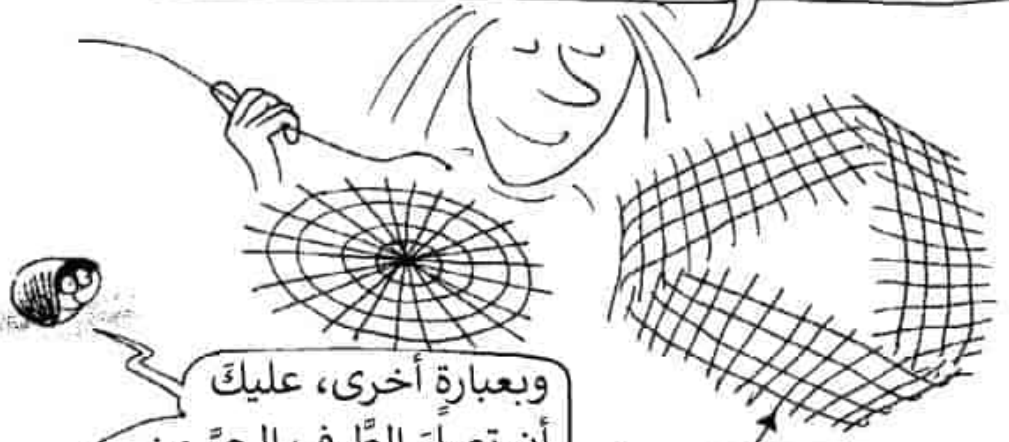
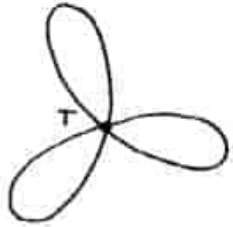


الشّريط الاستوائي



إنها ناتج عملية نسج يا ليون. كلُّ ما علينا فعله هو تمديد "خطوط الطول" الخاصة بشريط موبايوس حتى تصل إلى قاع السِّلة، أي القطب.

سطح "بوي" مع شريط موبايوس الأوَّلِيَّ



وبعبارة أخرى، عليك أن تصل الطرف الحر من شريط موبايوس إلى تلك الأطراف في "قاع السِّلة".

خط الطول



إنَّ مجاورات خطوط الطول هي شرائط موبايوس ذات نصف دورة.

كان المؤلف هو من تخيَّل أوَّل نموذج لسطح "بوي" مع تجميعية من "خطوط الطول" و "الموازيات". ثمَّ قام النَّحات "ماكس سوز" بصنع نموذجٍ فنيٍّ يُمكن الاطِّلاع عليه في الغرفة "π" في قصر الاكتشافات في مدينة باريس.

الإدارة

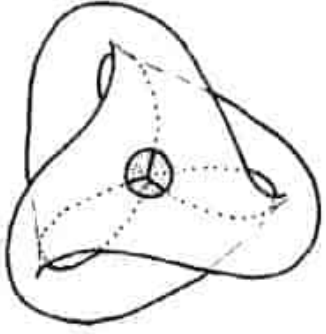
لقد انتقلنا طويلاً على أحد هذه الشرائط، تاركين "القطب الشمالي" للبحث عن "القطب الجنوبي".

وعُدنا بالطبع إلى سارية "بيري".

لكن مادمنّا انتقلنا على طول سطح "بوي"، فكيف جرى أنّنا لم نكتشف مناطق ذاتيّة التّقاطع؟

تذكّروا أنّ هذه الصُّورة عن التّقاطع الذاتيّ هي مجرد أثرٍ ناتج عن "غمر" سطح "بوي" داخل المكان التّمثيليّ ثلاثيّ الأبعاد. وفي الواقع فإنّ سطح "بوي" وقارورة "كلاين" يوجدان كأجسامٍ ثنائيّة الأبعاد بمعزلٍ عن المكان الذي يتمُّ تمثيلهما فيه.

وإليكم طريقةً جيّدةً لنسيان فكرة التّقاطع الذاتيّ.



شريط موبايوس  
ذو حافة دائرية



هناك شيء واحد مؤكد: الكوكب عبارة عن  
سطح "بوي"، وله قطب واحد فقط.

حسناً، لن أعلن ذلك بالتأكيد  
للعجوز أموندسن المسكين.

إنه لا يزال في  
حالة صدمة.

## مكعب "بوي"



مممم، لست متأكدًا...

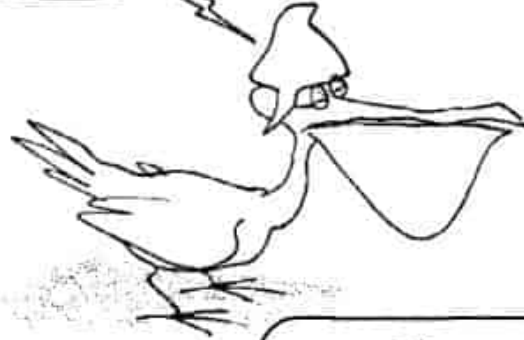


قد أبدو لكم مخبولاً بعض الشيء، ولكن يجب أن أعترف أنه  
حتى بوجود الرسومات والمقاطع العرضية وزوايا النظر  
المتنوعة، فإنني لم أستوعب حتى الآن فكرة "سطح بوي"...

انتظر يا ليون ، لقد  
عثرت على شيء  
سوف يساعدك.

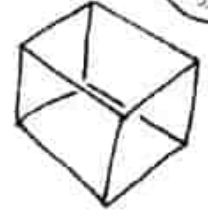
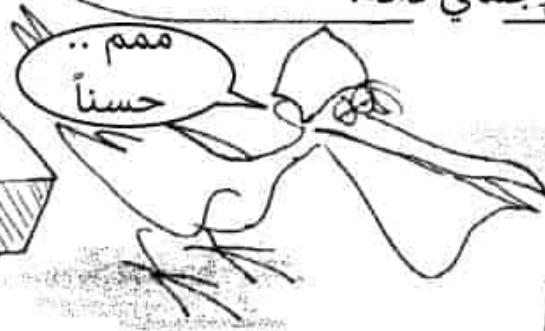
تلك هي المشكلة؟  
ممم .. نعم .. لا بدَّ أنَّها  
كذلك.

هل تواجه مشكلةً في فهم  
بُنيتِه الهيكلية؟



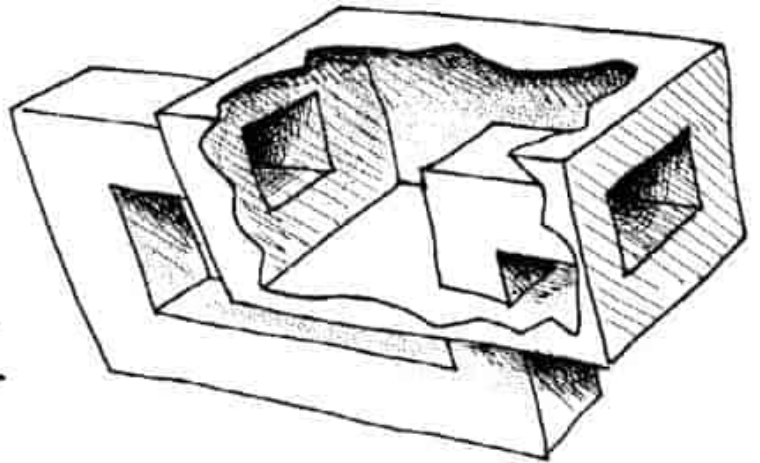
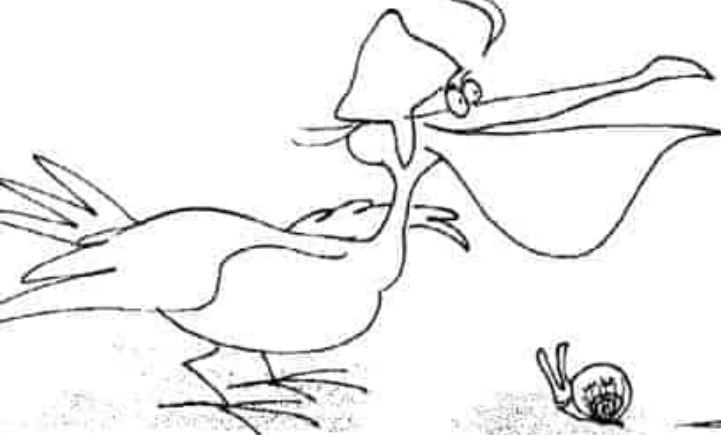
انظر يا ليون، سواء كان كرة أم مكعباً  
فإنَّه الشَّيء ذاته. البنية الهيكلية (الطُّوبولوجيا)  
ذاتها، وعدد أويلر - بوانكاريه ذاته، والانحناء  
الإجماليُّ ذاته.

ممم ..  
حسناً



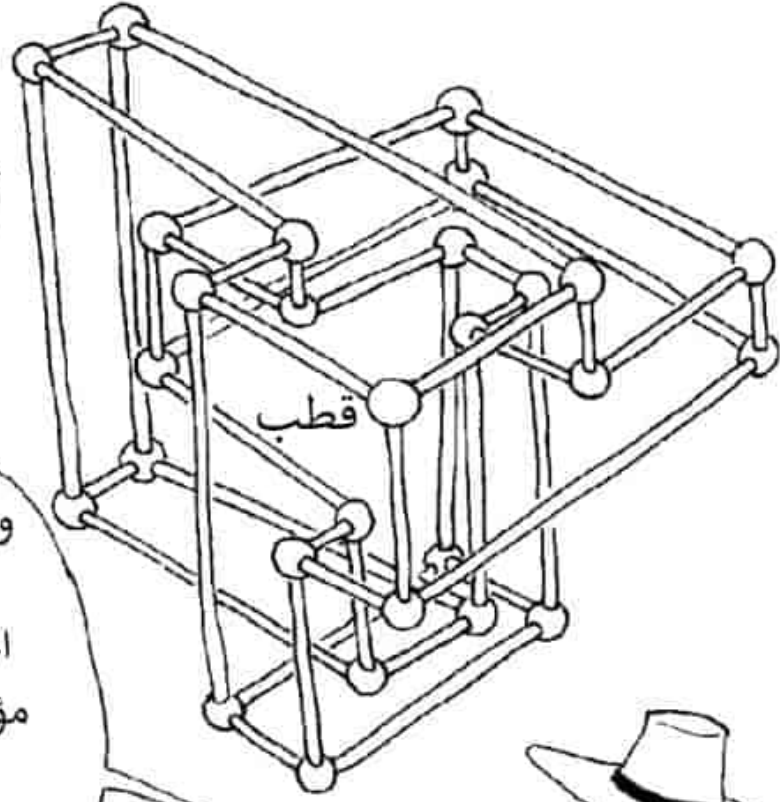
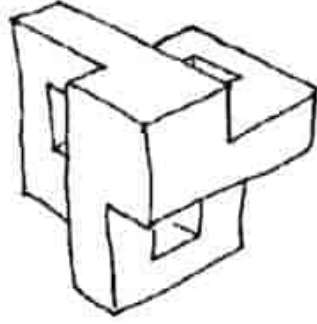
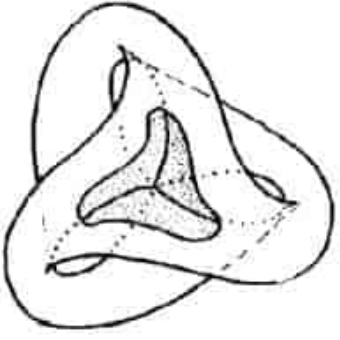
وهذا جسمٌ دورانيُّ.

