

ANSELME
LANTURLU



에너지는 당신의 꿈

Jean~Pierre Petit

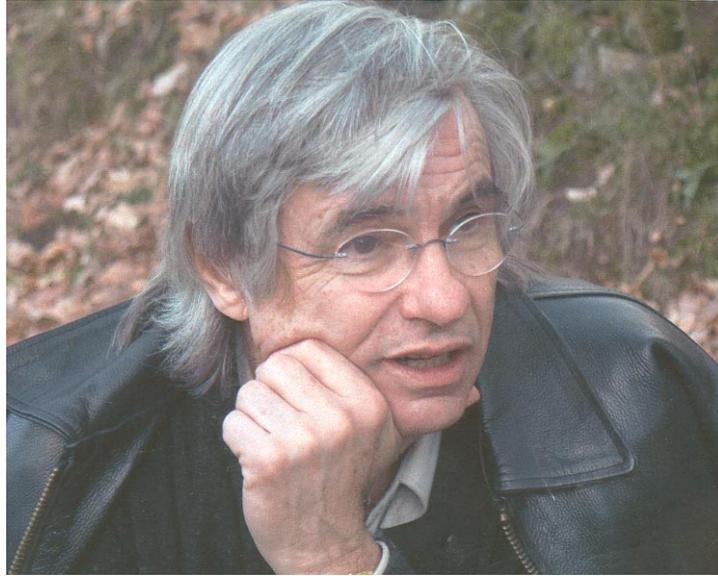


사부아르 상 프롱띠에르

1901 년 협회법

Villa Jean-Christophe, 206 Chemin de la Montagnère, 84120 France

동호회장 : 장 피에르 뺨띠 **Jean-Pierre Petit**



전 Cnrs 천체 물리학 연구원장인 장피에르 뺨띠씨는 과학 만화라는 새로운 장르의 창시자로, 2005 년 20 여 편에 이르는 그의 작품들을 무료로 자신의 홈페이지에서 다운받을 수 있게 함으로써 일반인들의 이용을 가능케 하였다.

한편, 과학적, 기술적 지식을 무료로 세상에 널리 알리고자 하는 목적으로 사부아르 상 프롱띠에르(국경 없는 지식) 라는 동호회를 창시 하였다.

현재, 이 동호회는 기부금으로 운영되고 있으며, 이 기부금은 번역가들의

사례금 (150 유로)으로 쓰이고 있으며, 매일 수많은 그의 작품들이 이 사이트를 통해 전세계 언어로 번역되고 있다. (2005 년, 라오스어와 르완다어를 비롯해 18 개 국어)

현 PDF 파일은 상업적 목적이 아니라는 전제하에, 교사들의 수업 중에 일부 혹은 전체적으로 발췌되어 사용될 수 있으며, 또한, 시립도서관과 대학도서관에서 인쇄물이든, 컴퓨터 전산망이든 어떠한 형태로도 이용이 가능하다.

저자는 가장 읽기 쉬운 앨범(12 세) 컬렉션부터 작업을 시작하여, 현재는 문맹자들을 위한 « 음성 스피치 » 작업과, 외국어 학습을 위한 « 두 가지 언어 » 서비스를 위한 작업에 한창이다.

동호회는 수준 높은 기술용어를 모국어 수준으로 구사할 수 있는 번역자 발굴에 끊임없는 노력을 기울이고 있다.

2006 년 동호회의 재정자금은 새로운 번역가들을 위해 쓰여지고 있으며, 여러분의 기부금(Savoir Sans Frontière 앞 수표)을 기다리고 있다.



번역인 소개

차지영, 1979년 출생으로 현재 빠리에 거주 중이며, 부산외대에서 불어학을 전공하였고, 프랑스 Angers 대학에서 프랑스 문화·예술 국제 매니지먼트 석사 학위 취득하였음.

주한 불란서 회사와 주불 한인 기업 법인에서 통번역 및 법인장 비서로 일한 바 있으며, 불한 통번역 프리랜서로 활약 중.

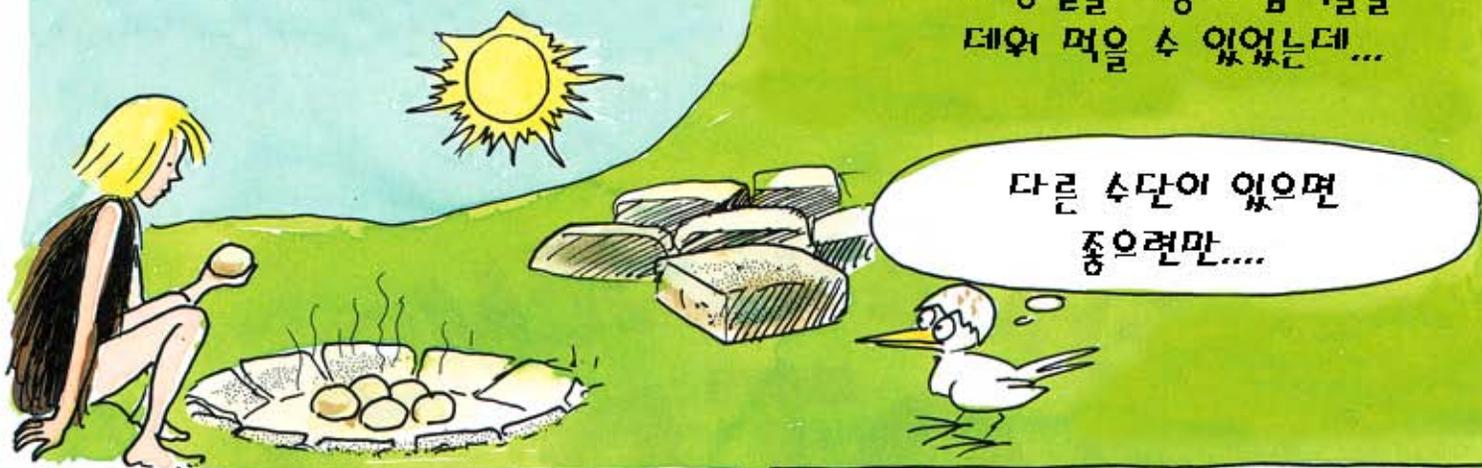
SAVOIR SANS FRONTIERES 협회의 전세계 무료 지식 전달이라는 취지에 매력을 느껴 장 피에르 뺏티씨의 과학 만화의 한글 번역작업에 적극 동참하게 되었음.

LA TRADUCTRICE, CHA JI YOUNG

ji-young.cha@wanadoo.fr

Je suis née en 1979 et j'ai étudié le français à l'Université des langues étrangères de Busan en Corée du Sud avant d'obtenir un DESS de management international des arts de la France à l'ESTHUA d'Angers. Je réside actuellement à Paris et après plusieurs expériences professionnelles en tant qu'interprète et assistante de direction dans des sociétés coréennes je me suis lancée dans la traduction des bandes dessinées de Jean Pierre PETIT pour l'association SAVOIR SANS FRONTIERES. Je suis très heureuse d'avoir participé à cette diffusion généreuse du savoir, dans toutes les langues de la planète.

프롤로그



불이 없었던 옛날에는
태양열을 이용해 음식들을
데워 먹을 수 있었는데...

다른 수단이 있으면
좋으련만....



밤이 되면 낮동안 태양열에
데워진 바위들을 한가득이 안고
동굴로 돌아오곤 했었다.

으여,
무거워라...



안자니?

응... 바위들이
벌써 식어버렸어...

추워죽겠어.

겨울이 오면 더 알텐데,
이미 우리 부족 절반이
감기에 걸렸어.



너, 뭐하는 거니?

에너지를 축적할 방법을
찾고 있어.

