

SAVOIR SANS FRONTIÈRES

知识无边界

昂赛姆
漫游科学世界



核能的故事

Jean-Pierre Petit

让-比埃尔 博笛



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

前言

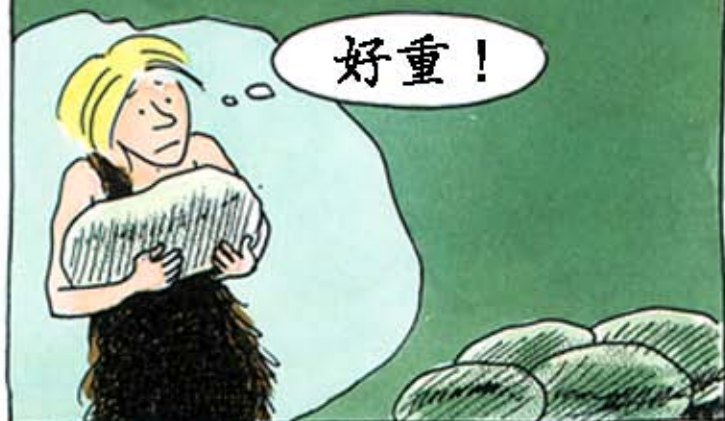
很久很久以前，人类还不知道如何生火。他们只能在太阳底下烧东西吃。



假如我们能找到烧得更快的东西多好啊！



到了晚上，他们就把白天被太阳晒暖的石头搬进洞里当床睡。



你睡了？

还没，我睡不着，石头都已经冷了。



冬天到了，就更冷，我们要想想办法……

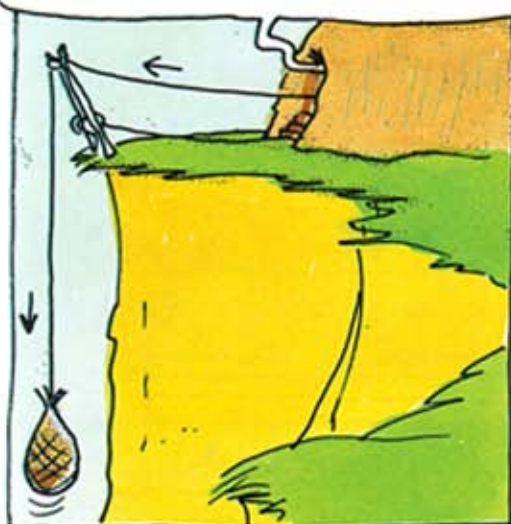
你在干什么呢？

我想办法保存能量。



每天晚上都要搬石头太累了。

所以我造了这个机器。
这样天黑的时候，我就能
把石头轻松地搬到洞里。



但白天的时候，
我先把重物拉
上来。



你储存了
势能。



为什么我们总是要先做功
来储存能量呢？

你在做什么，
昂赛姆？



我在改进储存能量
的方法。

好了！



你是说你
把能量储存到了这
个箱子里面？



我发明的这个箱子是
用来储存内能的。



你可以携带，
随时利用这个能量。

AAAAHHH



化学能

索菲，你怎么了？
这只是一个储存
内能的箱子而已。



我要把洞里打扫打扫。好脏啊，到处
都是硝石、硫磺粉……

还有被天雷引起的
火灾烧成炭的树枝。



我要好好打扫
干净……



还有一个
石头……



索菲，我发明了一种
黑火药，它的能量好大！



我们可以用它来
烧东西，或是取暖。



你看好了！

这的确是一个很好的发
明，不过它要是能给我们
留一点东西吃就更好了。



难道我要放弃吗？



如果你把这个
火药和沙子混合
起来的话……

成功了！沙子慢慢地
把火药的能量释放出来。



我们可以控制
热能了。

太好了，这样我们冬天
就不怕冷了。



洞里是热乎乎的，不过就是烟太大，好呛人！



不被冷死，就是被呛死。

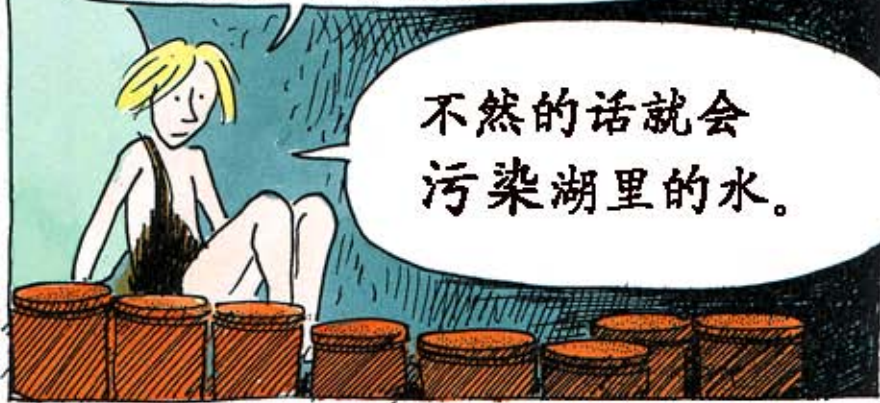


行了，把烟存在这个羊皮袋里就好多了。

然后我把烟尘装到这些罐子里。



不过这样还是不方便，不能把这些罐子乱扔……



不然的话就会污染湖水的水。

核能

看，好奇怪，这里的水往上喷，而且是热的。



这能量是从哪里来的啊？

难道地底下有鬼在烧水？

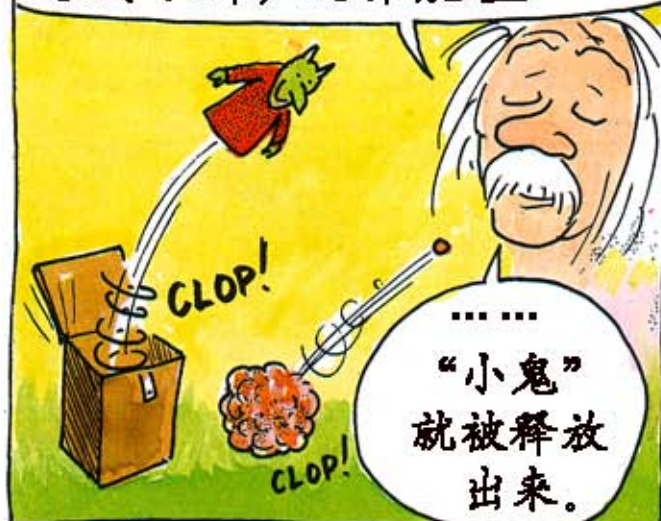


爱因斯坦教授，这到底是怎么回事啊？



传说，在太阳这个巨大的火炉里，能量被装在一些重核原子（比如铀原子）的原子核里。当地球诞生的时候，这些原子从太阳里喷射出来，被到了地球里面。

但是原子不是“坚固的箱子”，所以经常会有盖子松开，这样能量……



这个神话还预言说，当末日到来的时候，所有的能量都会被释放光。整个宇宙也不再会有这种形式的能量。



不过，那只是在很久，很久之后而已。



那箱子里的这些小鬼呆在里面多长时间？这些原子核什么时候才会把能量释放出来啊？



放射性元素的半衰期

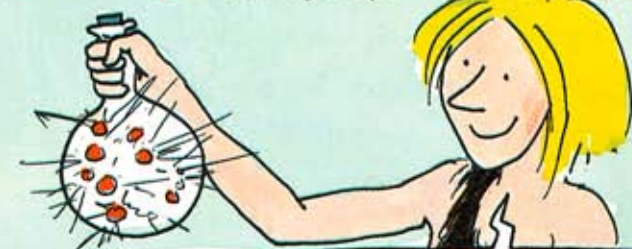
一个同类“能量箱子”的样本，在一定的时间 T （称为半衰期）之后，一半的箱子会释放出能量。接着又一个半衰期之后，剩下的箱子的一半又释放出能量，依此类推。每一种箱子都有自己的半衰期，从几微秒……