هل هذا مكعب  
كلاين إذن؟



بالضَّبْط





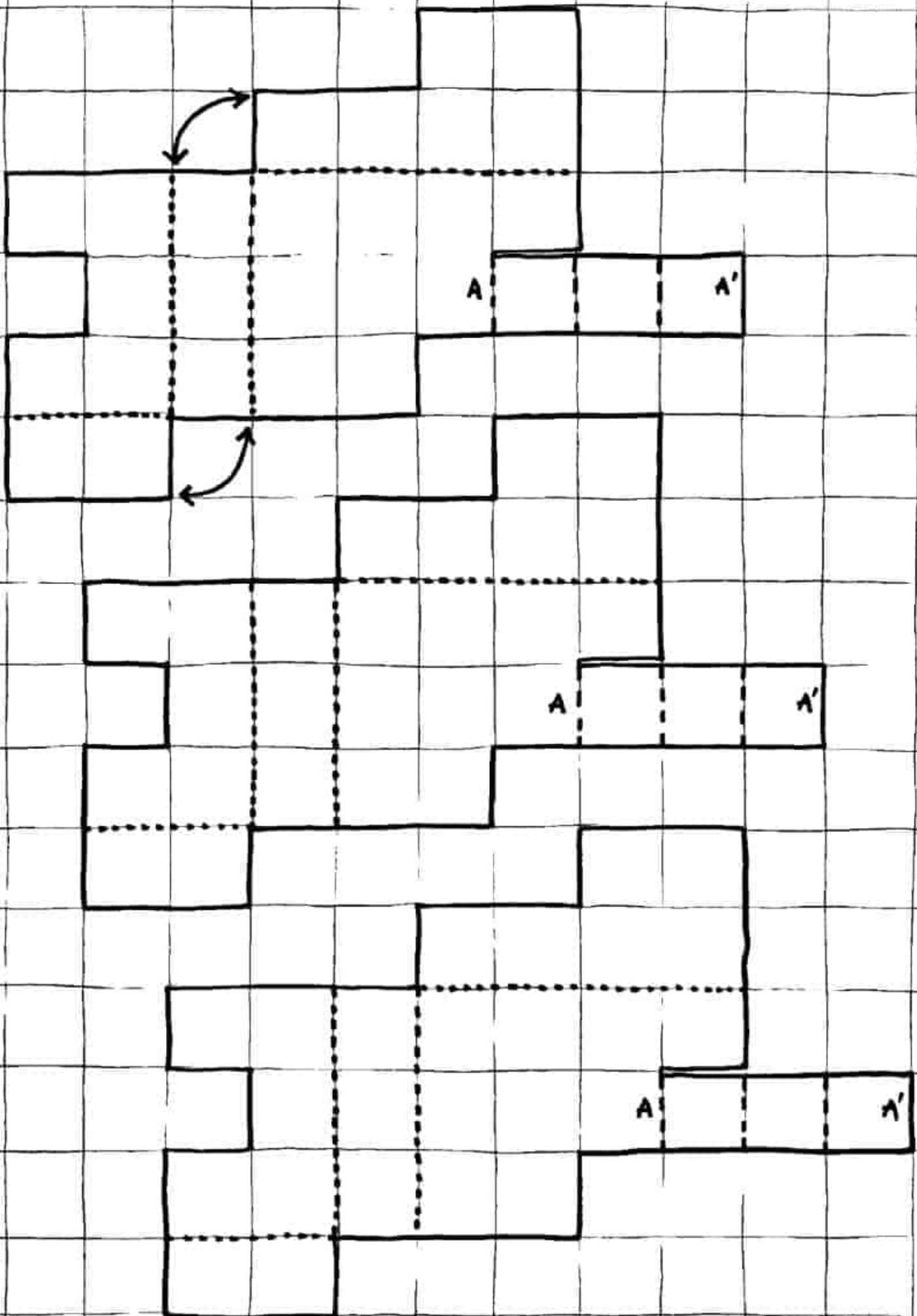
وها هو مكعب "بوي"  
الحاصل على براءة  
اختراع باسم أرشيبالد.  
مؤلف من 28 رأساً و 43  
حرفاً و 16 وجهاً  
س = 16 + 43 - 28 = 1

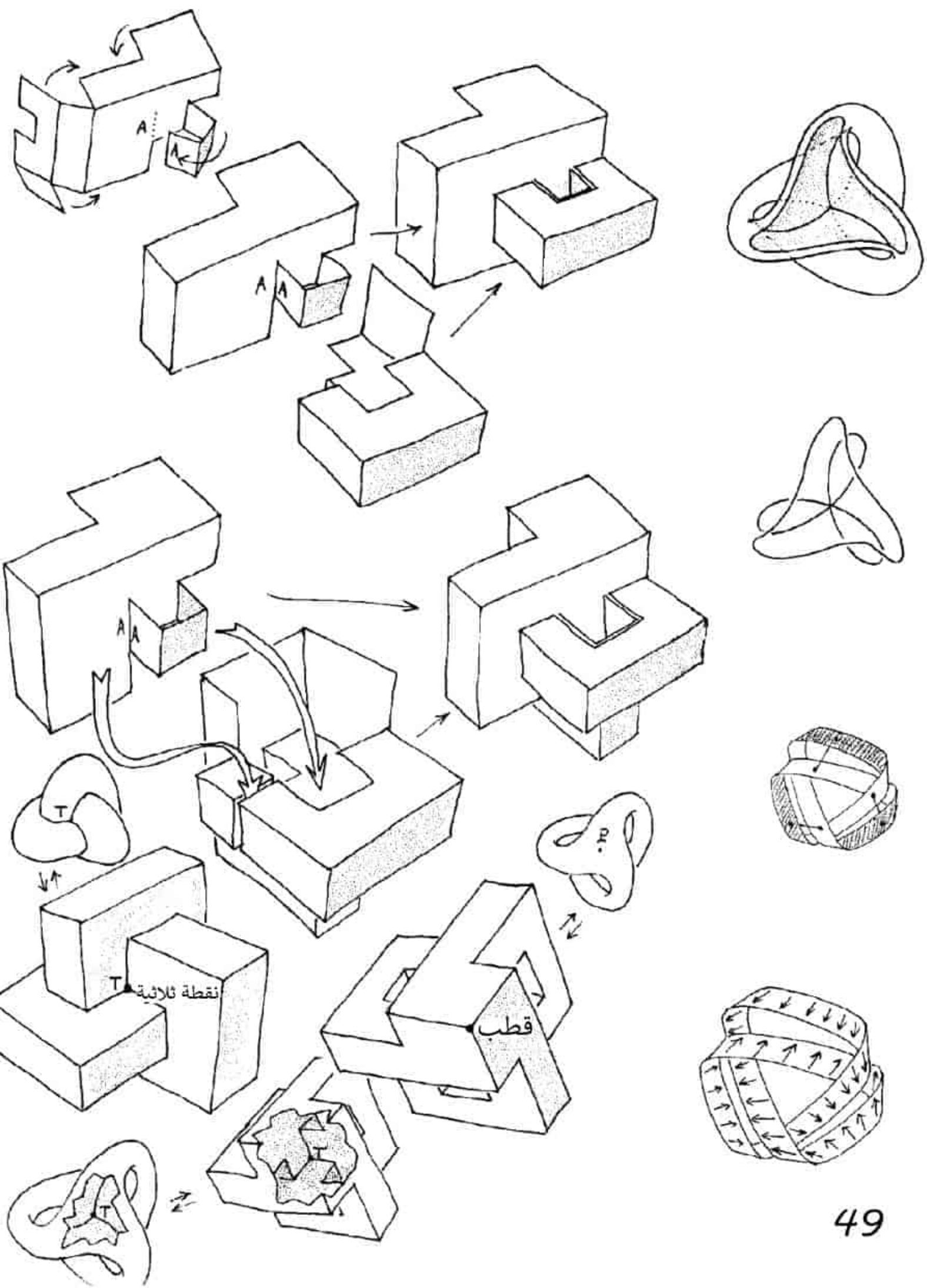


يمكن عمل نماذج جميلة  
باستخدام رفوف  
"رينولدز"، وهي قطع من  
اللدائن القشرية على شكل  
أنايب مربعة وزوايا.

وتجدون في الصفحات  
التالية رسوماً يمكن قصها  
لتصنعوا منها "مكعبات  
بوي" خاصة بكم.



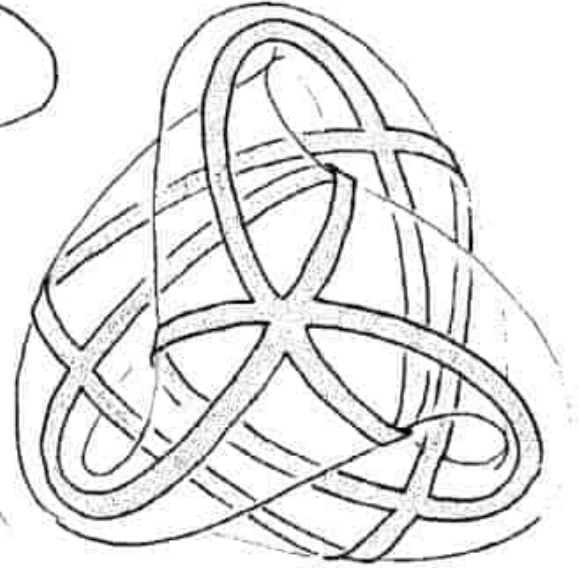




# الأغطية

هذه هي نهاية  
القصة إذن؟

لا، هناك مفاجأة  
غير متوقعة ...



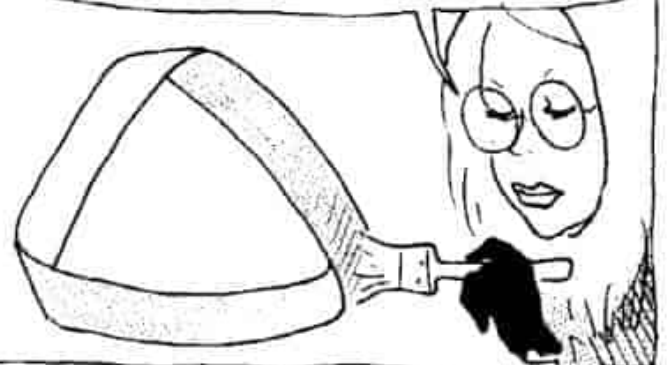
إنَّ الغطاء ذو الطبقتين للجسم  
الأحادي غير القابل للتوجيه  
يكون ثنائياً وقابلاً للتوجيه وله  
عددٌ مميزٌ مضاعف.

ما هذا الهراء كله؟

... وأبقِ الطلاء فقط.




الأمر بسيط. خذ شريط موبايوس  
وقم بتغطيته بالطلاء على جانبه  
المتفرد، ثم ضع الشريط جانباً ...