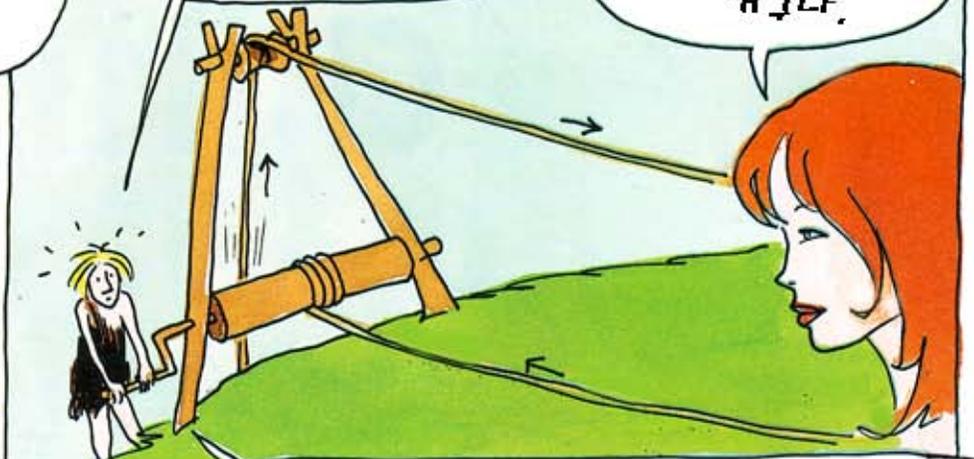
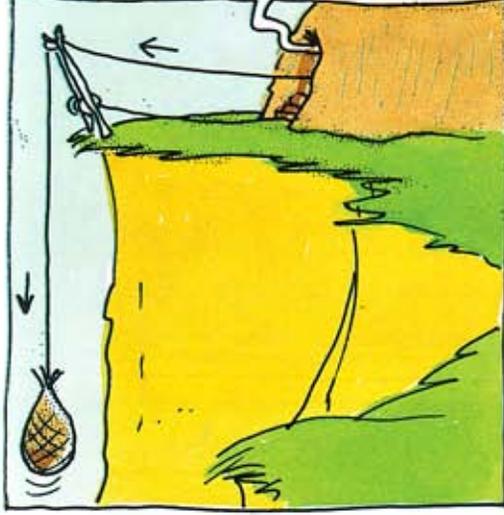


매일 저녁 실어 나르려니
정말 힘들어 못할 짓이야.

그래서 내가 매일 저녁
동굴 안에서 포개은
바위들을 끌어 당길 수
있는 시스템을 개발해 냈어.

나에는 또 다시 석은
돌들을 끌어내릴 수 있구.

넌 지금
잠재 에너지^를
축적하고 있는
거냐.



편리한 거한테,
왜 항상 우리가 이런 일을 해야 하는 거야?

지금 뭐하는 거야,
안셀름?

자, 이제
됐다.

그러니까,
이 상자 속에
에너지들이 축적되어
있단 말이야?



에너지 축적 방법을 보다
간편하게 만들고 있는 중이야.

내가 발명한 이 시스템은
내부 에너지 축적 방식이야.

??



실어 나를 수가 있고,
또 언제든지 재사용이 가능한
에너지란 말이야.



소피, 괜찮은거야?
그냥 내부 에너지 축적
상자일 뿐인데..

화학 에너지

으휴, 이 녀석들... 돼지 소굴이 따로 없네.
동굴 청소를 좀 해야 겠구나.

나무 쏘이네, 벼락신이
일으키신 숲속의 화재
때문인가 보군.

개깅이 청소하지
않았다간
소피한테 묻나겠어!

아직도 이 큰
돌맹이들이 남아
있어네...



소피, 알아냈어!
내가 막 이 검은 가루 속에서
에너지를 발견해 냈어!



우리 이제 불을 지피서
식량을 얻어 먹을 수 있게
될 거야.



자, 봐!

좋은 방법 같긴 한데,
그다지 편리하진 않은 것 같다.



그냥, 포기해 버릴까?



이 가루를
모레와 섞으면 되지
않을까?

와, 된다!!
모레를 섞었더니 보다 부드럽게
에너지가 발산되는구나!



열의 확산이
조절 돼.

더 이상 겨울에 추위
떨지 않아도 되겠다.





원자 에너지

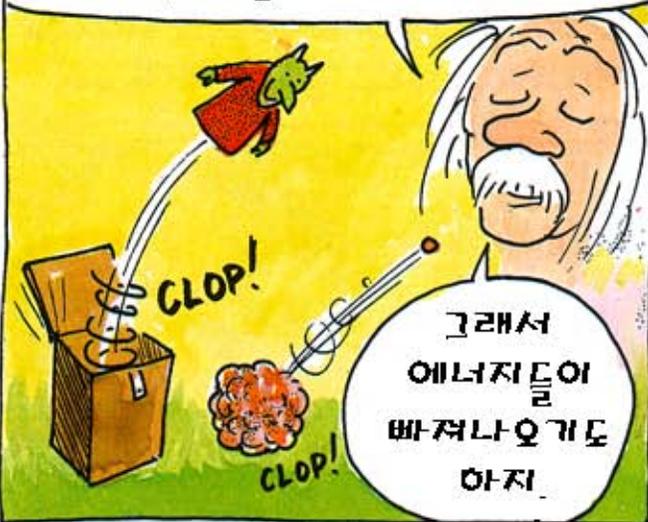


...악마들이 숨어 있는 상자라?! ...



전설에 의하면, 옛날 옛적에 에너지가 우라늄 같은 원자핵 속에 갇혀버리게 되었는데, 이 원자들은 태양 지옥불 속에서 만들어져서 창세기때 모든 땅속에 묻혀진 것들 이라고 전해지고 있어.

언제, 이 원자들은 튼튼한 상자가 아니라서, 때때로 뚜껑이 열리기도 한다네.



또, 전설에 따르면, 종말이 되면 모든 악마들이 상자 속에서 빠져나와 원자에너지가 모두 소멸되고.....



굳이어서 돼지 오줌보처럼 깨져버리고 말 거라고 해.

하지만 그렇게 되기까지 오랜 시간이 걸릴 거야. 아주 오랜.



그럼, 악마들은 언제까지 상자속에 갇혀 있을까요? 얼마나 오래동안 이 에너지를 핵속에 갇고 있게 될까요?



그건 상자에 따라 다르다네. 원자핵에 따라 다르지.

방사성 원소의 반감주기

이렇게 악마를 담고 있는 상자가 있다고 가정을 하면, 반감기 혹은 반감주기 T가 지나면 상자 속 절반의 악마가 빠져 나가고, 나머지 절반은 상자 속에 남아서 자기 차례를 기다려다가 그 다음 차례에 또 절반이 빠져 나가고... 이렇게 계속 되는데, 이 반감기는 아주 가변적이어서 순식간이 될 수도 있고, 혹은 수백여년이 될 수도 있네.



만약, 악마들이 담긴 상자가 없다면, 그러니까 땅 속에 에너지를 가진 핵들이 없다면 우리 아주 큰 일을 하게 될 거야.

에너지를 가진 핵들을 모두 다 찾을 수 있다면 참 좋을 텐데...



은 거울을 따뜻하게 보낼 수 있을 만큼, 몸이 따뜻해질 수 있을 만큼, 이 한병만 가득 채울 수 있으면 충분하네!

잠깐, 이것 알아야 하네. 원자에너지는 화학에너지 보다 수천 수백배나 더 강하대네.