放射性原子核数量



……到一百亿年。如果没有这些埋在地底下的“能量箱子”的话，我们冬天就冷多了。

如果我能找到这些装有能量的箱子就好了。



我只要把它们装到一个瓶子里，冬天就可以拿来取暖了。

当心，昂赛姆，核能比化学能可大多了！前者可是后者的十几万倍。



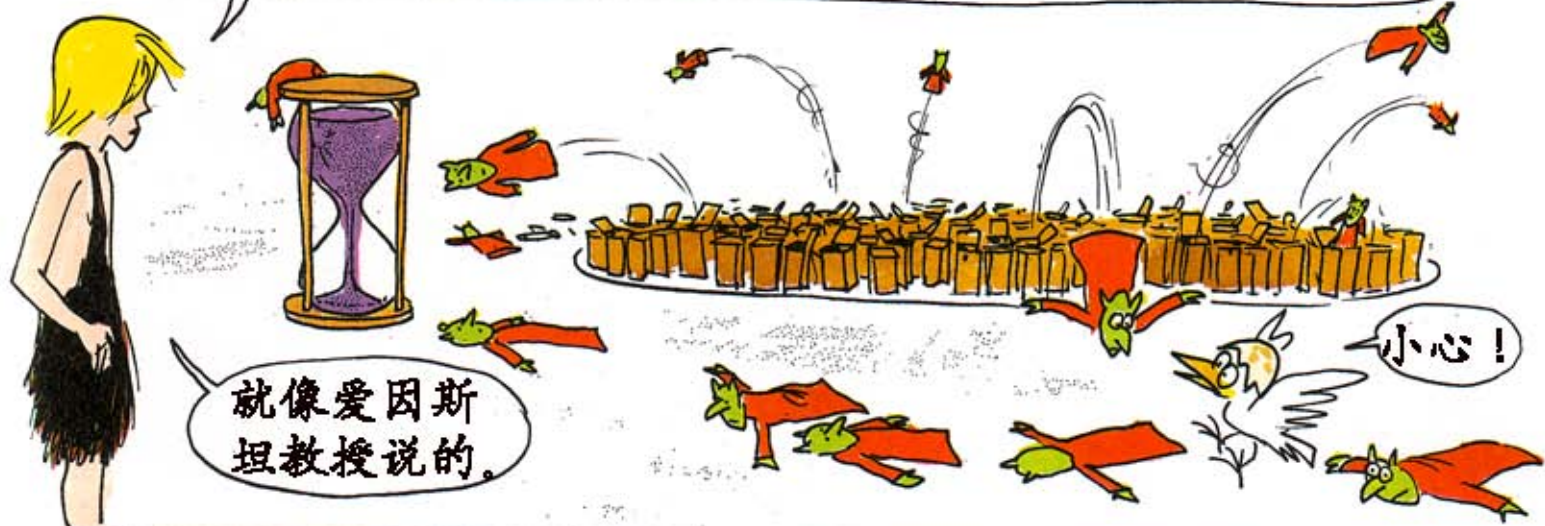
核能小鬼
比化学能小鬼看起来是凶狠多了。

让我来看看爱因斯坦教授说的是不是真的。我把这些同类的“能量箱子”放在一起，然后把盖子盖上。



这样，这些盖子就会一个个打开。

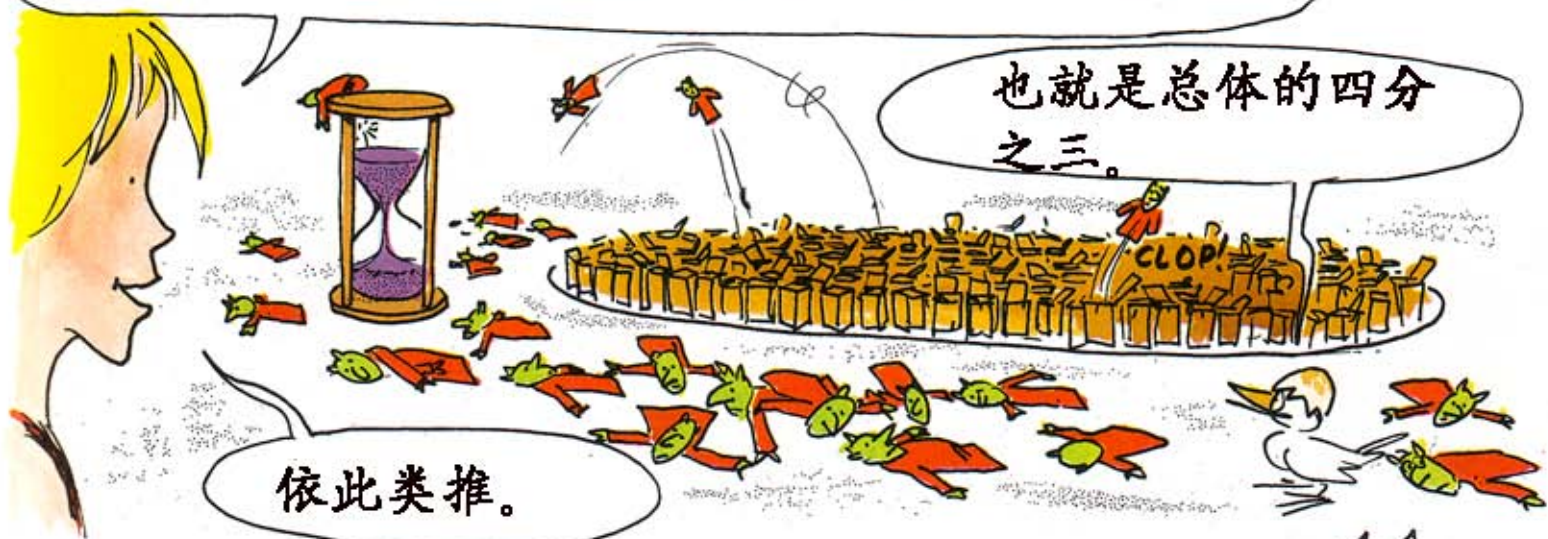
一个半衰期之后，一半的箱子变空了。



就像爱因斯坦教授说的。

小心!