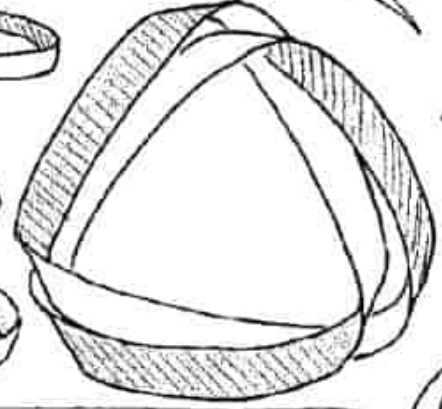


إنَّ الشَّريطَ الجَديدَ، المَغلَقَ على نَفسه، له وِجَهان  
لأنَّه كانَ على تَماسٍ مع شَريطٍ موبِيوَس.  
يَمكنُكَ رَؤيةَ هَذا التَّسلسلِ في الشَّكلِ ج:

قطعة +  = 

قطعة +  = 

قطعة +  = 

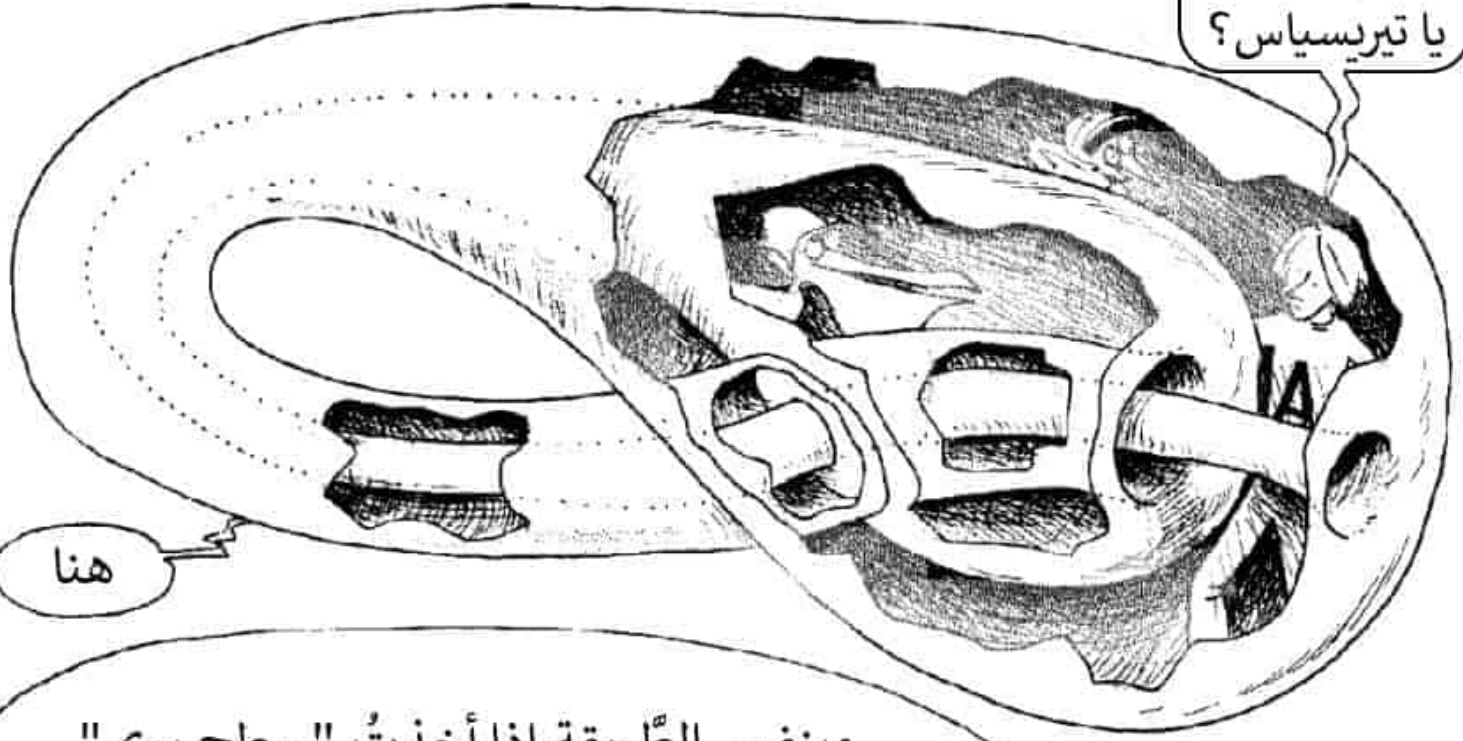


لكنَّ العَدَدَ المَميزَ له ولشَريطِ موبِيوَس هو الصَّفر.

انظروا، إذا قمتُ بَطَلَاءِ "قارورةِ كَلاين" على الوِجَهِ  
المَمتَرِدِّ، ثمَّ وُضِعَتُ القارورةُ جَانِباً لِلإبْقَاءِ على الطَّلَاءِ  
فقط، فسوفَ أُحْصِلُ على سَطْحٍ مُنتَظِمٍ مَغلِقٍ ذو  
وِجَهِينِ وله عَدَدُ أويلر - بوانكاريه مَميزٌ قِيميته  $2 \times 0 = 0$

أيُّ أَنَّهُ بعبارةٍ أُخرى  
غَمَرٌ لَجَسْمِ دُورَانِيٍّ.

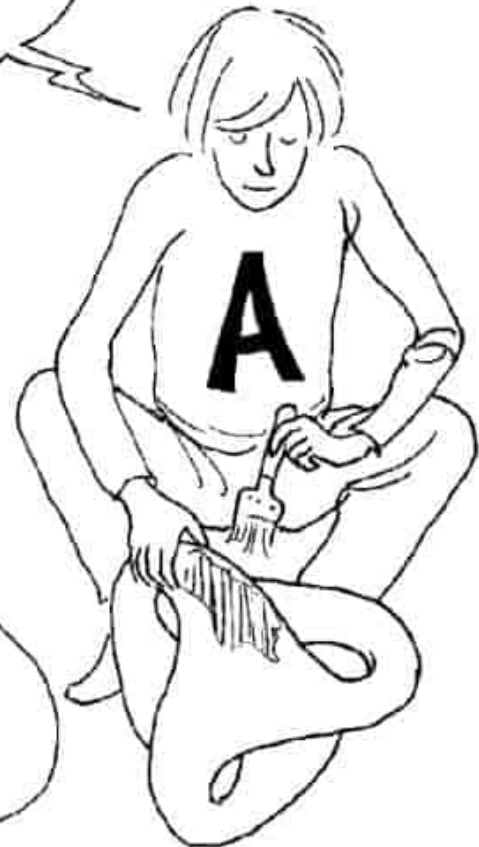
أين أنت  
يا تيريسياس؟



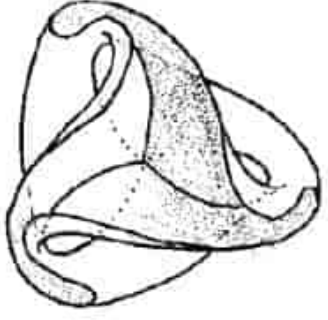
هنا

وبنفس الطريقة إذا أخذتُ "سطح بوي"  
وغطيته بالطلاء ثم أزحتُ سطح بوي، فسوف  
أحصل على سطح منتظم مغلق ذو وجهين له  
عدد أويلر - بوانكاريه مميز قيمته

$$2 \times 1 = 2$$



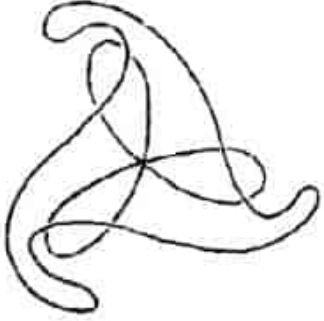
... وبعبارة أخرى،  
غمرٌ للكرة



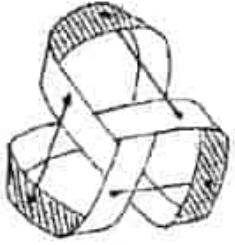
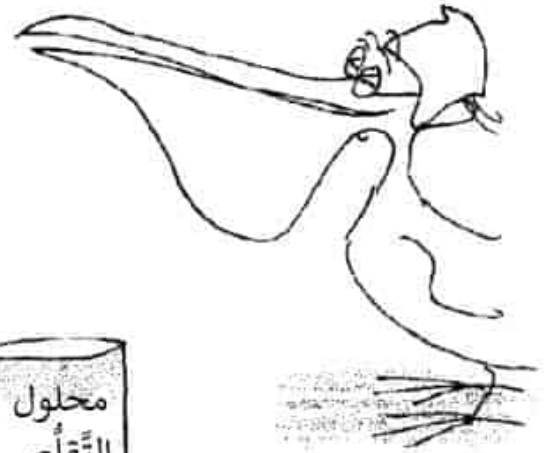
هل يمكنني حقاً «فَرْدُ» هذه  
الكرة الغريبة وتحويلها إلى  
كرة «عاديّة»؟



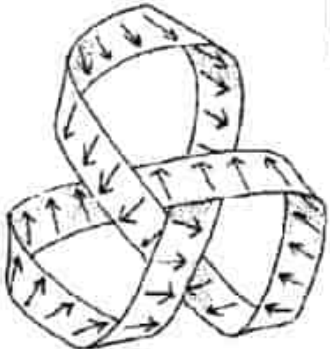
لا توجد مشكلة بالنسبة  
لأيّ "جسمٍ متبدّلٍ"،  
ونفس الشيء بالنسبة لأيّ  
جسمٍ دورانيّ.



دعونا نذهب في الاتجاه  
المعاكس .. لنفترض أنني أريد أن  
"أعيد طي" كرة دون أيّ طيّاتٍ.



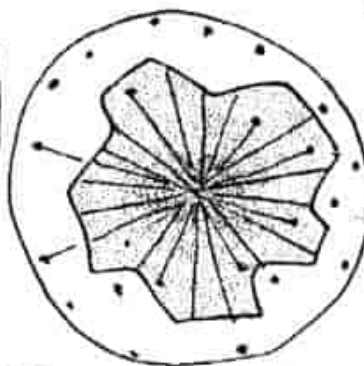
النتيجة شرائط  
متقاطعة



محلول  
التقلص

أنت بحاجة إلى بعض  
من "محلول التقلص"

نبدأ العمل بوصول كل نقطة من الكرة  
مع النقطة المقابلة لها باستخدام  
شرائط منقوعة في محلول التقلص.