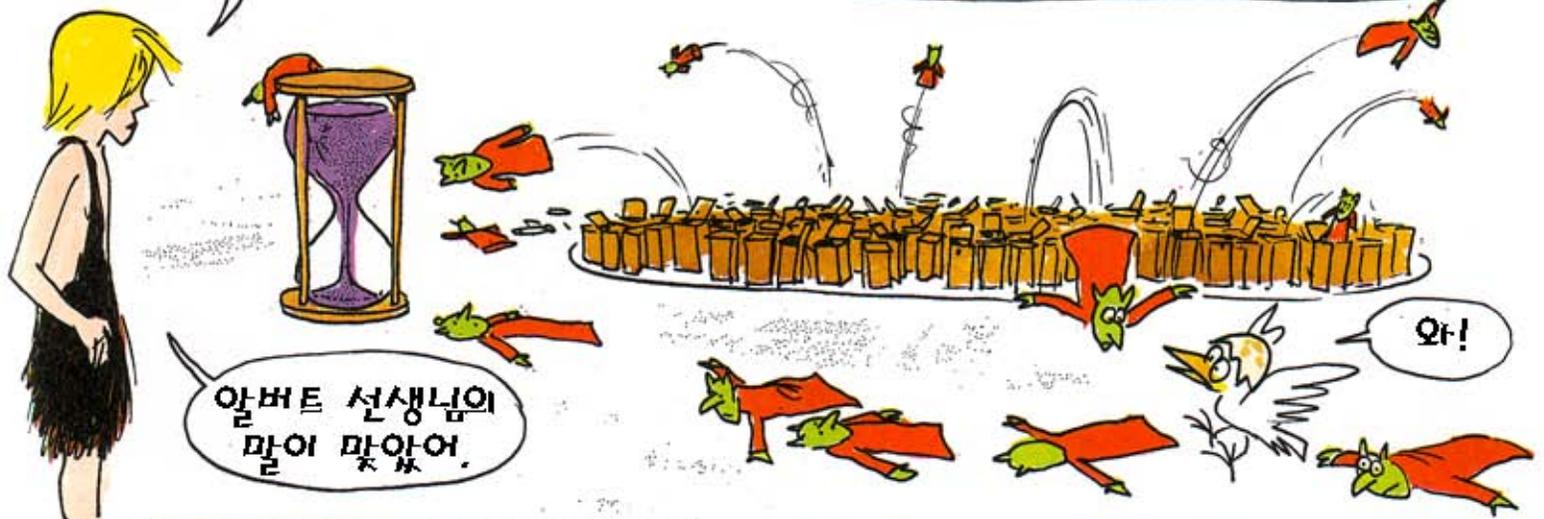
그러면 핵방사로 악마들이 뿜어내듯 아주 강력이 방출되어 나오겠군요.

어디, 알버트 선생님께서 아신 말씀이 사실인지 약이나 볼까,
상자 뚜껑이 서서히 풀리기 시작하면, 차례로 하나씩 열리겠지.



이 상자들을
차례대로 이렇게 열어놓고.

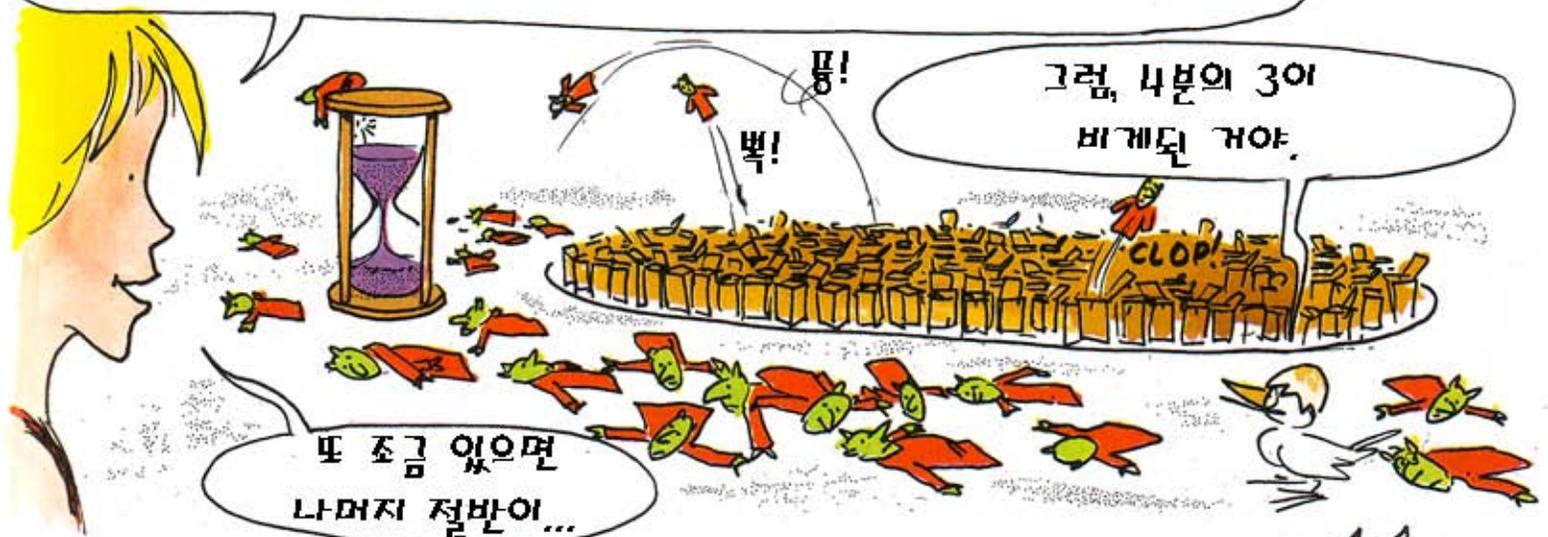
반감기가 어느 정도 지나니, 상자의 절반이 방출 되었어.



알버트 선생님의
말이 맞아.

와!

두번째도 마찬가지로 나머지 상자의 절반이 악마들을 방출해 냈어.



그럼, 나분의 3이
비게 될 거야.

또 조금 있으면
나머지 절반이 ...

그런데, 시간에 따라 점점 느려지는 걸 상자가 열리는 속도가 느려지고 있어.

땅은 처음에 방사능 효과가
보다 컸어.

그러다 점점 조용해 지지.

에너지의 전환

그런데, 이 속에 열은 도대체
어디로 가는 거야?

이걸 내비 줄 거
야? 어디로 보낼 거야?

그래,
애 보자.

우와, 대단! 핵방사로 방출된 에너지는 물속에 스며들어서
열로 전환되고 있는 거야.

그런데, 자연 방사능은 그다지
에너지 화산이 크지 않구나.

그러니까,
포화시키려면 많은 양의
방사능 물질이 필요해.

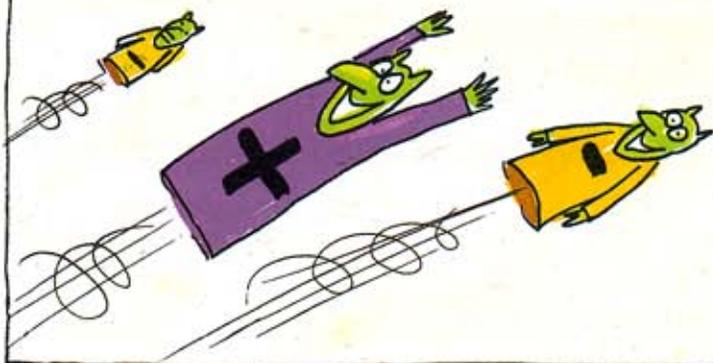
다양한 종류의 악마들

구체적으로 말해, 한가지 종류의 악마들만 있는 건 아니야.
 액이 방출해 낼 수 있는 첫번째 악마들은 γ 선과 γ 선이 있는데,
 이중에 보이지 않는 빛이지.

앗, 앞이
 !!건널표

이들은 적당히 두꺼운
 이글테면, 남편 같은
 것으로 흡수시켜서 열로
 전환할 수 있어.