第二个半衰期之后，剩余的箱子的一半又空了。



依此类推。

也就是总体的四分之三。

这样，被打开的箱子数量随着时间的增长而减少。

那地球以前比现在一定热多了。

然后慢慢降温。

能量的转化

那热能是从哪里来的呢？

让我们把瓶子放到一个锅里去看，

好主意！

放射性原子核释放的核能被锅里的水吸收，转化为热能把水烧暖了。

不过，这种天然放射性原子释放的能量不怎么大。

也就是说，我们需要好多放射性原子才能取暖。

不同的放射性元素

其实，能量小鬼不只一种。不稳定的原子核能放出的第一种射线是X射线或伽马射线，是一种看不见的光线。

冲啊！

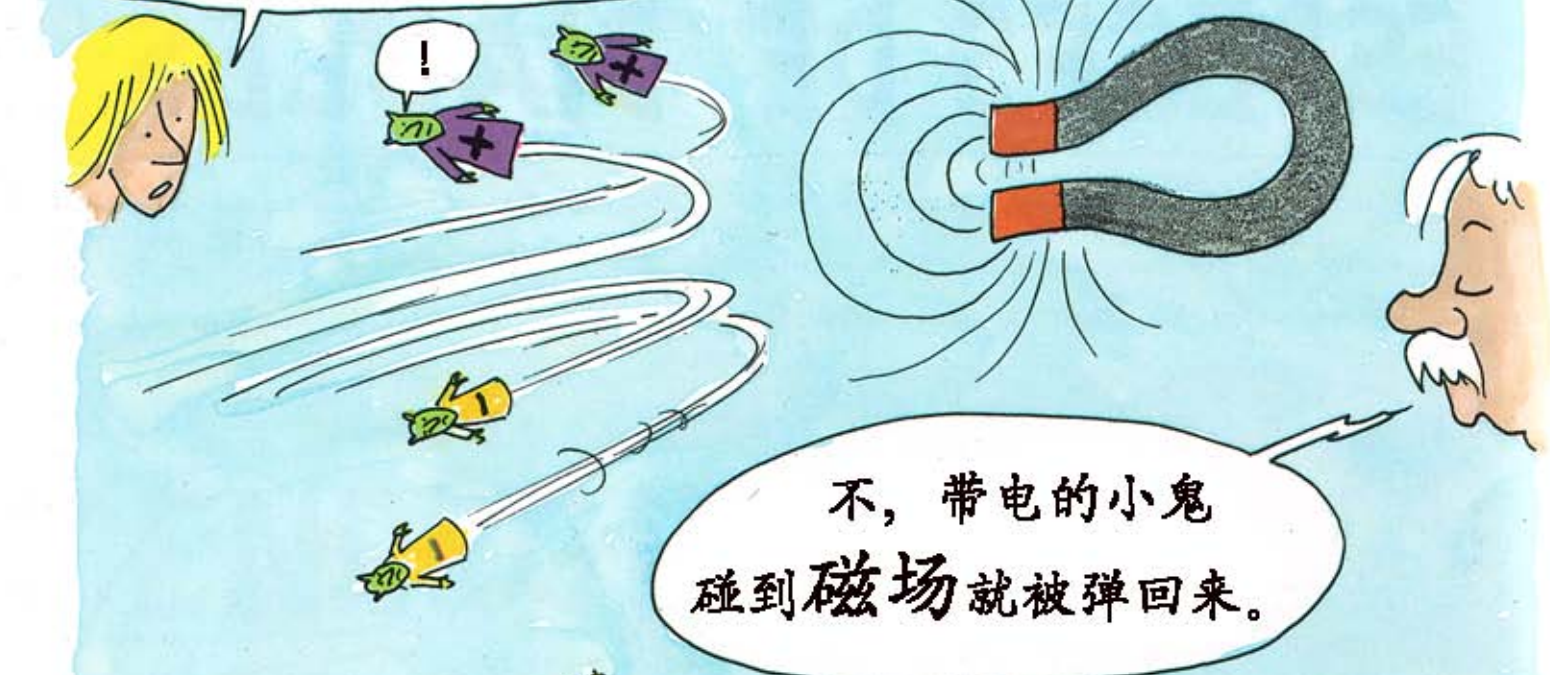
我们可以用一道防辐射墙，比如铝墙，来吸收它们的能量，再把它转化为热能。

还有一些能量小鬼还是带电的。

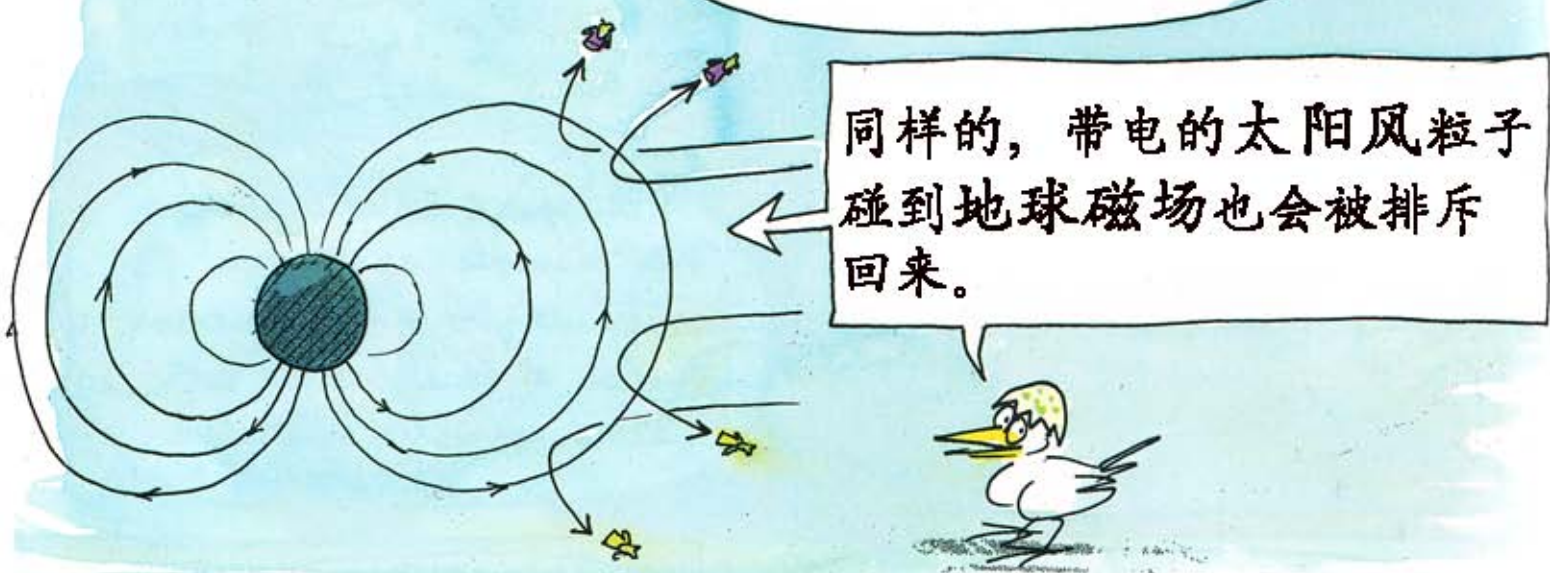
那它们飞得快吗？

那就要看它们的能量了。有的速度可达到几万公里每秒。

以这个速度，那它们能穿过任何东西了……



不，带电的小鬼碰到**磁场**就被弹回来。



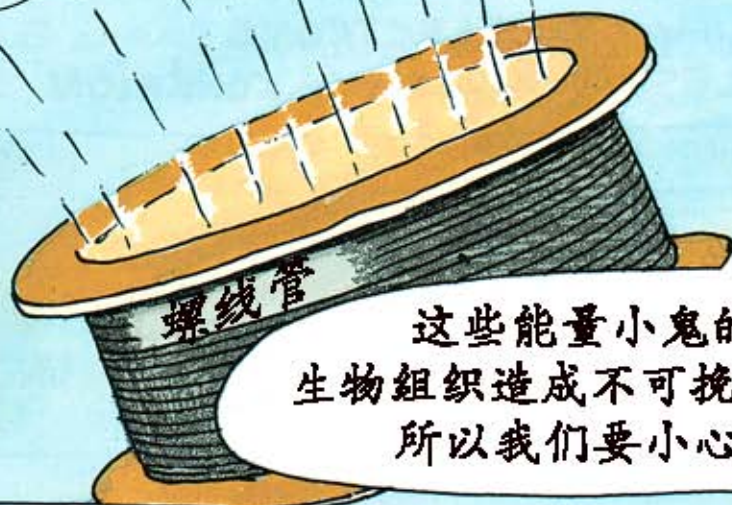
同样的，带电的太阳风粒子碰到地球磁场也会被排斥回来。

地球的磁场保护着地球啊！……



嗯，是啊！如果地球没有这个磁场，太阳风就会攻击地球上的生物，人类就不可能诞生了……

第三种能量小鬼，也是最危险的，是中子。它们的运动速度可达到两万公里每秒。因为它们不带电，所以不受磁场干扰。



这些能量小鬼的攻击能给生物组织造成不可挽回的伤害。所以我们要小心！

这些带电或不带电的微小粒子都有一定的质量，它们运动时候的动能*能被一个固体，液体或气体吸收转化为热能。但我还想知道更多关于原子核的知识……



* 动能计算式 $E = 1/2 M \cdot V^2$

原子核的稳定性

造一个原子核，我们需要中子，质子，和一些叫介子的微粒子。



铀235: 92个质子
+143个中子
=235个核子



钚239: 94个质子
+145个中子
=239个核子

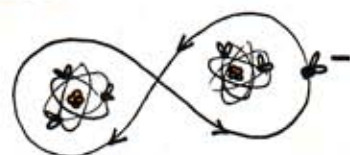


介子在原子核里的作用和电子在分子里的作用差不多，保持整个粒子的内聚力。

原子核和分子有什么区别？



原子核是有核子组成的。
分子是由原子组成的。
而我们，又是由分子组成的。



电子参与
分子内聚力作用

化学 研究分子的组合。



核物理学 研究原子核的组合。

一个不稳定的原子核是一个生命很短的原子核。

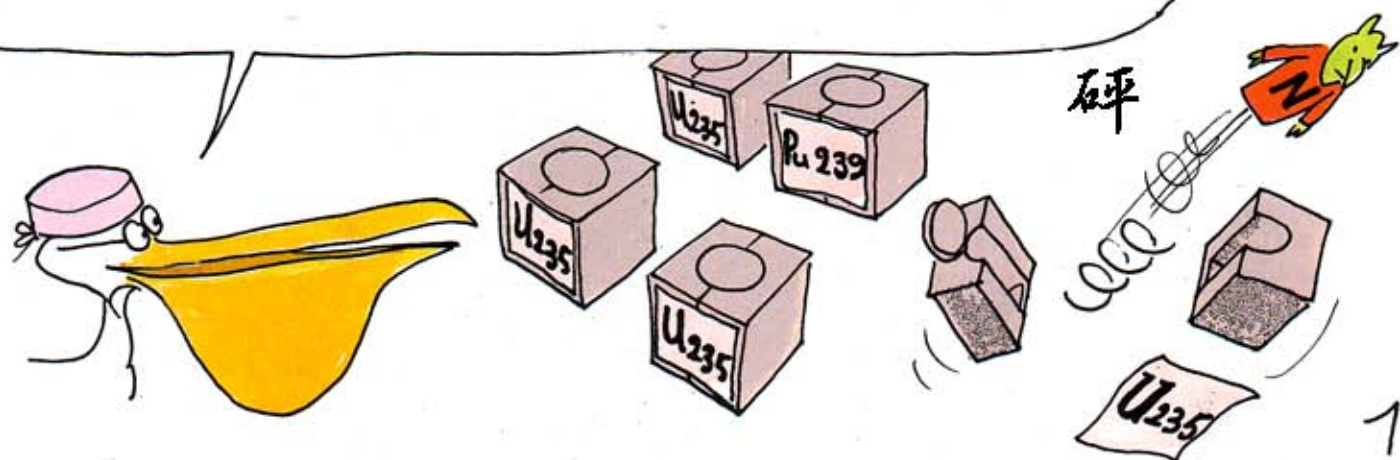