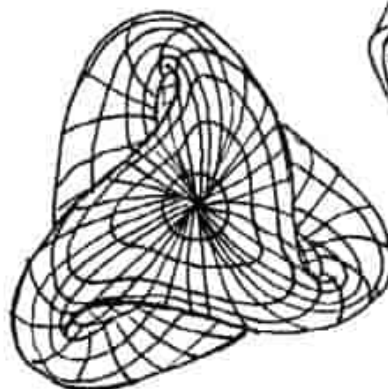
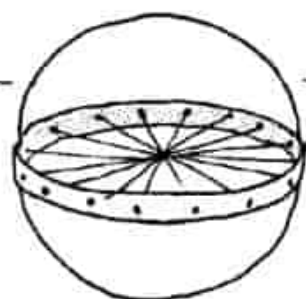
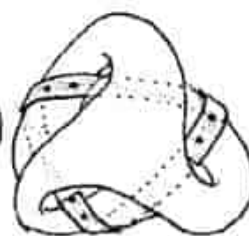


تنكمش هذه السلاسل إلى حدّ يبلغ فيه طولها  
الصّفر بينما يظلُّ سطح الكرة ثابتاً. فنقوم  
بتوصيل كل نقطة مع النقطة المقابلة لها.

ولكنكم سترون ذلك كلّهُ في قصّة مصوّرة أخرى، مكرّسة لقلب داخل  
الكرة خارجاً. وفي هذه الأثناء فإن سلسلة الصُّور في الشريط "ج" تُظهر  
كيف ينطوي خط استواء الكرة على ذاته ليصبح خط استواء "سطح  
بوي". وبالتالي فإنّه من الواضح أنّ القطب الشمالي يغرز نفسه إلى جوار  
القطب الجنوبيّ.

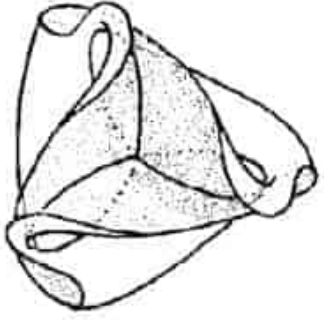
الإدارة

تغطّي جميع خطوط الطول  
والموازيات على الكرة بعضها البعض.

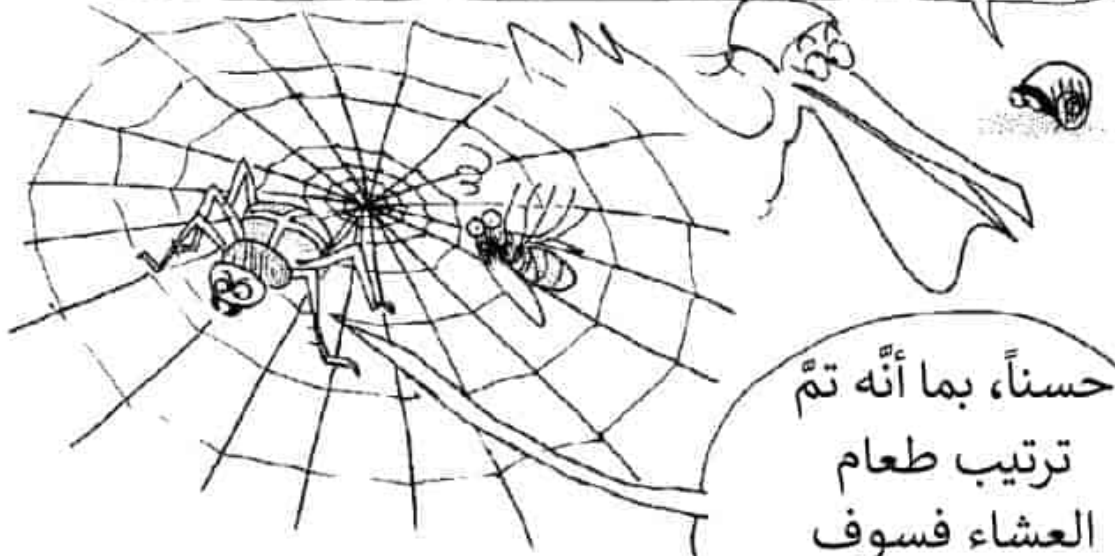
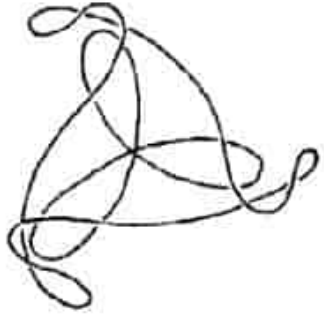




لنتخيّل عنكبوتاً يعيش على سطح "بوي" تتألف  
شبكة من خطوط طولٍ ومتوازياتٍ. سوف يظنُّ  
هذا العنكبوت أنه يعيش فوق كرة!



إغلاق "الطبل" الثلاثي

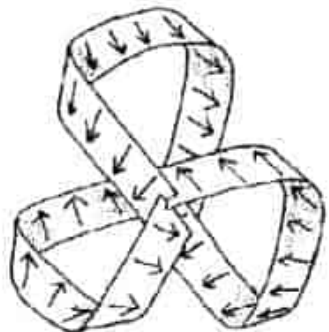
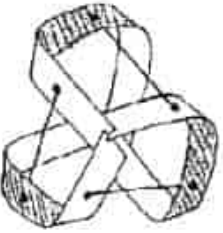


حسناً، بما أنه تمّ  
ترتيب طعام  
العشاء فسوف  
أذهب للتّنزه.

طريق  
العنكبوت



أوه، شبكةٌ أخرى. لابدّ أنّ  
عنكبوتاً آخر يعيش على  
الجانب المقابل، وقد اصطاد  
ذبابةً أيضاً. أمرٌ لطيفٌ.



ممم، دعونا  
نرجع إلى المنزل

حسنًا.. لا أحد ينظر،  
سألتهُم الدُّبابة

بق

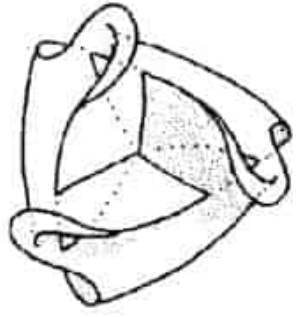


إيه! بينما كنت غائبًا كان  
العنكبوت الآخر هنا وأكل ذبابتي.

ها ها ها ها

في الواقع، لم يكن هناك سوى ذبابة  
واحدة وعنكبوت واحد.

سوف أمسك بك حتى لو انتظرتُ الليل بطوله،  
وسترى ماذا سأفعل عندما أمسك بك.



ظهور "الأذان"

لقد قمنا بترتيب كل شيء  
يا سيّد أموندسن، وعثرنا  
على قطبك الجنوبيّ.

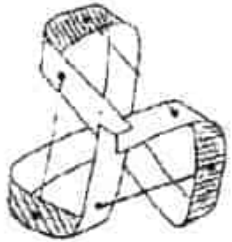
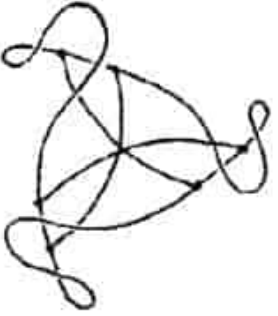
لكن قصّة العنكبوت تجعلني  
أفكر في شيءٍ ما. لقد حصلنا  
على حلٍ لمشكلة أموندسن.



وكيف ذلك؟

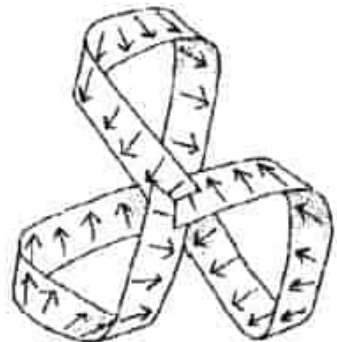
آه ..

يمكنك الذهاب ولكن  
خذ هذا معك ...

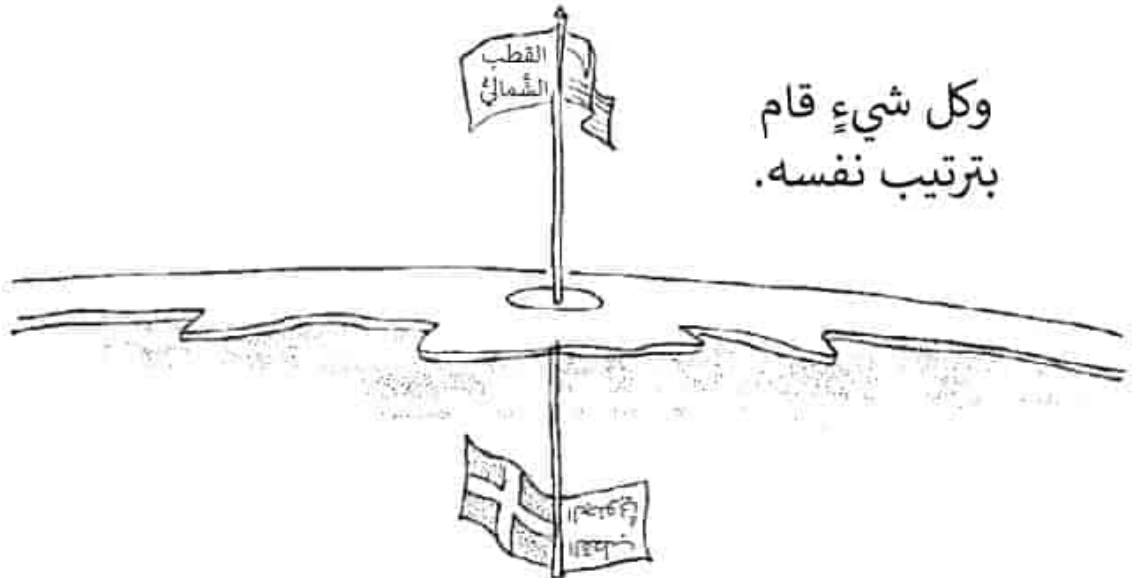


لقد أعطوا "بيري"  
الشيء نفسه.

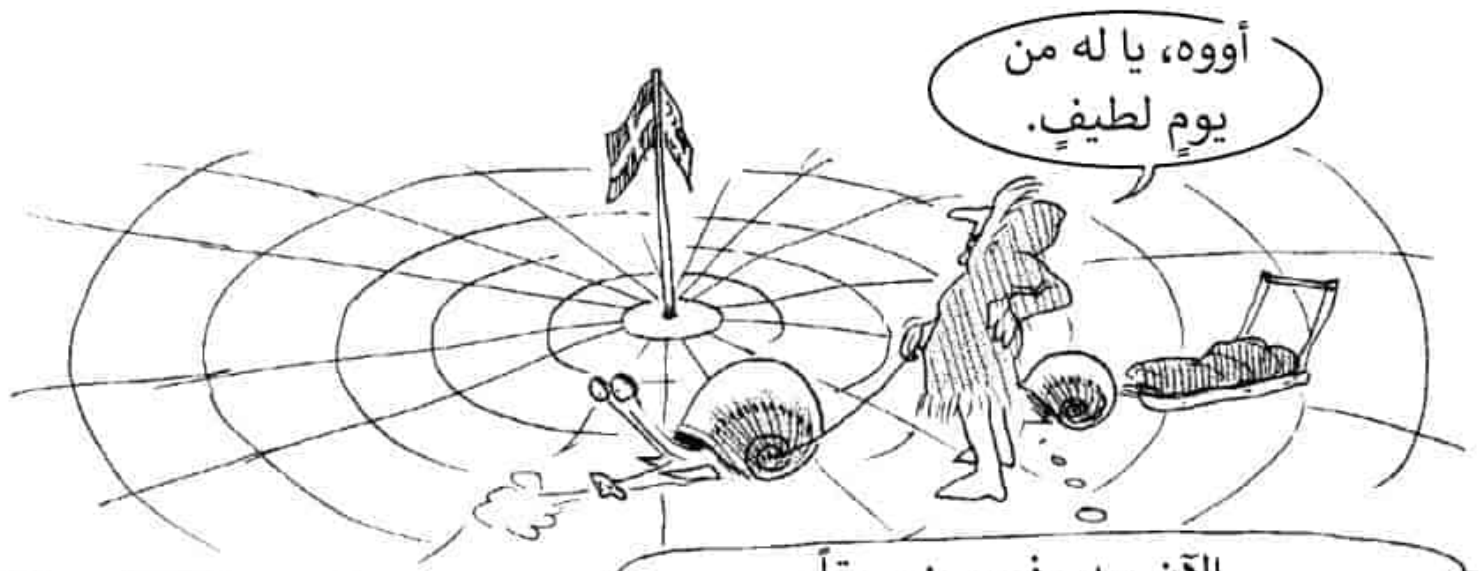
... عليك فقط  
أن تضعه.