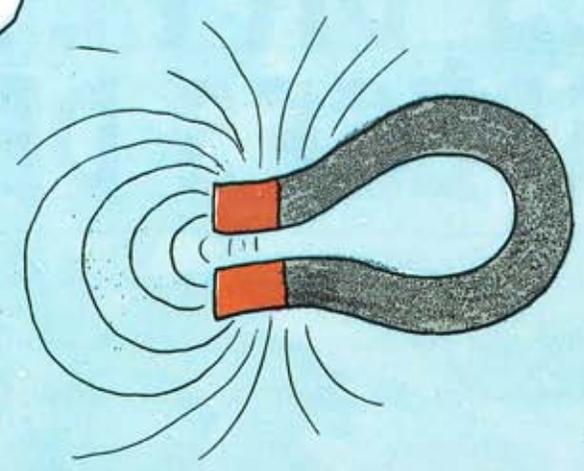
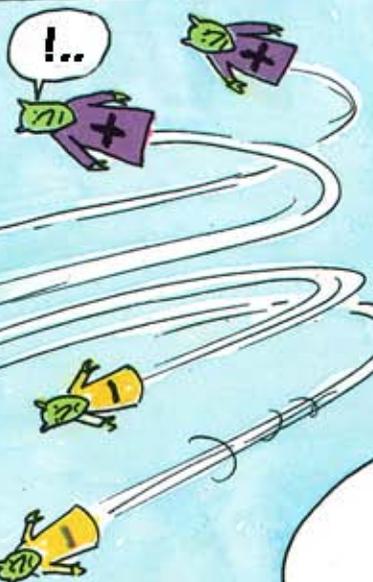
또 다른 종류의 악마들은
 전하를 가지고 있지.



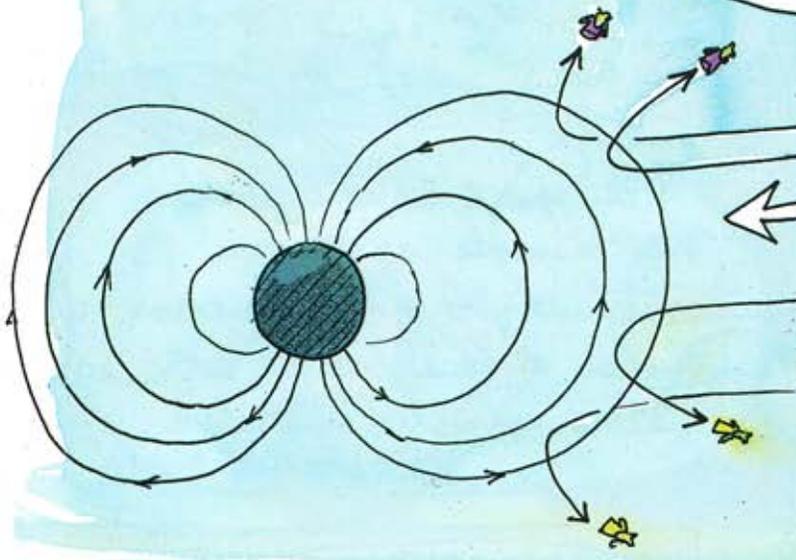
그럼, 빨리 빠져
 나갈 수 있는 건가요?

에너지의 크기에 따라
 다르지만, 초당 수만 킬로미터까지
 속력을 낼 수가 있지.

이렇게 생각한다면, 어떤 형태의
상자라도 빠져 나갈 수 있겠군요.



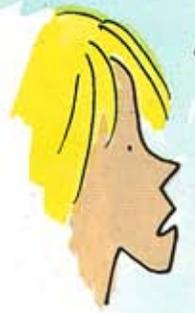
그렇지 않아,
이렇게 자기장에
튀어오르고 있지 않은가.



그리고 또, 태양(태양풍)이
방출한 하전입자들은
지자기(*)에 반사되지.

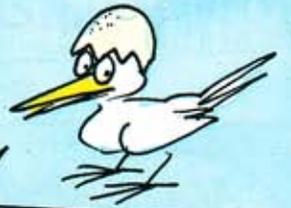


그러니까 지구는 지자기에 의해
보호되고 있는 셈이네요.



그럼, 그렇고 말고,
만일 지구가 자기장을 가지고 있지
않다면, 태양이 방출하는 하전입자들은
생물들의 세포조직에 심각한
손상을 유발시키게 되지.

3번째 악마가 가장 독한 것들인데,
바로 **중성자**들이지. 이 중성자들은
초당 2만 킬로미터까지 속력을 낼 수가 있는데,
전하가 없다보니 자기장으로
흡수할 수가 없어.



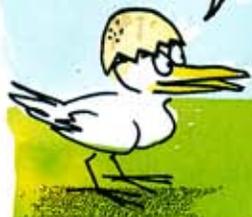
이 모든 악마들은 세포조직에
돌이킬 수 없는 손상을 가져다 줄 수 있어.
그래서 보호가 필수지!

중성자와 아전입자들은 질량을 갖고 있으며,
운동에너지 $1/2MV^2$ 를 운반하는데, 이는
고체, 액체, 또는 기체에 의해 흡수되어
열로 전환될 수 있다고 해.
이 해에 관해 좀 더 연극을 해봐야겠어.



핵의 안정성

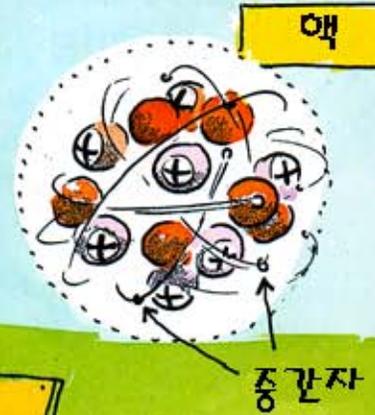
핵을 생산하기 위해서는, 양성자와 양자,
그리고 또 하나의 입자, 중성자가 필요하다.



우라늄	235
양자	92개
+ 중성자	143개
= 핵자	235개



플루토늄	239
양자	94개
+ 중성자	143개
= 핵자	239개

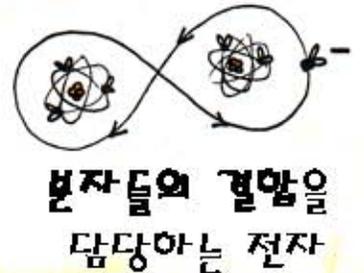


핵 속의 중성자들은 분자 속에서 전자들이 하는 역할과
비슷한데, 응집시키는 역할을 담당한다.

그럼, 핵들이 분자와
간다는 얘기가?
어떻게 그럴까요?



핵은 핵자들의 결합이고,
분자는 핵들의 결합이야.
그리고 우리 역시도 이 분자들의
결합으로 이루어져 있어.

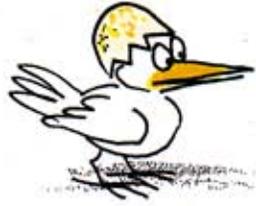


화학적 분자들의
재배열이라 할 수 있고...

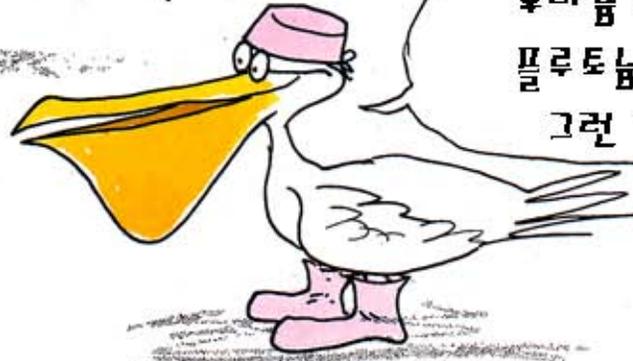


핵물리학적 핵들 재배열을
연구하는 학문이라 할 수 있다.