中子可以撞击重核原子使原子核分裂，从而引起重核裂变。

比如铀235和钚239这些重核原子。

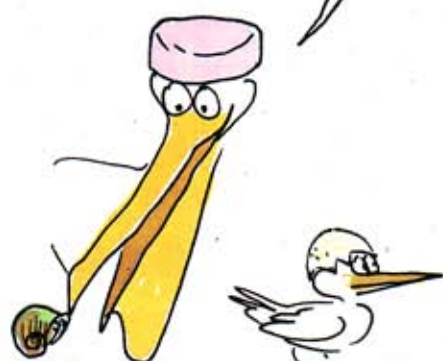
核裂变

我们可以用一个由质量不同的两部分组成的盒子和一个中子小鬼来表示一个重原子核。

铀235和钚239的原子核是有自然放射性的。而且它们的半衰期都很长。



一个中子的撞击能使这个钚原子核分裂成两个新原子核，同时放出两个中子。^{*}这就是一个核裂变反应。



我要仔细看看！

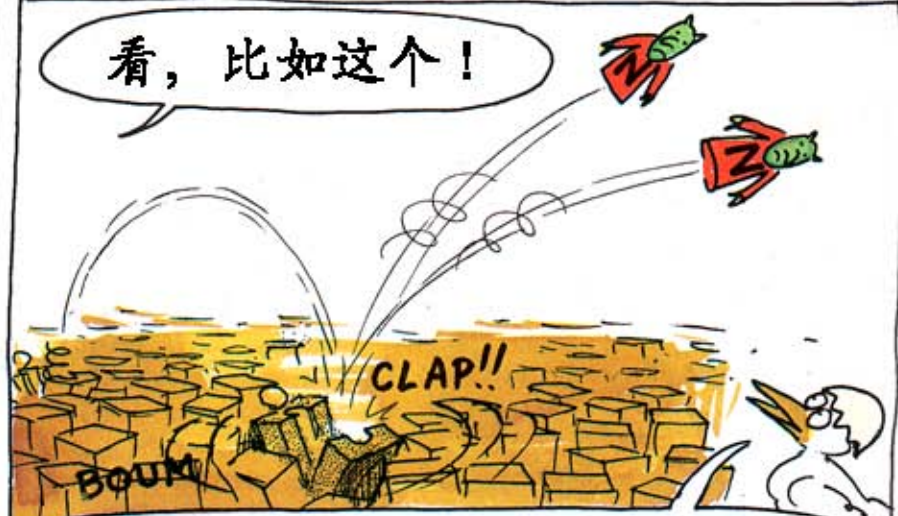
昂赛姆做了好多装有能量小鬼的箱子啊！它们被放在一个半径为R的圆里。

钍235或钚239



看，能量小鬼一个个被弹出来了！

看，比如这个！



这些都是中子。

一个核裂变反应释放出来的中子又去撞击旁边的原子核，使它 also 发生裂变。

^{*}事实上，钚239原子核首先吸收撞击的中子，变成钚240。得到的这个新原子核极不稳定，立即分裂开来。

链式裂变反应



这两个中子又重新冲撞另外两个原子核……





临界条件



事实上，除了能量很低的自然放射性和能量极强的链式反应，还有能量介于两者之间的反应。我们可以用尖端技术调整原子核分布密度来确定每秒能量的释放，也就是**能通量**。



核反应堆


我们就不能控制这个反应吗？

我们可以加入一种能吸收能量的物质。



看起来好像是苍蝇贴！






再降低一点，你甚至可以停止反应堆的运作。

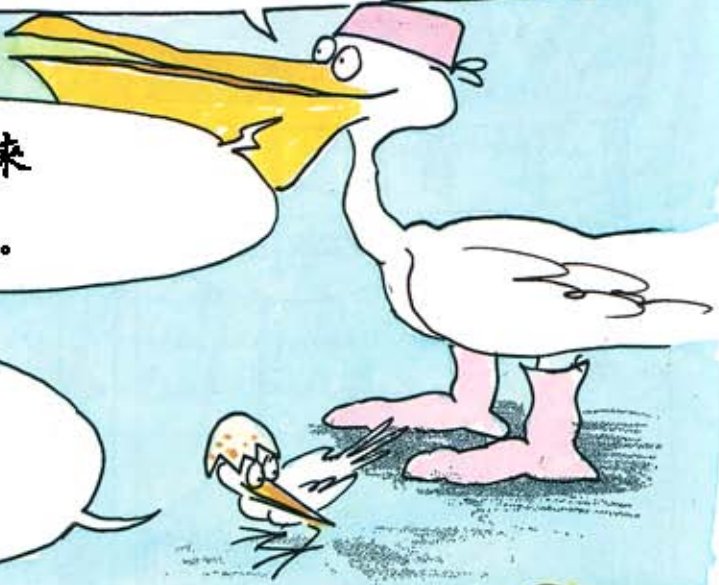
所有的能量小鬼都被粘住了。这样反应就无法进行。

这样，就只剩下自然辐射，能量非常低。

总结一下，要做一个核反应堆，我们需要一堆足够量的重原子核，铀235或钚239，和一个能吸收能量（也就是被释放出来的裂变中子）的物质来控制反应。



但一堆铀矿只含有0.7%的铀235（可裂变），剩余的都是不可裂变的铀238。



我们可以用镉来吸收裂变中子。

听说钚239不是天然存在的元素，那我们从哪里找来放到反应堆里用啊？

嗯，对啊！有道理……

可转换材料

铀238也可以被看作是一个由两部分组成的盒子。然后我们在中间放一个中子。



也就是说，一堆铀反应堆含有可裂变铀和可转换铀。其中一定数量的可转换铀可变成可裂变的钚239。



一定数量是多少？

这就要看反应堆如何运作了。开始的时候，裂变中子被以20000公里每秒的速度放射出去。



呀！

23

快中子反应堆

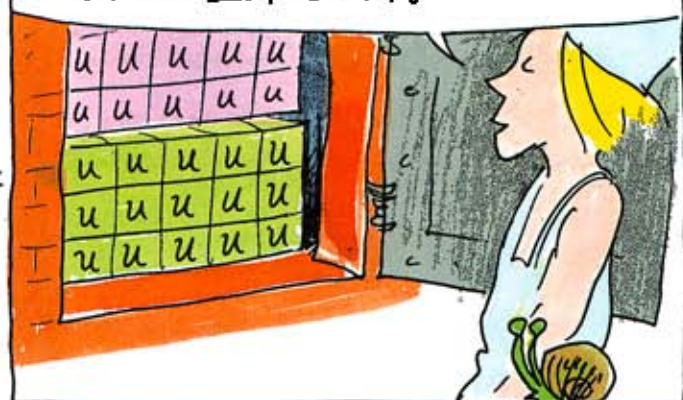
铀235核裂变所产生的快中子，可以使铀238变成钚239。接着，钚239就可以裂变了。