57



وكل شيءٍ قام  
بترتيب نفسه.



الآن يبدو ذو معنى حقاً.

صه، أريد أن أكون لوحدي  
في صورتي التاريخية



صورةً تاريخيةً  
من فضلك يا  
سيد أموندسن.



كما في أيِّ مجالٍ آخر فإنك أحياناً لا ينبغي أن تحفر بعيداً في العلم...

.. فكلُّ قطب له موضعه والأبواب  
الثابتة مرتكزةً بشكلٍ صحيح.

ليس هذا فحسب، ولكن  
إذا حفرنا تحت القطب  
الشّماليّ فقد تظهر لنا  
بعض المفاجآت السيئة.



وقد ينزعج شخصٌ ما موجودٌ هنا من ذلك.

صحيح، هذا شيء واحد تم إنجازه.  
ما الذي يسعى إليه آرتشي؟

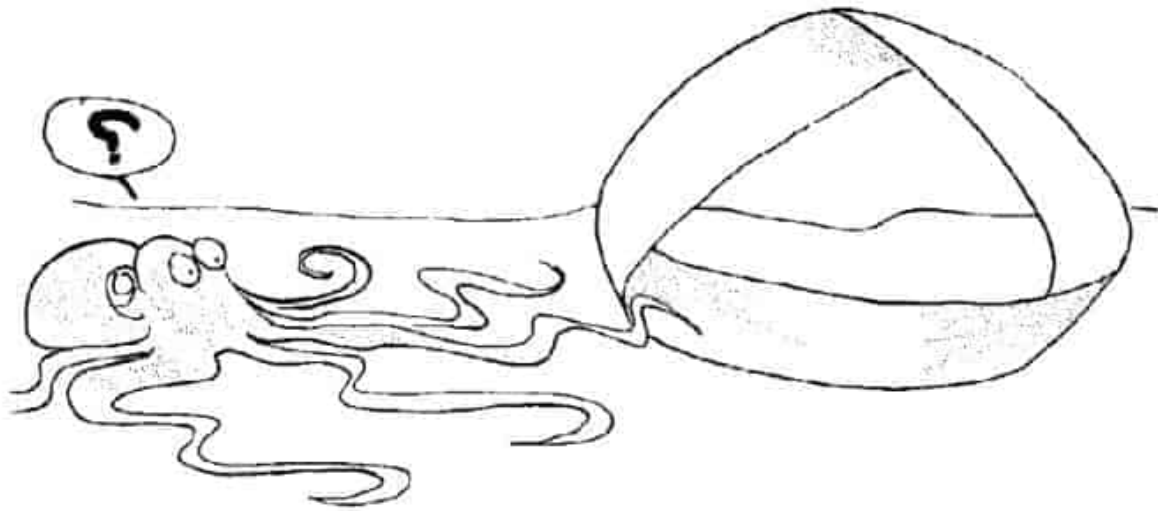


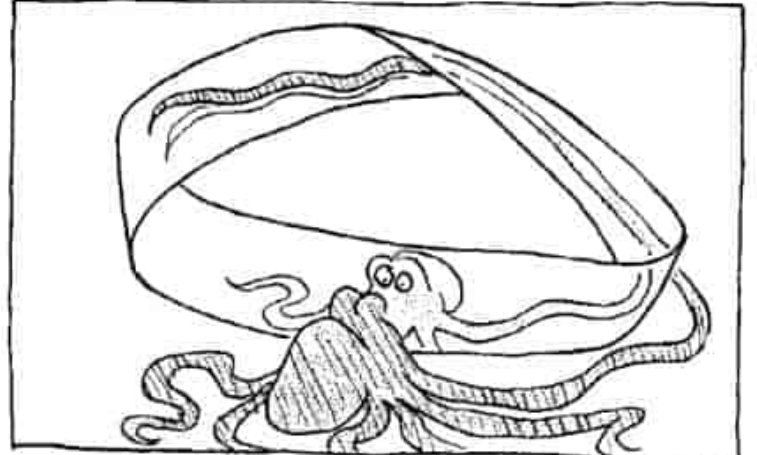
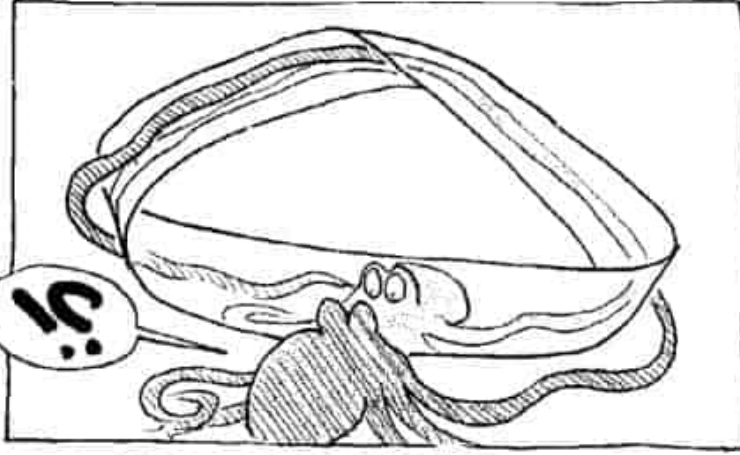
هل تعرفون ما هي المرآة  
ثنائية الوظيفة؟ يمكنكم رؤية

الانعكاس فيها والنظر من خلالها في نفس الوقت.  
حسناً، سوف أحول شريط موبوس إلى مرآة ثنائية.

## مرحلة المرآة

القبض على الحبار





وهو لا يشعر بأي شيء، لأن ذراعه الحقيقي يحك صورة رأسه، في حين تحك "صورة ذراعه" رأسه الحقيقي.

ماذا يحدث؟ يبدو أنه تم استغناء الحبار.

إنه يحك رأسه بيأس.



أمر سيء..

بما أن المرأة أحادية الجانب، فإن الحبار عندما يدور حولها، تعبر ذراعه إلى الجانب الآخر.



يبدو أن الأمور خرجت عن سيطرته.

وبما أن المرأة نصف شفافة على نحو متقن، فإنه لا يمكن من تدبر أمره.



ضع نفسك مكانه!

أصبحت تعرف أنك إذا حككت أذنك ذات يوم أمام المرأة، ولم تشعر بشيء، فهذا يعني أن المرأة أحادية (\*).



إذا قمنا بتحويل سطح "بوي" إلى مرآة شفافة، فإن الكون سيكون غير قابل للفصل وفقاً لصورته الخاصة.

ألن يكون ذلك خطيراً؟ لا أدري... لأنّ تحجيم الكون بمثل هذا النوع من التناقض المنطقيّ، قد يجعله يختفي. (\*)

## الزّمكان يصيبه

### الاختلال

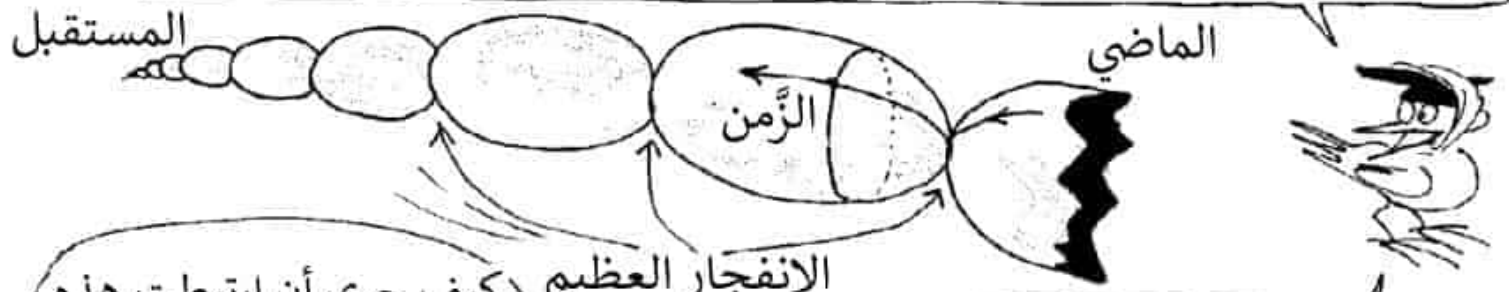
يمكننا دراسة بنية (طوبولوجيا) الزّمكان باستخدام نماذج ذات بُعدين، أحدهما للمكان والآخر للزّمان.

إنشاء نقطة ثلاثية

هذا يشكّل شبكة أو مخطّطاً شبكيّاً.

(\*) لم يسبق لأحد أن حاول ذلك.

لقد رأينا في قصة "الانفجار العظيم" أن نموذج الكون الدوري يمكن تمثيله بصورة سلاسل لانهائية من أشكال الثنائيات، وفي نقطة ارتباط كل منها انفجار عظيم.

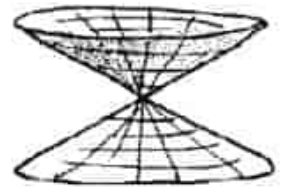
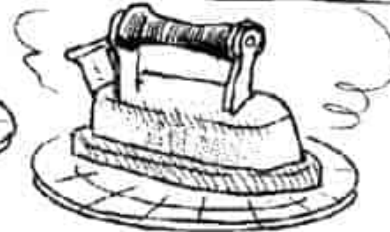


كيف جرى أن ارتبطت هذه النقاط المنفردة ببعضها؟

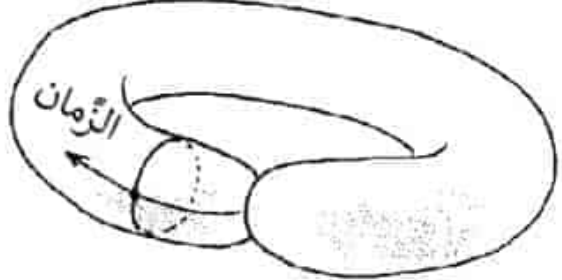
الانفجار العظيم

كل انفجار عظيم عبارة عن نقطة منفردة من النمط القطبي.

خذ مخروطاً وافرده.



يمكن أن نتخيل أيضاً أن تلك "الأحداث" قد تكرر نفسها بلا نهاية، وفي تلك الحالة سنحصل على هذا ...