불안정하다고 여겨지는
핵들은 생명이 짧다.



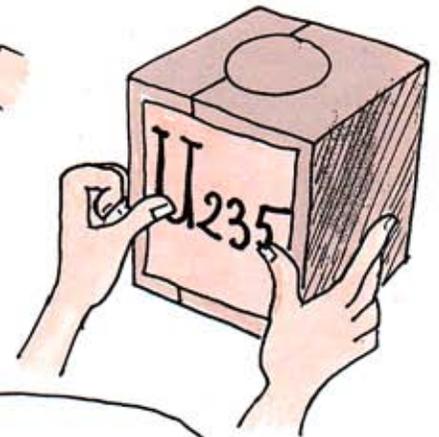
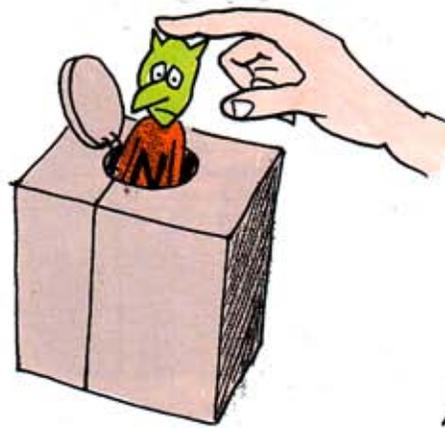
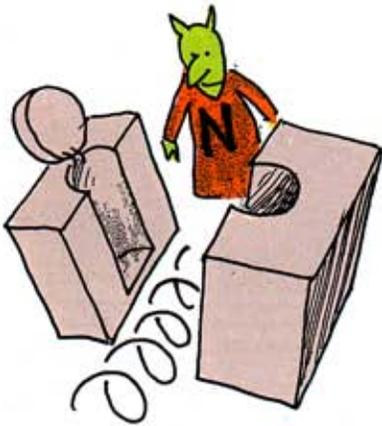
하지만, 중성자는 생명이 길고 자체적으로
비교적 안정한 핵과 반응하면서
그 핵들을 완전히 불안정하게
만들어서 핵분열을 일으킬 수 있어.



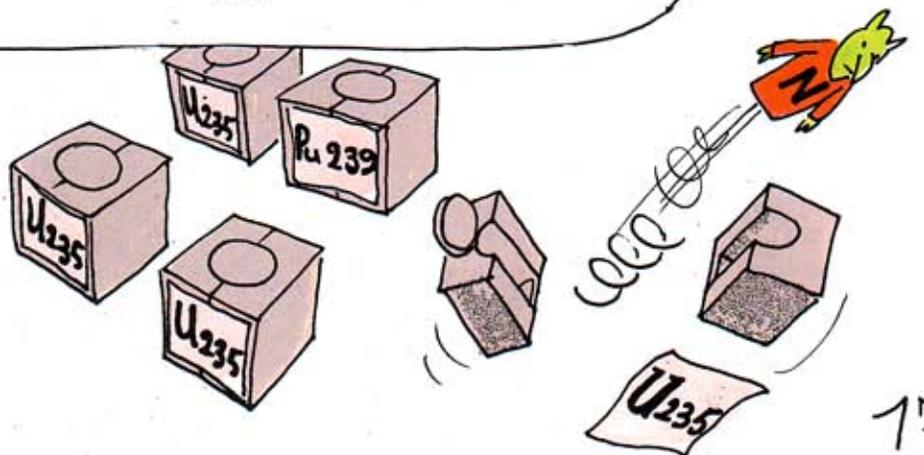
우라늄 235와
플루토늄 239가
그런 경우지.

핵 분열

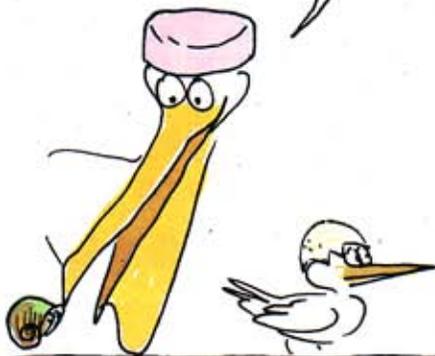
이 핵들은 안개의 중성자와 서로 다른 크기의
핵 덩어리가 결과물로 나타날 수 있다.



우라늄 235와 플루토늄 239의 핵은 아주 긴 반감주기를
가지고, 특정한 형태의 자연 방사능을 갖고 있다.



자, 이게 바로 핵분열 반응이야.
중성자와의 결합은 플루토늄 핵을 불안정하게
만들어 폭발시켜 버려. 그 결과로, 2개의 중성자(*)
가 재방출 되지.

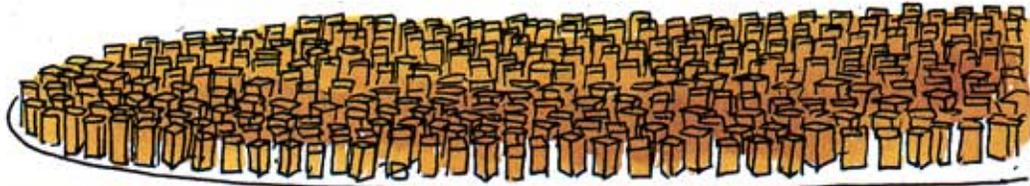


이것에 관해
좀 더 연구해
봐야겠군.



안셀름이 수많은 악마 상자들을 모두 R선 안으로
모아 놓았어.

우라늄 235거나 플루토늄 239이지.



아, 악마 에너지들이
빠져 나오거든.



모두 중성자들이네.

이런 거!
이런 거!



이 악마가 옆 상자들에 충격을
가하면서 폭발을 일으키고, 그 속에 있는
중성자 악마들을 방출시키고 있어.

(*)그림으로 살펴보면, 입사 중성자가 먼저 불연성 핵 속으로 흡수되는데 (U235가 U236로, Pu239가 Pu240로 변한다), 이 아주 불안정한 불연성 핵이 순식간에 거의 다 파괴된다.

연쇄반응

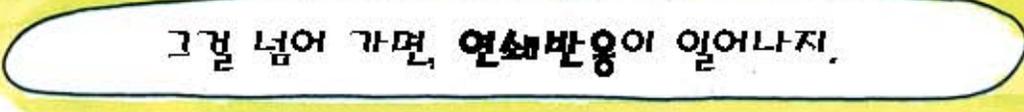
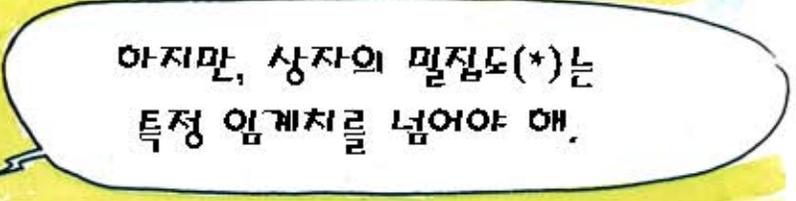
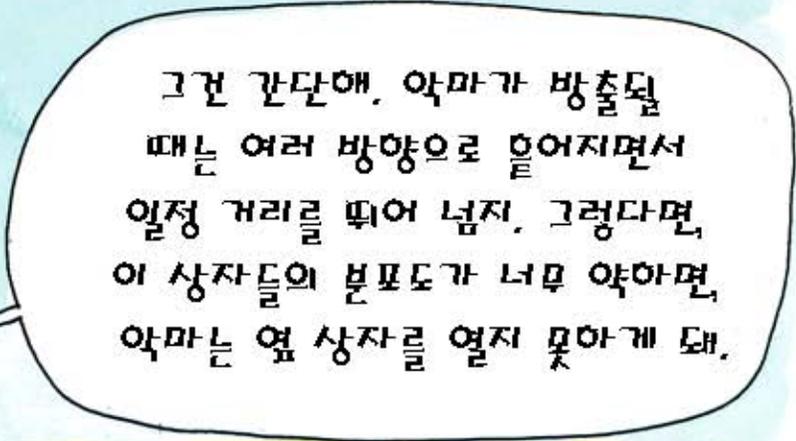
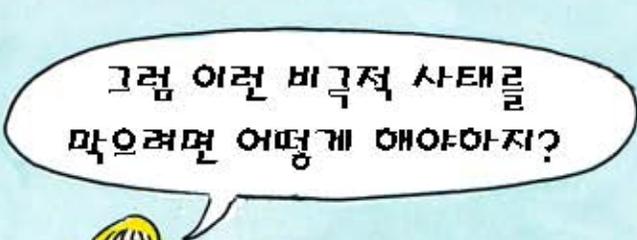


또 다시 악마 두마리가 차례대로 다른 두 상자를 열고 있어!