你在干什么啊？



我把一个经过加工的富有铀235的矿石放到反应堆里。

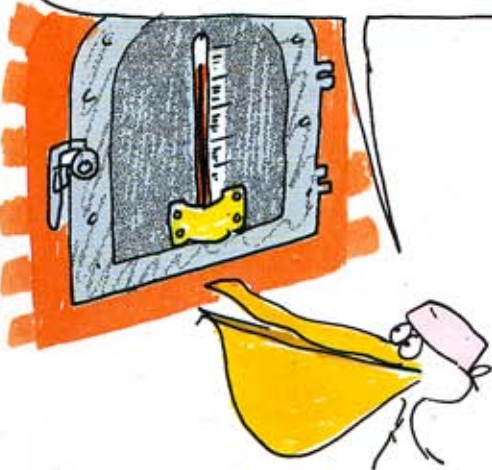
然后我把一层可转换的铀238盖在上面。



快中子以两万公里每秒的速度在反应堆堆芯激烈活动。如果我们把它看作是气体分子的话，那气温就能达到160亿度。

三年后……

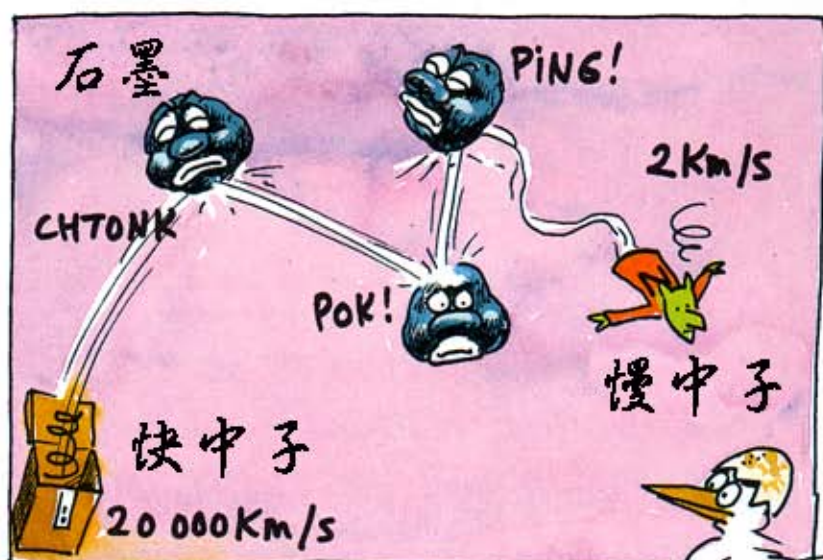
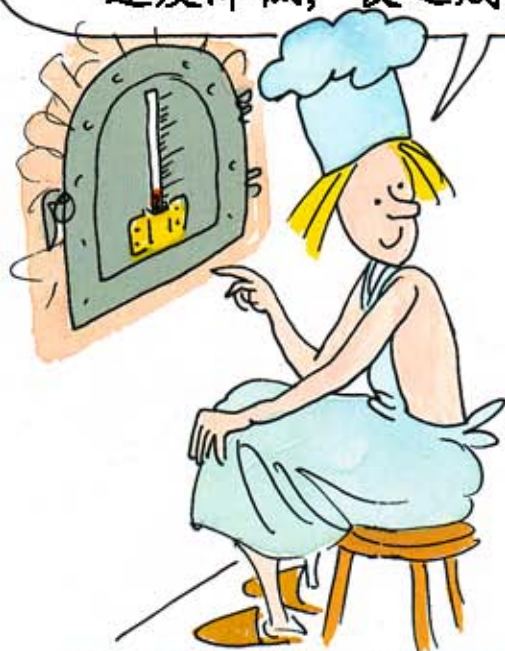
快看，得到的钚239比被消耗掉的铀238还要多！这是一个核燃料增殖堆！



这很正常！每个铀235核裂变产生两个快中子，可以使两个铀238变成钚239。

热中子反应堆

我可以用**镉棒**俘获慢中子，适当控制甚至停止反应堆的运作。而用**石墨**，**重水**这样的慢化剂，我可以把快中子速度降低，使之成为**热中子**（或称慢中子）。



这样，我们就可以把中子的**热运动速度**降低到2公里每秒。这个中子气体的温度也就是反应堆的温度。

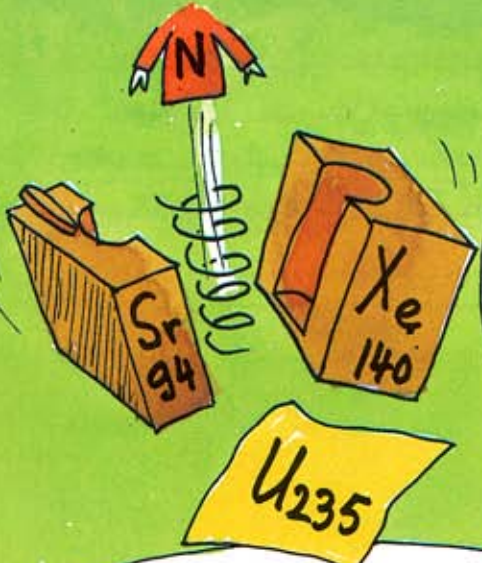


不过，少量的**钚239**还是被制造出来，不过比快中子反应堆是少多了。

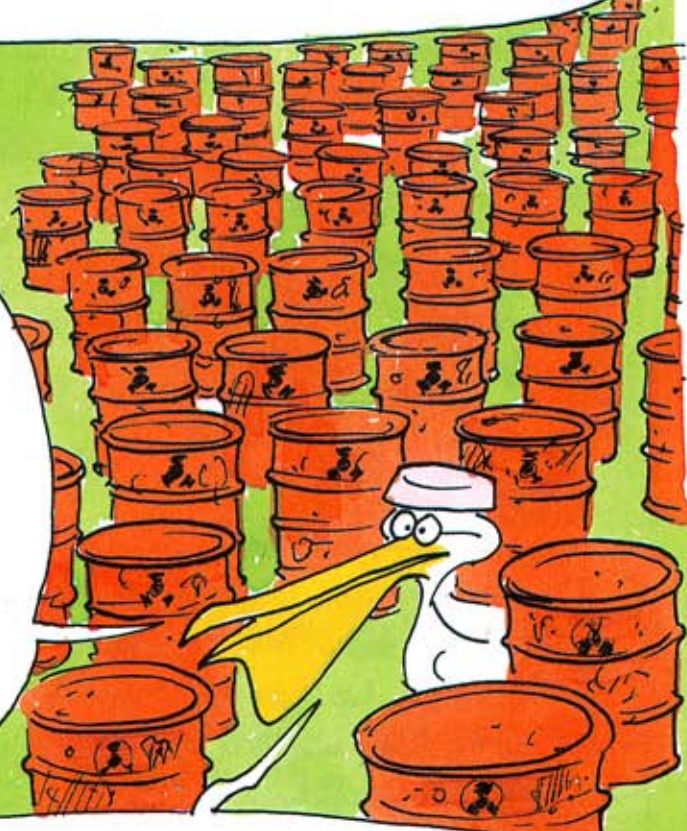
要知道，在这两个反应堆之间没有一个明显的界线。所以就存在在这两者中间的中能中子反应堆。



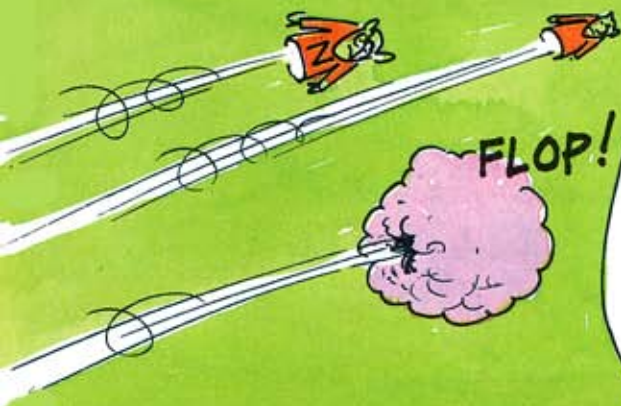
放射性废物 感生反射性



铀235或钚239核裂变之后的产物是多种多样的。举一个例子，铀235可裂变为氪94和氙140，同时还放出一个中子。这样，我们就有 $94+140+1=235$ （能量守恒）。



所有这些放射性元素对生物体的伤害都是很大的。核裂变产物的寿命很长，而且都具有放射性。铯元素可积累在骨组织上，碘积聚在甲状腺中。铀本身也是非常危险的。它们能引起癌症和白血病。



裂变中子可以被反应堆里无害的原子吸收，使它们不稳定，变成放射性元素，这样这些裂变产物就更加危险了。

“订做” 放射性元素



一个反应堆能生产不稳定的，半衰期不同的放射性废物。

不，这些放射性核会衰变，从而发射氦核、正电子、负电子或光子*。

你是说这些原子核又能裂变？

看，昂赛姆在处理这些废物。

CLAP!