أو يمكننا افتراض أن الزمن ببساطة هو بداية ونهاية، مثل هذا ..

الانفجار العظيم

أنت هنا



في هذا النموذج التقليدي للزمن الكروي، يكون أحد القطبين هو الانفجار العظيم، والآخر هو الانفجار العظيم المضاد.

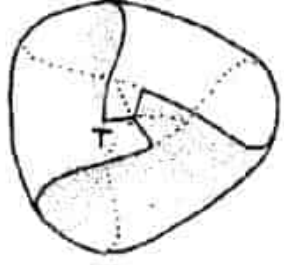
و يمكن اعتبار المكان منحنيات متوازية، وخط الاستواء هو الامتداد الأقصى لخطوط الزمن التي تقابل خطوط الطول.



الزمن

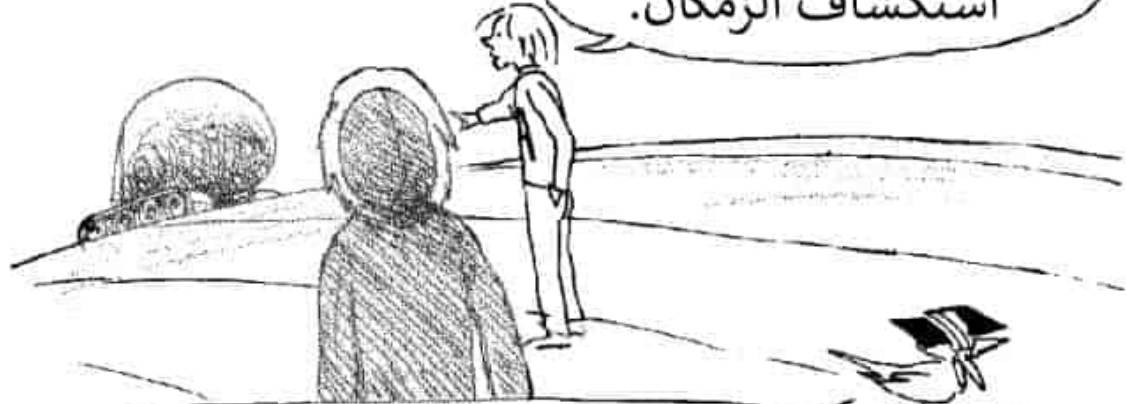
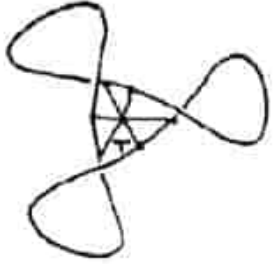


ليس هناك أفضل من العربة  
الزمنية للتنقل على امتداد خطوط  
الطول هذه، أو خطوط الكون.



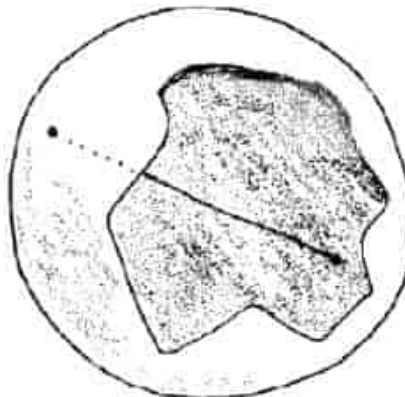
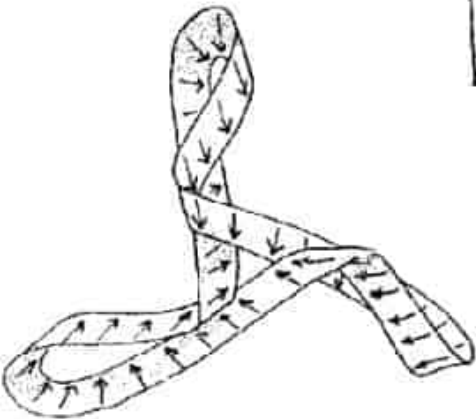
إنشاء نقطة ثلاثية

يمكننا استعارة إحدى هذه  
الآلات. فأنا لا أمانع في  
استكشاف الزمكان.



أين ليون وتيريسياس؟

قمتُ مع تيريسياس  
بأشياء ممتعة.



فقد أخذنا جميع نقاط هذا  
الزمكان ووصلناها مع النقاط  
المقابلة بأوتار...

أنتم أحمقان تماماً، لا يمكنكم  
تخيُّل العواقب!!

ثمَّ نَقَعْنَا الأوتار في محلول  
التَّقْلُص. اعتبر تيريسياس  
أنَّها ستكون تجربةً زمكانيةً  
مثيرةً للاهتمام.

لماذا؟ ماذا سيحدث؟

بسبب ما فعله تيريسياس فإنَّ  
الزَّمكان ينهار الآن على نفسه. وكلُّ  
"الأحداث" المقابلة لظوره  
"التمددي" وبعبارةٍ أخرى منذ  
الانفجار العظيم وصولاً إلى نقطة  
التمدد الأقصى،

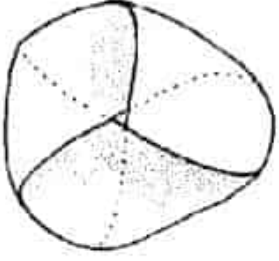
سوف تجد نفسها على اتصالٍ مع "الأحداث" المقابلة  
لطور التَّقْلُص، بسبب التَّصادف مع المناطق المقابلة.

هل تعني أنَّ الانفجار العظيم والانفجار  
العظيم المضاد سوف يمتزجان سويَّةً؟

هل أفترضُ أنَّ أحداً  
فكَّر بهذا فعلاً؟ (\*)

إنَّها مصادفةٌ غريبةٌ  
وعجيبةٌ ولكنها حقيقيةٌ.

ماكانَ عليَّ الإصغاء  
إلى تيريسياس

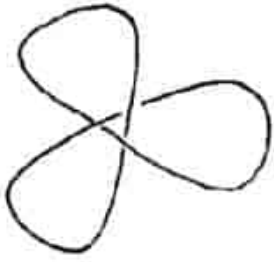


سوف تضع ظاهرة الرّبط مناطق  
الرّمكان وجهاً لوجه مع مقابلاتها  
المكانيّة، وكذلك مع التّقابل الرّمّني لها.

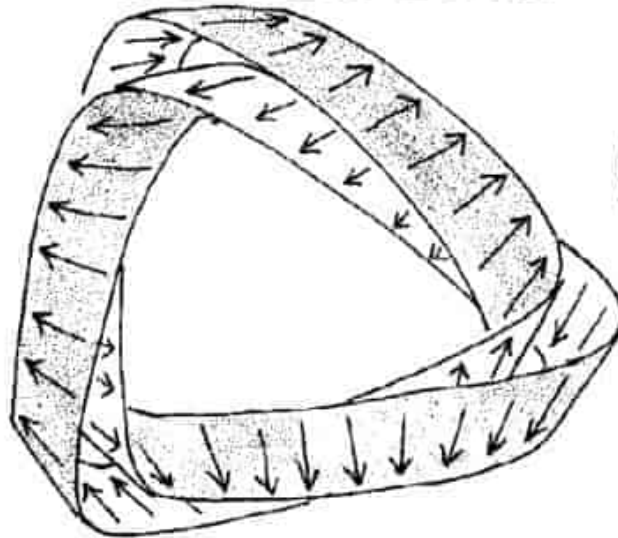
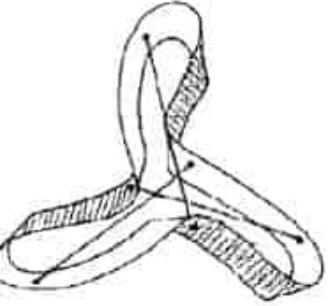


على الإطلاق. لناخذ مثلاً المنطقة  
القريبة من خط الاستواء في هذا الرّمكان  
الكرويّ، والتي تمثّل حالة الامتداد  
الأقصى. يمكننا أن نرى بوضوح كيف  
تطوى على نفسها في شريط الصّور "د".

مستحيل!



تضع "أسهم الرّمن" نفسها  
في مواجهة.

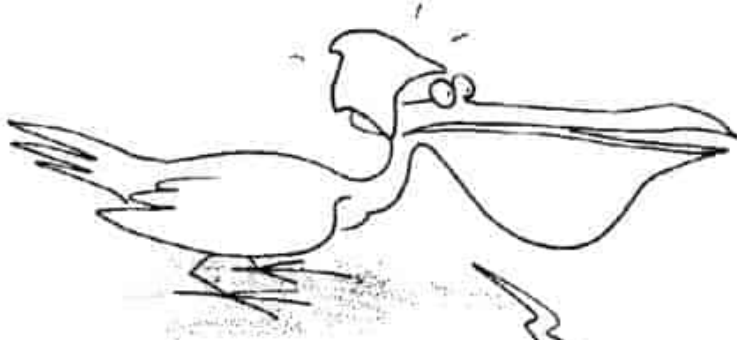


هل تقصد أن ما هو "الماضي"  
بالنسبة للبعض، يكون هو  
"المستقبل" لمقابلاتهم؟

أوووف



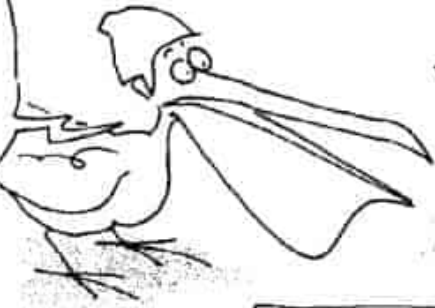
أحسنت يا ليون، عملٌ جيّد.



هل تعني أنّ هذا قد يُسقط الكون في حالةٍ من التناقض الذي لا يمكن احتمالها؟

عندما يأخذ محلّول التقلُّص مفعوله، فإنّ الكون سوف ينزلق متقلِّصاً على ذاته، وسوف يكون عنده وقت كافٍ للعودة بسرعةٍ كبيرة.

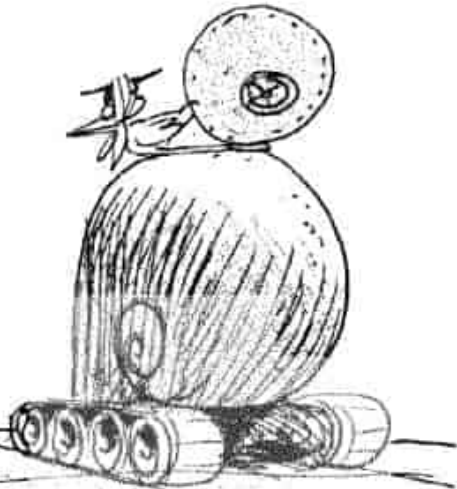
نوعٌ من النّهاية المسدودة منطقيّاً.

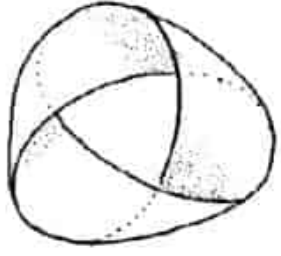


دعونا ندخل العربة الزمّنيّة ونحاول الاتصال به.