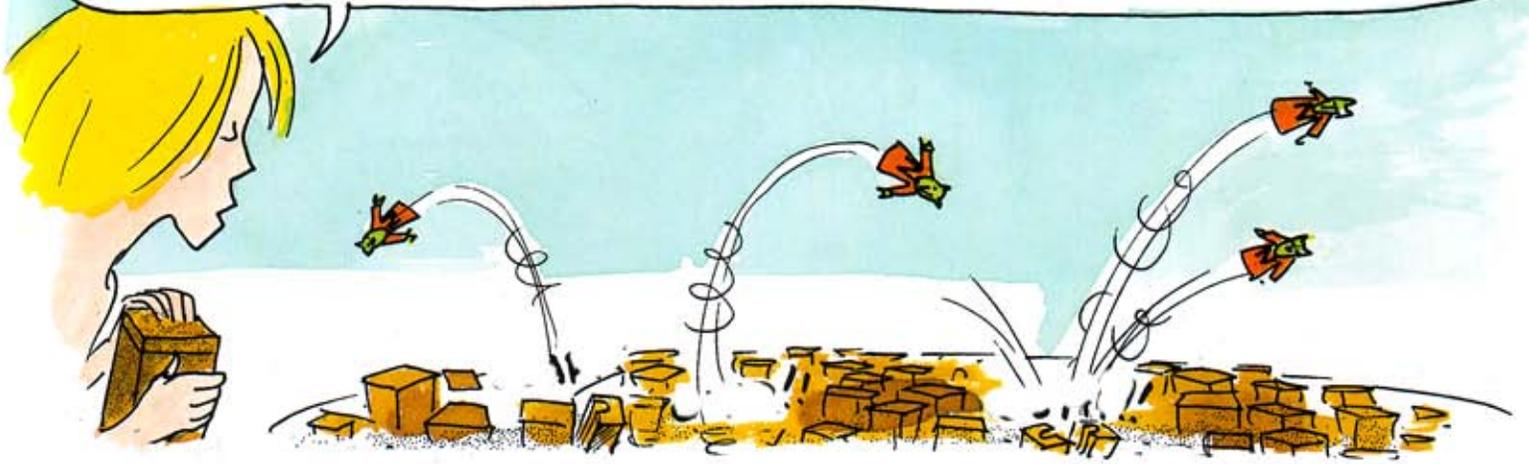




임계조건



결론적으로, 낮은 자연 방사능 방출률과 연쇄반응 사이에
 절충안이 있다. 밀집도를 조절하면, 물론 쉽지 않겠지만,
 초당 방출되는 악마의 수를 고정 시킬 수가 있다. 즉, 에너지 방출량을
 고정시킬 수가 있는 것이다.



원자로

이 과정을 보다 확실히
 조절할 수 있는 방법은 없을까?

악마 에너지를 흡수
 할 수 있는 어떤 물체를
 삼입하면 될 거야.



꼭 파리잡는 테이프 같다.



해보자.



이렇게 점착 종이를
 달아 놓으니깐
 임의로 원자로의
 활동을 방해 할 수
 있는 거야.

그리고 조금 더
길게 다르면
거의 완전히
멈추게 할
수도 있어.

모든 악마들이 나오는 족족
모조리 잡혀 들어서, 이제 거의 더 이상
연쇄반응이 일어나지 않게 되었어.

“정상적인”, 자연
방사능 물체의 에너지
방출만 남게 되었어.
이 나머지 방사능 물체는
에너지 방출이
훨씬 적지.

좋아, 그러니까, 원자로를 만들려면, 이 무거운 핵들만 충분히 모아주면 되는 거야.
우라늄 235나 플루토늄 239 말이야. 그런 다음, 이 악마를 흡수하는
물체로 원자로의 활동을 잘 제어해 주면 되는 거지.
여기서 악마들이란 핵분열의 중성자가 되겠어.

좀 더 구체적으로 말하면, 우라늄 광은 0.7%가
핵분열성인 우라늄 235이고 나머지는 우라늄 238로
구성되어 있어.

중성자를 흡수하는 데에는
카드뮴을 이용하지.

플루토늄 239는 자연 속에는
존재하지 않는 다던데, 어떻게 원자로에
이용할 셈이야?

에... 맞아.
어떻게 할 거야?

핵 원료성 물질

우라늄 238도 어쩌면 2가지 원소의
결합일 수도 있어.
중성자가 들어갈 자리가 비어 있어.

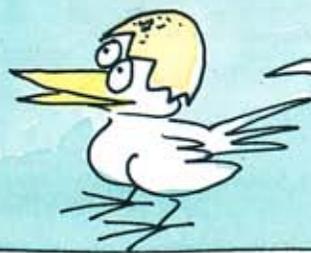


핵원료성 우라늄 238
핵 속에 중성자가
존재 하면

CHLOP!

핵 분열성 물질인
프루토늄 239로 변하게 된다.

달리말해, 우라늄
원자로가 반응할 때,
핵분열성 물질과
핵 원료성 물질이
혼합물을 포함하고 있는데,
결국, 핵 원료성 물질로부터
특정량의 핵 분열성 물질을
얻어 낼 수 있어.



특정량은 얼마를
말하는 거지?

이 모든 건 원자로의 성능에 달려어. 처음에 핵분열 중성자들이
초당 2만 킬로미터로 전 방향으로 방출되지.



이이이이!



23

고속 중성자로

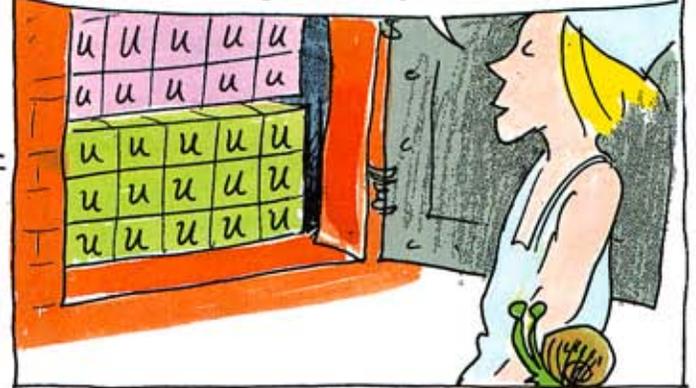
고속 중성자들은 핵분열성인 U238과 반응하면서 핵연료성인 Pu239를 규칙적으로 생산해 낸다.

뭐하는 거야?



우라늄 235가 풍부한 광석 (고농축 우라늄)들로 원자로를 채우는 중이야.