我们可以“订做”各种半衰期不同的放射性元素。把一些普通元素放到反应堆里，用一定的能量小鬼轰击，我们就可以得到人工放射性元素。

我是一个贫穷而孤独的科学家的！

镓68 半衰期：一个小时

(*) 依次称为 α 衰变，正 β 衰变，负 β 衰变，和 γ 衰变。

约里奥-居里夫妇在20世纪30年代发现了人工放射性元素，使得核聚变也在几年后被发现。

昂赛姆不见了！不过我们可以根据被释放出来的能量小鬼来确定他的位置。



CLAP!

我有个主意！我们可以根据人工放射性元素释放出来的能量小鬼来确定放射性原子核的行迹。

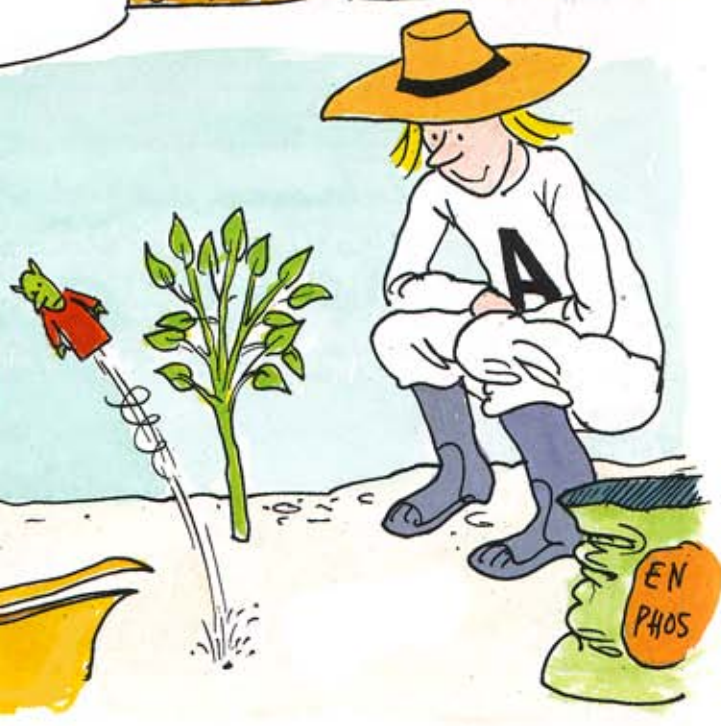
我们甚至可以利用放射性同位元素来做生物学上的标记物。这样我们就可以确定分子在生物体内的移动。




CLAP!

当心，我们中间有个不稳定的危险个体。


人工放射性的应用很广。比如我们在化肥中加入磷放射性同位素，就可以研究化肥在土壤中的移动。




原子弹




核物理学给烟花科技也带来了不少进步。用发爆器把两块裂变材料（铀或钚）在瞬间混合起来，得到临界条件，随后造成连锁反应。巨大的能量被释放出来发生爆炸，在空中形成一朵漂亮的蘑菇云，“美不胜收”！



这两块混合就能得到临界质量了。



各种形式的能量小鬼冲出来，大量的放射性废物被热气流带到空中，对周围的环境也造成污染。这真是一朵“毒蘑菇”啊！



如果你想加入“快乐烟花俱乐部”，一定要有100%纯净裂变材料。有两种方法可以得到：从天然铀矿中提炼铀235，或去你家最近的核电站里收集反应堆的产物——钚239。



快好了，快好了！

核聚变



那太阳是不是因为有很多铀元素，铀裂变之后才使它这么热？

不是这样的，昂赛姆。一个化学反应，是由几种物质混合之后，才发生的。比如氢，氧分子的混合。

这里面什么都没有发生啊！

这是因为温度还不够高。

加热一下……

轰！

这是？

H_2O , 水

有些反应能释放出巨大的能量，但产物却是无害的。

如果有一天飞机用液态的氢，氧元素做燃料，那它们飞过的时候就只会留下……白云。

我们也可以“燃烧”原子核吗？

嗯，只要温度够高。

氘和氚都是氢的同位素，所以又分别被称为重氢和超

重氢。它们原子核中都只有一个质子。但中子个数不同（氘有一个中子，氚有两个）。它们能反应产生氦元素。



能量小鬼
大舞会

看，这是一个由相同量的氘气和氚气组成的混合气体。在通常气温下，两个电子绕着两个原子转，使之成为气体分子。



氘分子



氚分子

当舞会的节奏加快，能量小鬼转得很快的時候，气体分子就会分离，这样小蜜蜂电子就只绕着一个原子核转。

到了大约三千度的时候……

我不行了，它们转得太快了！

是啊，我也没办法了！我们走吧！

这样，这个气体就成为由独立的原子核和自由电子组成的高温等离子体。

再加热，再加热！

你们不认为四个人更好吗？

嗯，在这个温度下四个人更稳定。

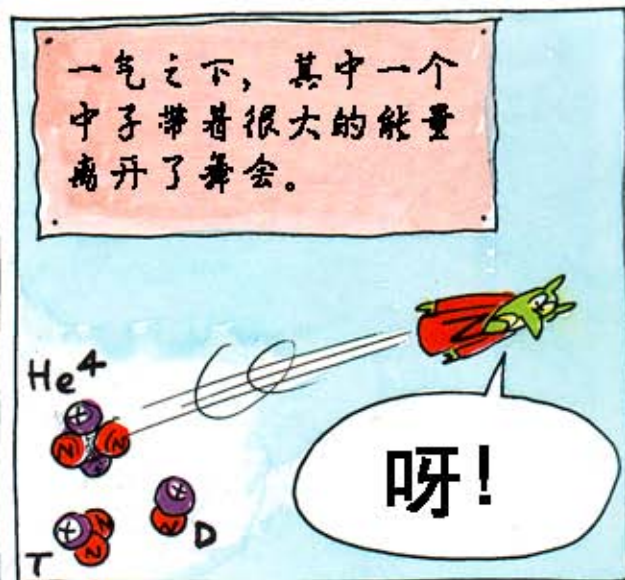
到了一亿五千万度（聚变温度）的时候，能量小鬼的舞蹈开始变化了。

是吗？

又怎么了？

那我呢？

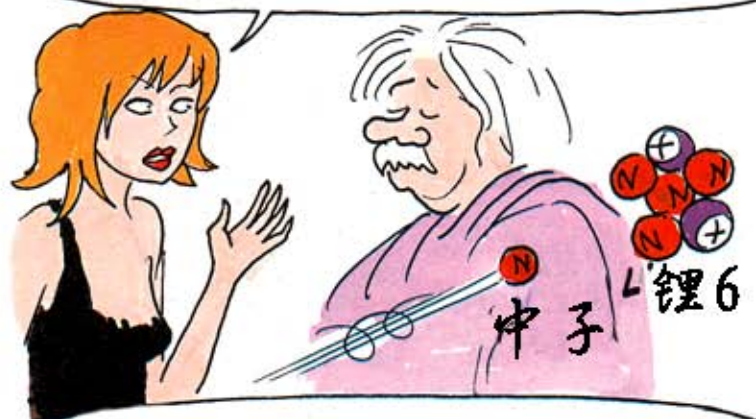
嘿，等一下！ $2+3=5$ 。氦元素不是只有4个核子吗？



一气之下，其中一个中子带着很大的能量离开了舞会。

也就是说，聚变和裂变一样，也会污染，因为聚变中子可以把其他稳定原子变成放射性原子。

但是我们可以用锂6来吸收聚变中子，使之裂变成氦4和氚3。



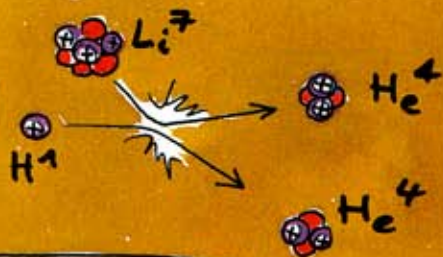
也就是说，锂是一种可转换元素，可在反应堆外层形成再生区，而且它还可以补充“聚变燃料”——氚3。