أين تيريسياس  
بالمناسبة؟

نتصل بكلّ  
الحلزونات؟





انتظروا، إذا أصبح تيرياسياس  
المقابل الزمني لنا وإذا نجحنا في  
التواصل معه فإنه سوف يعرف  
بالفعل ما الذي سنقوله.

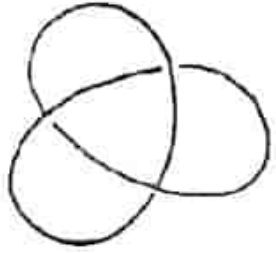
مرحباً يا تيرياسياس،  
هل تسمعني؟

يا إلهي!!

بل أسوأ من ذلك، سيكون  
هو الذي يبث هذه الرسالة  
في زمنه الحقيقي.



وعلى كل حال فإن الأمر  
سيكون أسوأ بكثير إذا قابلناه.



افترض "فاينمان" أن المادة  
المضادة تتوضع في زمن مقلوب.



وافترض الراهب "لوماتريه" أن  
المادة المضادة عبارة عن مادة  
ولكن ترى من الخلف إلى الأمام.

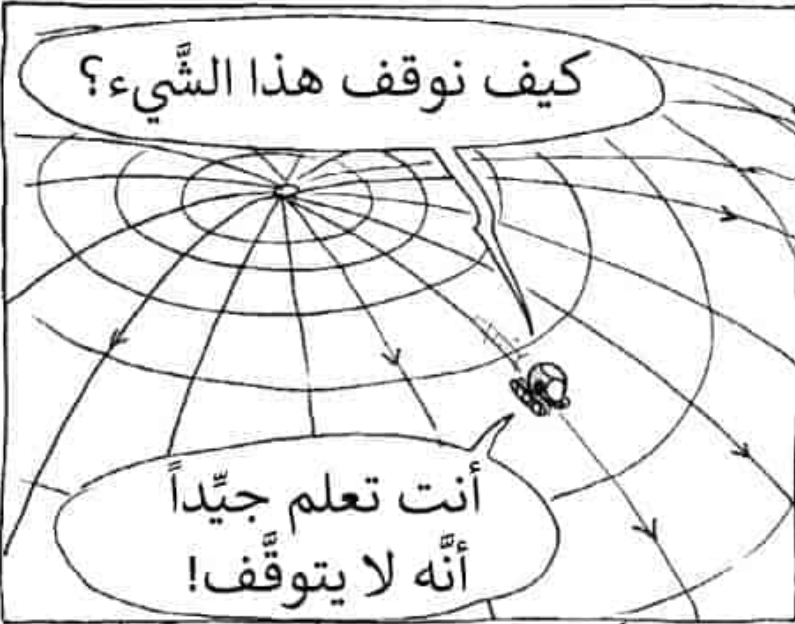
لماذا؟

إذا ساقنا الحظ السيء لمقابلة  
تيرياسياس فإنه سيكون قد  
أصبح تيرياسياس المضاد.

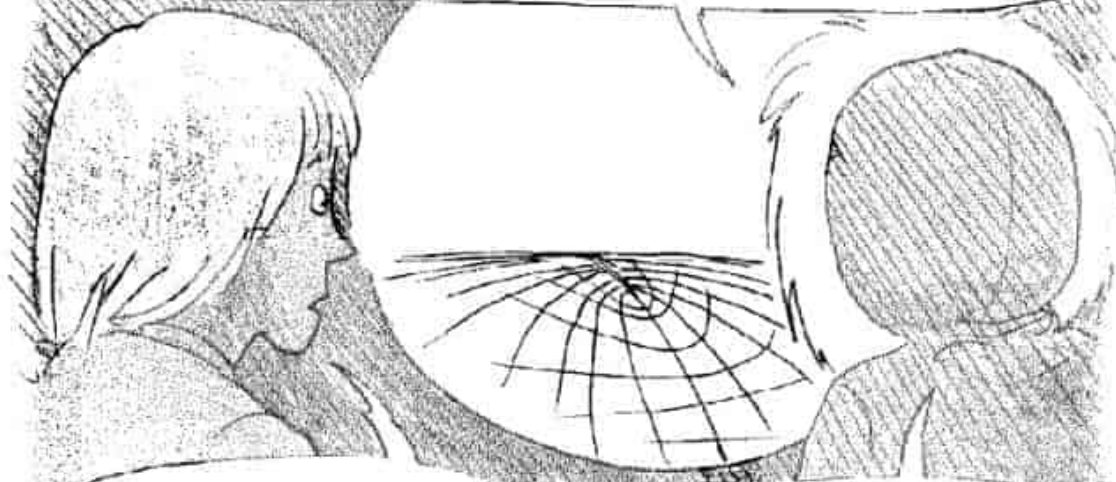
ماذا تقصد  
بكلمة بوووم؟



وبالتالي  
بوووم!



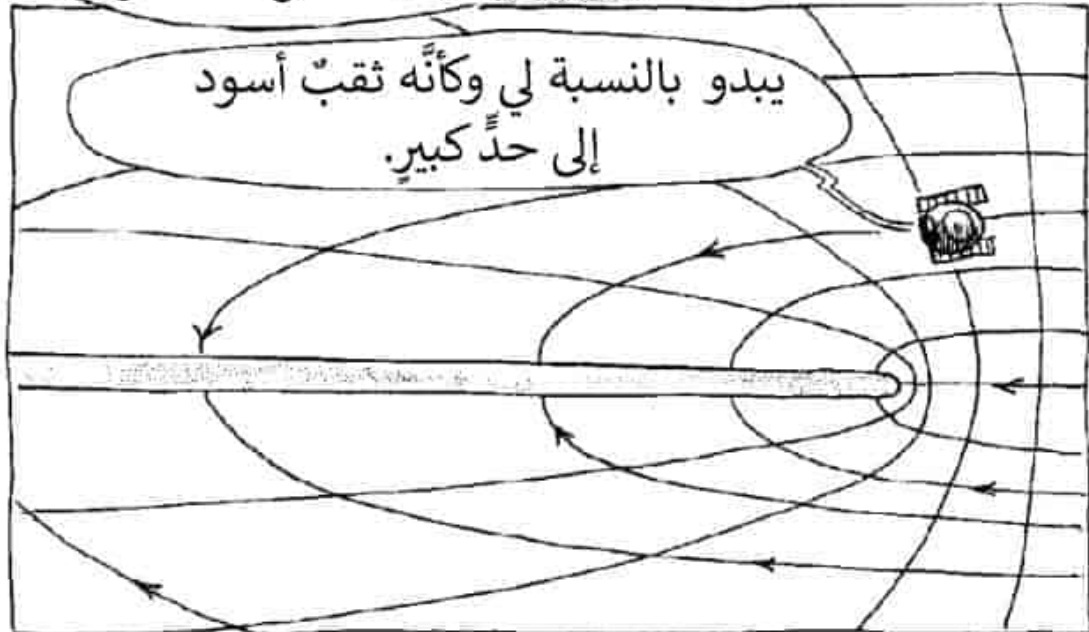
مهلاً، انظروا إلى ذلك! إلى الأمام مباشرة!



إنَّ خطَّ الكون الخاص بنا  
يتَّجه نحوها مباشرة!

يبدو مثل السُّرَّة.

يبدو بالنسبة لي وكأنَّه ثقبٌ أسود  
إلى حدِّ كبير.



نعم، إنَّه الوقت المناسب  
تماماً لطرح سؤالٍ كهذا!

ما هو ترتيب هذه  
النُّقطة المنفردة؟



يبدو وكأنه نوعٌ من عروةٍ زمكانية.

تغادر خطوط الكون النُّقطة المنفردة الآن، هنا في الأسفل.

أعتقد أننا نخرج من  
نافورةٍ بيضاء الآن.

نحن على الجانب  
الآخر من الكون.

يبدو مثل الجانب الآخر إلى حدٍّ كبير، باستثناء أنه  
يذهب في الاتجاه المقابل. وعندي انطباعٌ واضحٌ يشبه  
«دي جا فو»، أليس عندكم نفس الشعور؟



أيُّ مرآة؟

أوه، لقد فهمتُ،  
إنَّها المرآة.

إنَّ نصفيَّ الكون منعكسان بصرياً بشكلٍ  
مترابٍ، ولكنَّ المرآة زمكانيةً. وعلى الجانب  
الآخر من الثقب الأسود يكون كلُّ شيءٍ مقلوباً  
بالتَّراب مع الزَّمن. إنَّها قوانين الفيزياء:  
فالنُّقطة المنفردة تصدُّ المادة بدلاً من جذبها.

هل يعني ذلك أننا سنعيد  
تصوُّر هذا الكتاب  
بالاتجاه الآخر؟

نعم، سوف تتوقف المركبة الزَّمنيَّة،  
ثمَّ يفتح آرتشي الباب، ويخرج بعدها  
تيريسياس ليزحف، ثمَّ ...

النهاية

(\*) يمكن أن توجد نفس البُنى بأربعة أبعاد.

# ملحق علمي

اكتشف بوي، تلميذ هيلبيرغ، السطح المسمى باسمه عام 1902. وتمّ تقديم أول تمثيلٍ تحليليٍّ له عام 1981 من قبل جيروم سورياو، ابن عالم الرياضيات ج. م. سورياو، ومن قبل مؤلّف هذا الكتاب. إنّ الطّريقة شبه التجريبيّة المستخدمة تجعل خطوط طول السطح تماثل القطوع الناقصة، والتي يتم بعد ذلك إضافة معاملات إليها. وفيما يلي شرحٌ لهذه النّقطة:

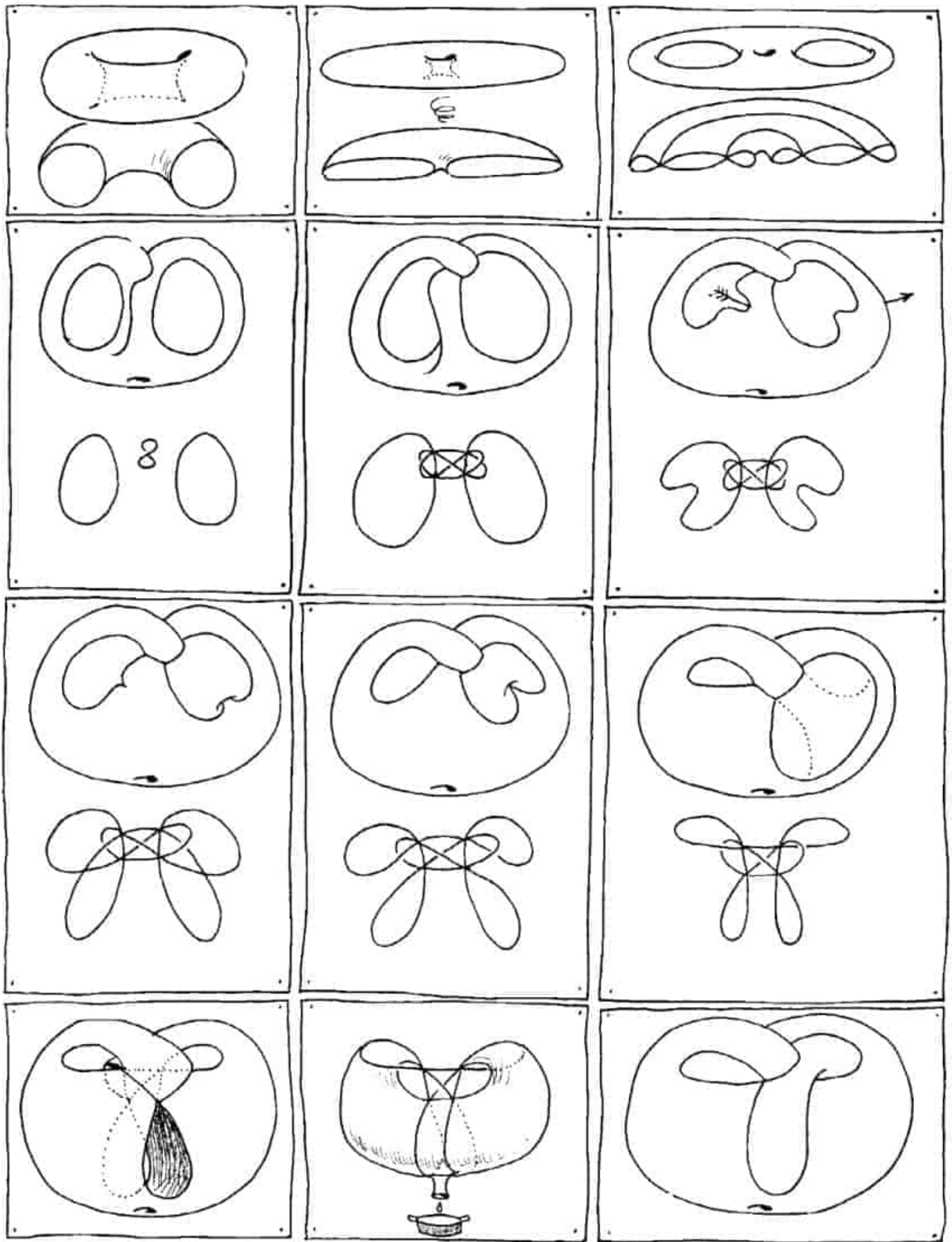
$$\begin{cases} x = X_1 \cos \mu - Z_1 \sin \alpha \sin \mu \\ y = X_1 \sin \mu + Z_1 \sin \alpha \cos \mu \\ z = Z_1 \cos \alpha \end{cases} \quad \begin{cases} X_1 = \frac{A^2 - B^2}{\sqrt{A^2 + B^2}} + A \cos \theta - B \sin \theta \\ Z_1 = \sqrt{A^2 + B^2} + A \cos \theta + B \sin \theta \end{cases}$$

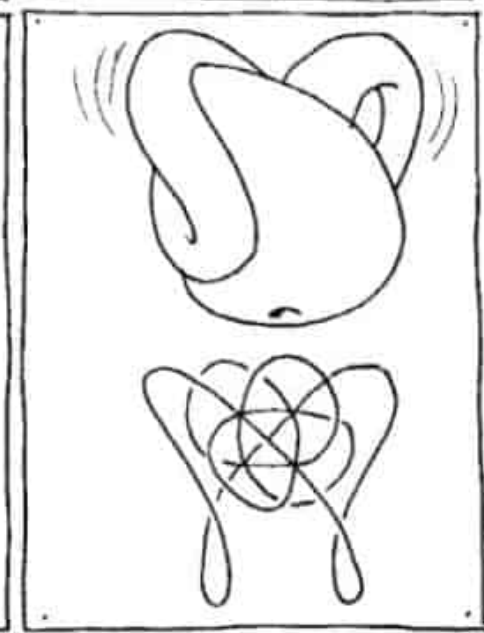
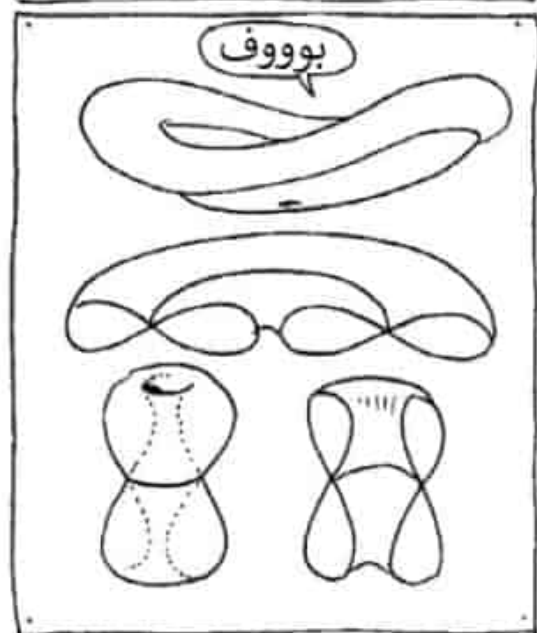
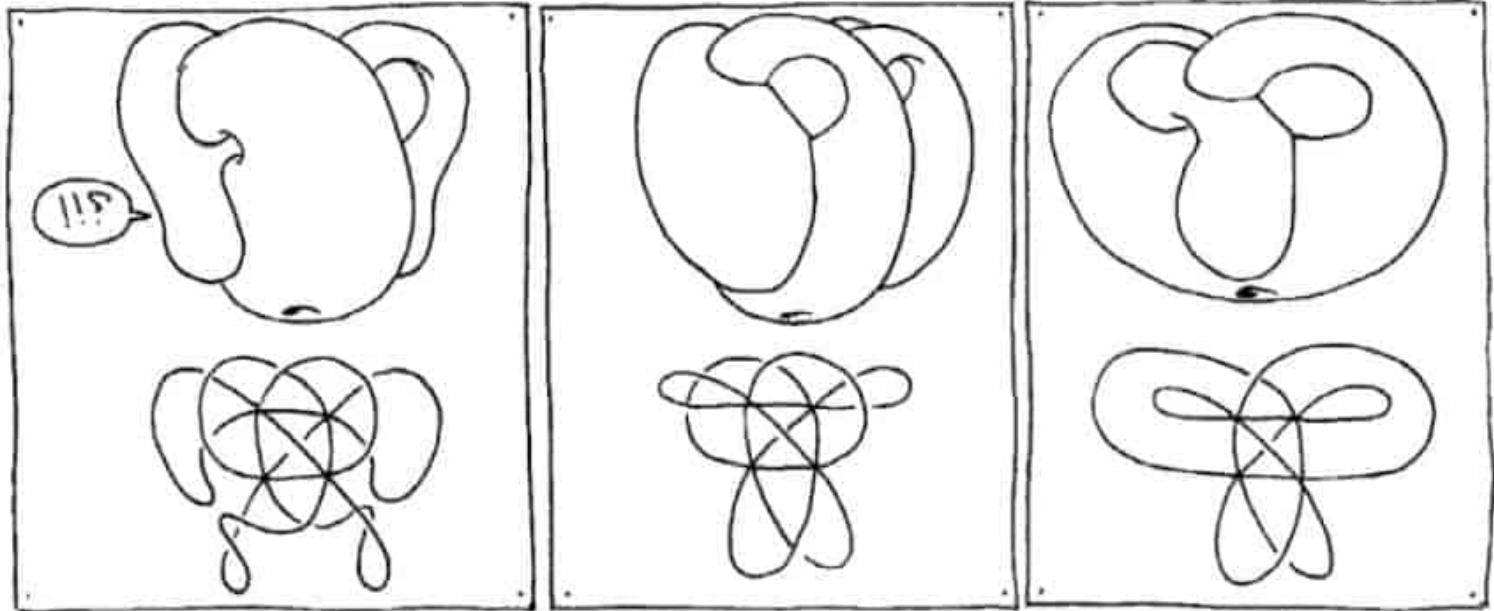
$$\alpha = \frac{\pi}{8} \sin 3\mu \quad \begin{cases} A(\mu) = 10 + 1,41 \sin(6\mu - \pi/3) + 1,98 \sin(3\mu - \pi/6) \\ B(\mu) = 10 + 1,41 \sin(6\mu - \pi/3) - 1,98 \sin(3\mu - \pi/6) \end{cases}$$

خطوط الطول: المنحنيات  $\mu = cte$ ، القيمة المتحوّلة من 0 إلى  $\pi/2$ ،  $\mu$  القيمة المتحوّلة من 0 إلى  $\pi$   
البرنامج التّالي المكتوب بلغة البيسيك يحاكي الرّسم الموجود على صفحة الغلاف:

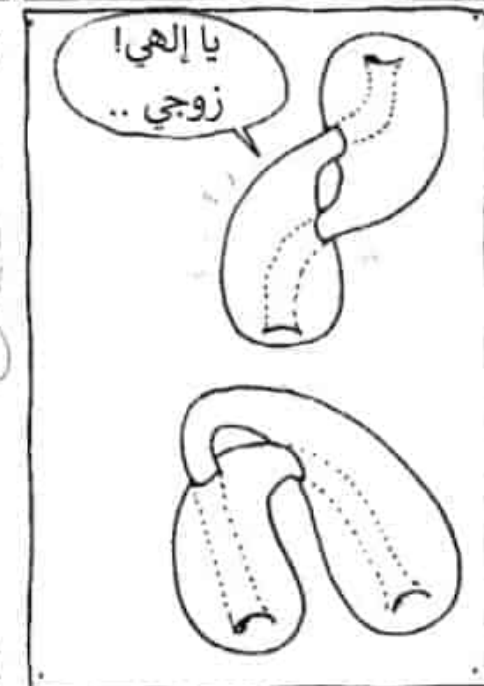
```
1 REM TRACE MERIDIENS DE LA SURFACE DE ROY
3 HOME : TEXT
50 PI = 3.141592:P3 = PI / 3:P6 = PI / 6:P8 = PI / 8:P8 = PI / 8
60 HGR : HCOLOR= 3
90 FOR MU = 0 TO PI STEP 0.1
95 P = P + 1
100 D = 34 + 4.794 * SIN (6 * MU - P3)
110 E = 6.732 * SIN (3 * MU - P6)
120 A = D + E:B = D - E
130 SA = SIN (P8 * SIN (3 * MU))
140 C2 = SQR (A * A + B * B):C3 = (4 * D * E) / C2
160 CM = COS (MU):SM = SIN (MU)
180 FOR TE = 0 TO 6.288 STEP .06
190 TC = A * COS (TE):TS = B * SIN (TE)
200 X1 = C3 + TC - TS
210 Z1 = C2 + TC + TS
250 REM VOICI LES 3 COORDONNEES
300 X = X1 * CM - Z1 * SA * SM
310 Y = X1 * SM + Z1 * SA * CM
350 REM PROGRAMME DE DESSIN
360 HPLOT 130 + X,80 + Y
400 NEXT TE: NEXT MU
```







مأخوذة عن بحثٍ  
بعنوان "قتل الأجسام  
الدورانية غير البسيطة"،  
قدّمه جان بيار بوتّي في  
أكاديمية العلوم في باريس  
بتاريخ 20 نوفمبر  
(تشرين الثاني) 1978



و أيضاً في مجلة "العلم" عدد كانون الثاني  
(يناير) 1979