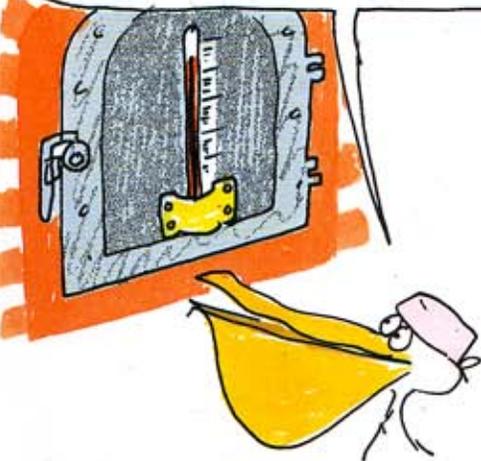
그리고 핵연료성인 U 238로 덮어 주었어.



고속 중성자들은 원자로 안가운데에서 초당 2만 Km씩 이동하지. 만일 기체 분자들과 같다면 온도가 160억도까지 올라갈 거야.

3년 후

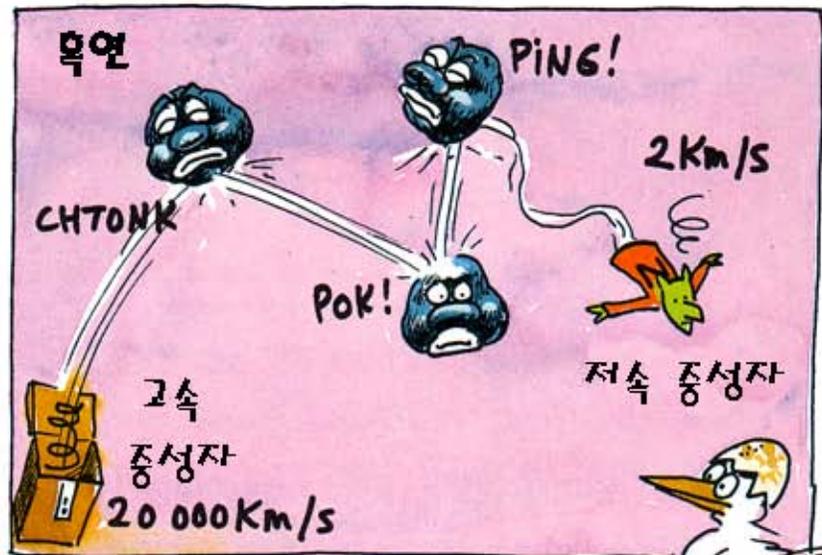
와우! 핵연료성 Pu239가 더 많이 생성되었어. U235를 전혀 소비하지 않고 말야. 중식해로구나.



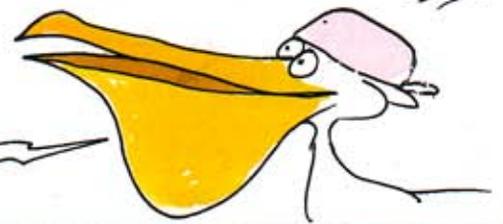
당연한 결과야. 왜냐하면 핵분열이 일어날때마다 고속 중성자가 들쭉 생겨나 반응을 하니까 두개의 U238가 Pu239로 핵변환이 일어난 거지.

저속 중성자로

카드뎴을 이용하면 중성자들을 흡수할 수 있고, 따라서 반응속도를 조절할 수 있지. (혹은 완전히 멈추게 할 수도 있다.) 반면에, 목연이나 무거운 물질을 이용하면 뉴트론은 흡수되지 않으면서 속도를 늦출 수가 있어, 중성자 감속제들이지.



중성자들의 열운동 속도를 2Km/s 로 줄일 수도 있어. 이 차가운 중성자 가스의 온도는 원자로의 일반온도와 같다.



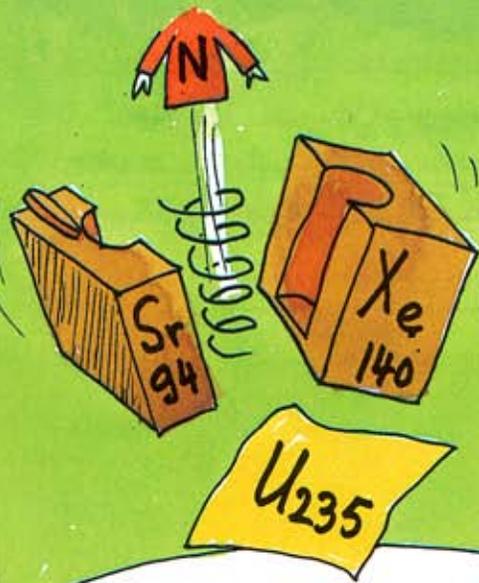
항상 Pu239 를 조금씩 생성시키기는 하지만 고속 원자로 보다는 훨씬 생성량이 적지.

이 두 원자로 사이엔 명확한 경계가 없어. 이 두 원자로의 중간적인 "중속" 원자로도 있지.

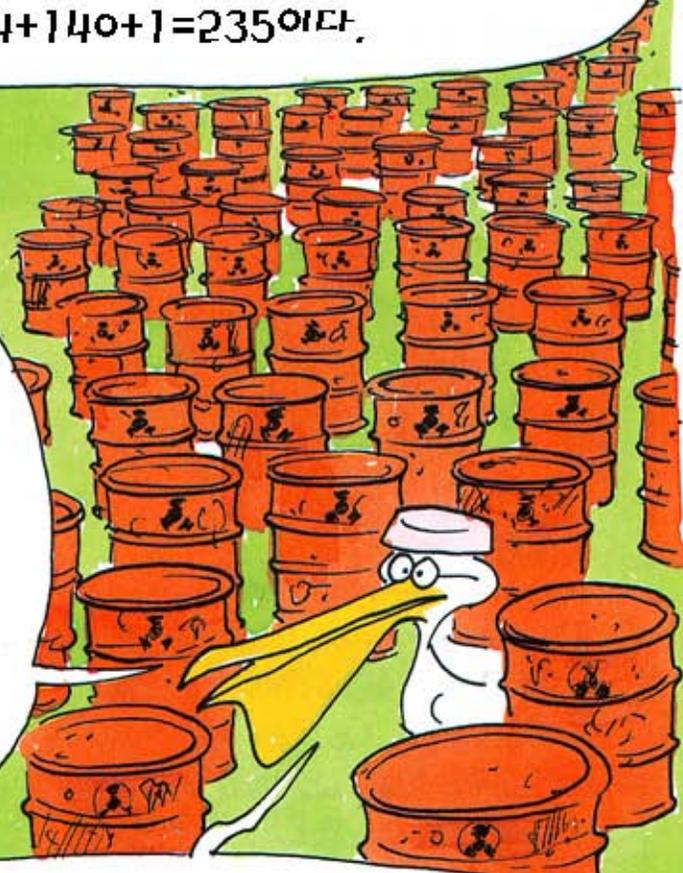


방사능 폐기물과 유도 방사

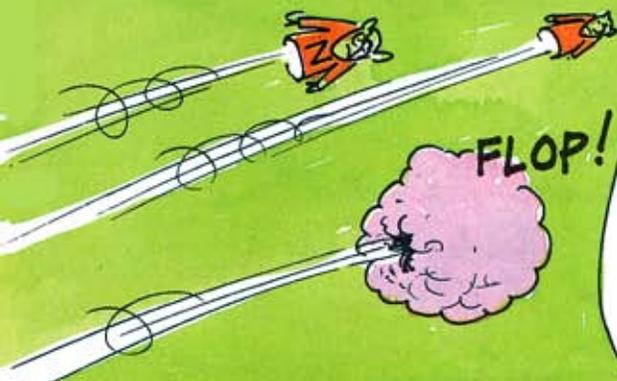
U235와 Pu239의 핵들은 여러가지
다양한 방법으로 분열될 수 있다. 가령,
우라늄235는 방사성 원자 스트론튬94와
크세논140로 분열되는데, 비율은
 $94+140+1=235$ 이다.