是的，一个聚变反应堆也有点像增殖反应堆。这样我们就可以生产不稳定的氚*。天然氚可是很稀少的哦！



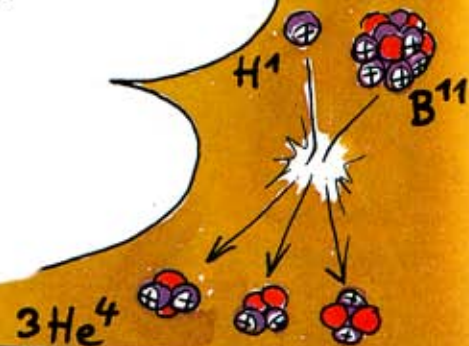
(*) 它的半衰期为12年。

但我发现有很多核聚变反应不产生中子。



比如锂7 + 氢1 = 2个氦4
($7 + 1 = 2 \times 4$)

硼11 + 氢1 = 3个氦4
($11 + 1 = 3 \times 4$)



第一个聚变反应在50亿摄氏度下才能进行，而第二个则需要近百亿度。

啊……那这些原子核到底是怎样聚变的？

在太阳里面，聚变反应只在1500万摄氏度的温度下慢慢进行。

太阳就像火炭一样烧？

对，要得到“核火”，温度要在几秒内达到1亿5000万度才能使反应进行。

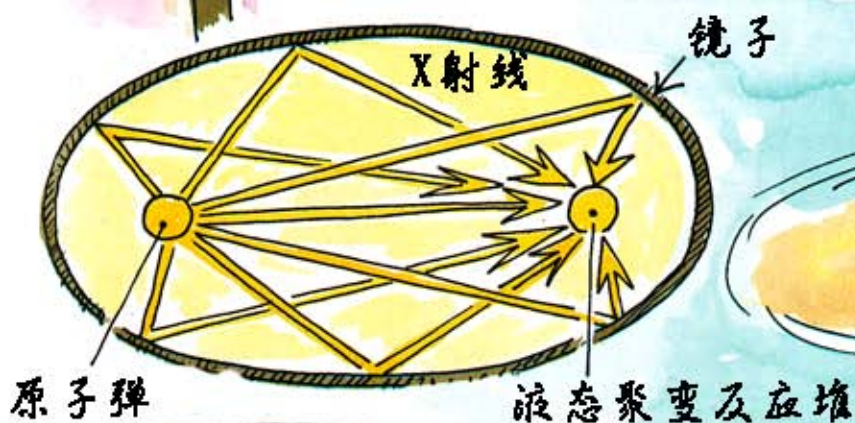
科学家们想用TOKAMAK装置控制聚变反应。

成功了吗？

嗯……没有，有点小问题。

嘿，不要气馁！

爱德华·泰勒*成功地实现了人工核聚变反应，同时也发明了一种新核弹。我们不想制造核弹，但我们还是做了。泰勒总是有很多好主意。他知道原子弹在爆炸后几百万分之一秒的时间内，放出大量的X射线。他就提出用某种镜子把这些射线集中，从而得到一个极高的温度，然后把它反射到一个氘氚混合体上……



他成功了？

是啊……成功了。

*爱德华·泰勒 (EDWARD TELLER) 是一位美国理论物理学家。有“氢弹之父”的称号，也被认为是电影《奇爱博士》的灵感来源之一。

泰勒甚至用铀238来制造这个镜子。

为什么用铀238啊？

你自己想想看啊！氢弹爆炸之后，聚变中子轰击可转换的铀238，把它变成钚239，这样钚239就能再裂变。

这就是恐怖的
裂变—聚变—裂变三相弹。

导引能量产生聚变

我们试着把各种形式的能量：高能激光辐射，电子和加速器里放出的各类粒子聚集到液态的氘氚混合体上来实现聚变。所要聚集的能量是巨大的，而且要在几百分之一秒内点燃这个“热核火把”，相当于把一面有法国国土面积那样大的凹面镜来聚集太阳光，照到一个直径不到一毫米的球体上。

释放出来的瞬时能量极大，但总能量并不大。一根核能火柴的能量相当于两百克的火药。

后记

我们需要核能，但聚变，裂变反应的缺陷太多。

放射性废物太多了！

而且还有很多意外事故。如果一个反应堆失控，就会使钢材容器，水泥墙，甚至地面熔化，裂变反应堆也会不受控制地深陷到土壤里，造成所谓中国综合症*，引起巨大污染。

怎么办呢？

对核能的研究到现在才40年。我们还只是在核能时代的开端而已。

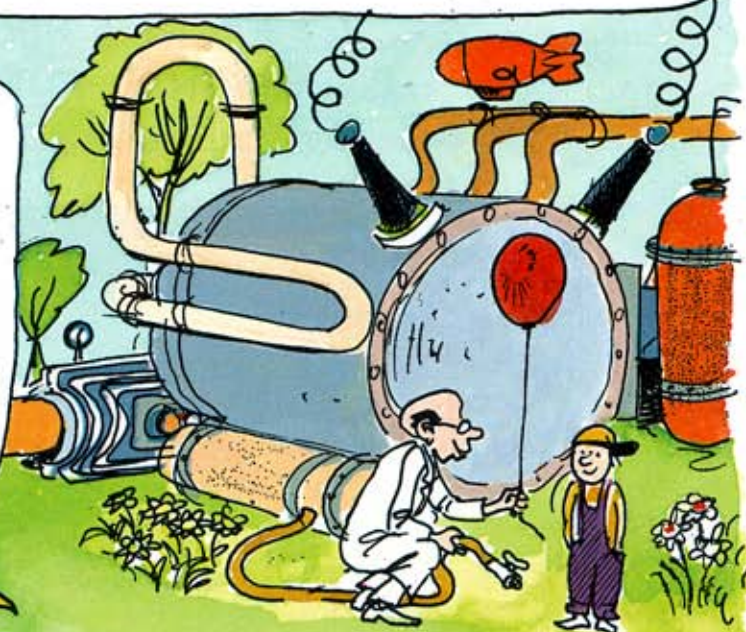
我相信随着核科学的进步，我们一定能解决所有问题。而且我相信聚变比裂变的前景要广。

啊！

* 原子学家的想象，反应堆深陷地面，穿过底层，出现在……中国！

在聚变反应堆里没有自由中子，理论上讲，我们可以用磁性装置偏压聚变等离子体（带电的粒子遇到强大的磁场会“逃走”）。

核能“黄金时代”！
聚变核电站使用锂氘或硼氘混合物，绝不污染环境。唯一排放物：氦气，给孩子们做升空气球。



这只是一个美梦而已吧！

但我们现在已经发明了催化炉，用它来生火，没有烟尘。我们可以在家里关着窗户烧，而且不需要烟囱。

是啊！催化炉的排放物只是水蒸气，和一些可以适量呼吸的碳化气体。



那会不会有一种“聚变催化剂”，使聚变反应在较低的温度下进行？



有啊，我们已经找到了：碳。

对了，太阳中心温度不过才1500万摄氏度，而聚变温度却是1亿5千万度，是它的十倍。那太阳中心的聚变反应是如何发生的啊？

碳在太阳中心的聚变反应里起到了催化剂的作用。它经过一系列复杂的反应，加速了聚变反应，但最后又重新变回来。具体来说：首先，碳12和氢1反应，产生氮13，然后氮13被转化成氮15，再接着氮15+氢1→碳12+氦4。这就是CNO循环。

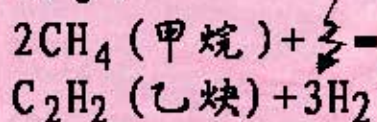
但这个反应太慢了，只有太阳才能等。

μ介子

一些复杂的化学反应可以在一个低温的混合气体里，通上电流，用电子轰击分子来实现。



例子：



在一个分子里，我们可以用μ介子来代替电子。它们就像大的电子，使原子核靠拢。

那为什么不用μ介子来轰击中能聚变反应堆呢？



能行吗？

没问题，小昂！我们知道如何在一个加速器里制造 μ 介子。当这些介子撞击氘氚混合堆的时候，使它们聚变为氦。但在这个只用几个微粒子做反应的微观物理实验和可开发的工业反应堆之间，还是有很长的路要走的！！！！……

我们还可以从原子核自旋入手，也就好比让跳探戈舞的能量小鬼跳华尔兹舞。这样就能增加碰撞的效果。

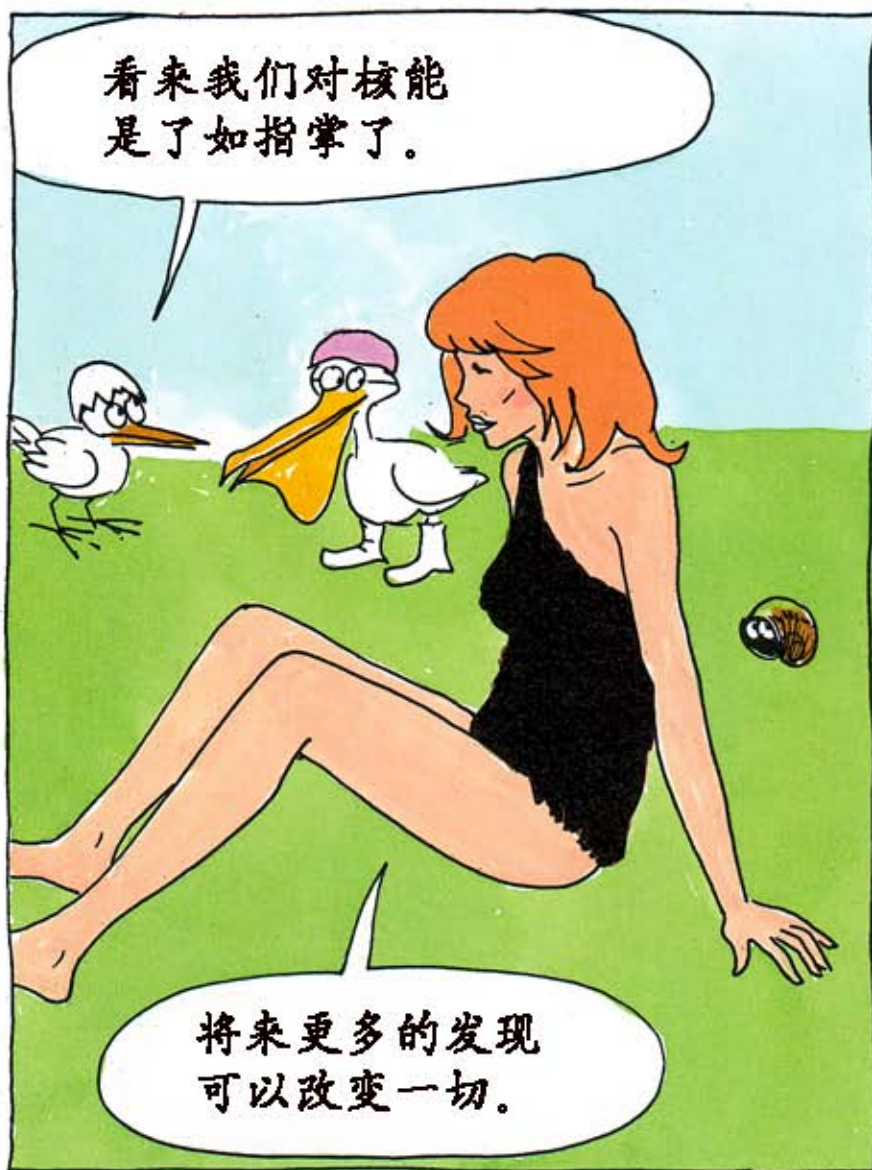


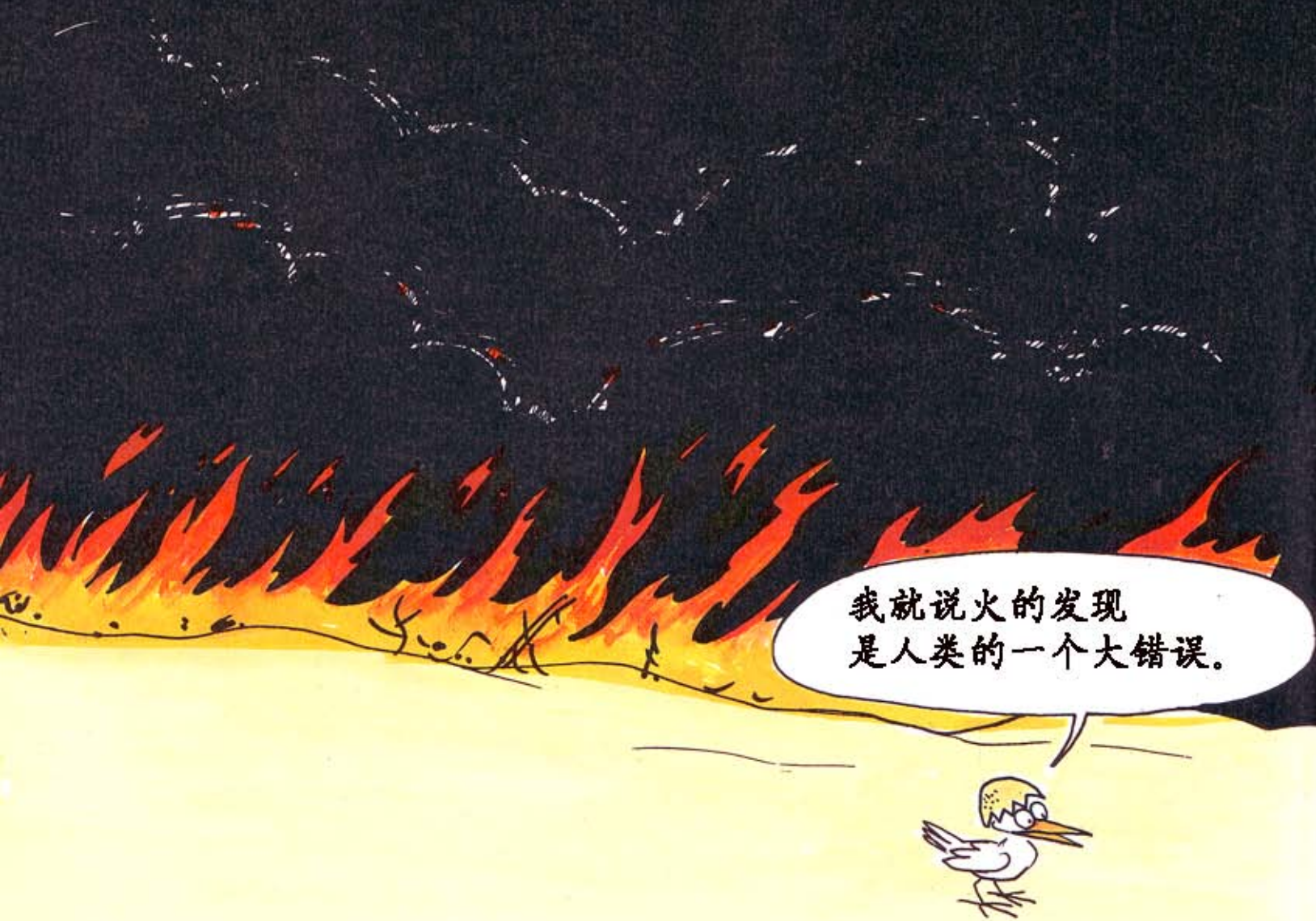
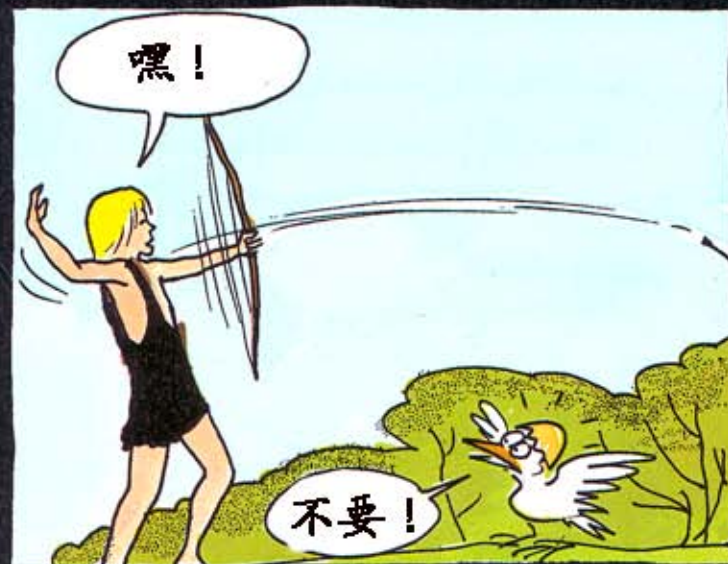
BANG

啊，对不起！

您能不能
小心一点？

这个舞会到底是
开不开下去了？







科学……哼！

美丽的森林啊……

这下高兴了吧？

完