이건 아주 심각한 문제다.
많은 핵분열 생성물들은 수명이 아주
길어서 오랜기간 방사능을 남기게 된다.
스트론튬은 배속에, 그리고 요오드는 갑상선 속에
파고들며, 플루토늄도 마찬가지로
아주 위험하다.
모두 다 양과 백열병을 유발시킨다.



핵분열 중성자들도 역시, 원자로의 구조를
형성하는 안정된 원자들에 흡수되면서
그 원자들을 불안정하고 위험하게 변화 시키는데,
그 방사능도 엄청난 양의 폐기물을
남긴다.



맛춤형 방사성 원소



그러니까, 원자로를 다양한 주기로 불안정한 방사능 폐기물을 생성시킨다는 거지.

그게 아니라, 민감한 핵들이 질량을 잃어가고 있다는 거야. 헬륨 핵이나 전자 혹은 양전자를 방출하면서. (*)

네 말은, 민감한 핵들이 차례로 분열된다는 말이니?

저길 봐, 안셀름이 폐기물을 실어 나르고 있어.

CLAP!

여러 주기를 가진 방사성 원소, 이른바 "맛춤형" 방사능 핵을 만들어 낼 수 있어. 특정 원소들을 원자로에 넣고 악마들로 충격을 가해서 인공적으로 방사능을 얻어낼 수 있어.

난 외로운 가난뱅이 과학자라네~ ♪

갈륨 68 반감기: 1시간

(*) "알파" 방사 혹은 "베타" 방사

인공 방사능은 1930년대에 에렌스트와 프레데릭 졸리오 커티 부부에 의해 발견되었고, 몇년 후, 그것으로 부터 핵분열을 발견할 수 있게 된다.

야, 이것봐!
안셀름이 사라졌는데도 그가 온반하는 방사능 쓰레기 속 악마들의 방출로 우리 그의 위치를 추적할 수 있어.



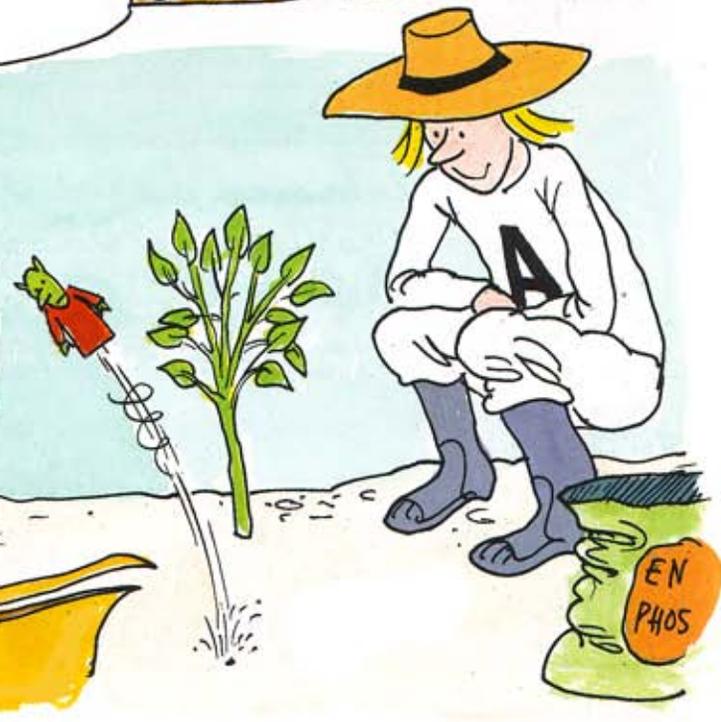
CLAP!

나한테 좋은 생각이 있어!
이 입자들의 방출을 탐지해 가면, 그러니까, 이 인공 방사능을 사용하면 핵들의 흔적을 추적할 수 있을 거야.

그리고, 이 핵들, 방사성 동위원소들을 생물본자에 고정시킬 수도 있어. (표지법) 그렇게 하면, 이들이 조직 속에서 어떻게 이동하는지 살펴 볼 수가 있지.

우리 중에 누군가 불안정한 놈이 있어.

인공 방사능의 평화적 사용에는 다양한 예들이 있는데, 예를들면, 토양과 농작물 속 비료의 이동 추적에 관한 연구에 이용될 수 있다. 인의 방사성 동위원소를 인산염에 포함하여,



A 폭탄

핵물리학은 불꽃과학에 연서한 발전을 가능케 하였다. 폭탄으로 두 핵분열성 ($U235$ 와 $Pu239$) 물질을 적절히 결합 시킴으로써 임계조건을 얻어 내고, 강력한 연쇄반응을 유발시킬 수 있었으며, 부정할 수 없는 미학적 효과까지 얻을 수 있었다.

난 이 두 덩어리의 결합으로 임계량을 얻어냈어.

모든 종류의 악마들이 방출되고 방사능 쓰레기들은 먼저 방출된 놈들의 강력한 열의 화산으로 인해 대기권 상층으로 흩어져서, 또 다른 이웃 악마들에게 유익하게 쓰일 수 있게끔 한다.



불꽃 제조자 클럽에 들려면 순수 핵분열성 물질 (100% $U235$ 또는 100% $Pu239$)을 얻어낼 수 있는 기술을 가져야 한다. 두가지 방법이 있는데, 천연 우라늄을 정제하거나, 아니면, 짐 근처 가장 가까운 원자로에 가져가서 매번 작동시마다 생긴 $Pu239$ 를 따내는 방법이 있다.

드려 나옵니다, 나와요.



핵 융 합



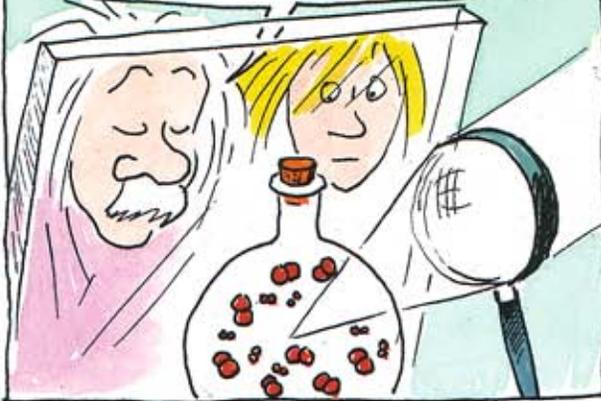
그럼 태양은 우라늄을 많이 포함하고 있는 행성이겠군요. 그래서 그렇게 뜨겁게 뜨거워지죠?

아닙니다. 그게 아니라, 화학반응은 여러 성분들, 이르면, 수소와 산소 같은 것들의 혼합으로 부터 일어나지.

그런데... 아무 반응도 일어나지 않아요?

그건 온도가 충분히 높지 않아서 그런 거야.

이 혼합물을 데워볼까요?



파!



그럼 뭐가 될까요?



H₂O 물이 되지!



그럼, 독성 물질 하나 없이 큰 에너지의 부산이 일어나는 반응이 있겠군요.



만일 수소와 산소의 혼합물(액체상태)로 비행기를 날리면, 지나간 자리에는... 그럼밖에 안 남겠군요!

어쩌면 핵들의 온암률도
"태울" 수 있을 거야.

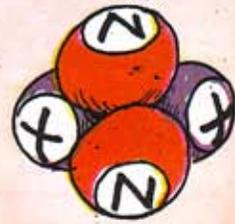
아주 높은 온도에서,

중수소(경수소핵은
하나의 양성자 p 만으로
구성됨)들인 듀테리움과
트리튬을 반응시킬 수 있는데,
이 동위원소들의 핵들은
중성자들의 수에 따라서만
변화한다.
듀테리움과 트리튬의
온암률은 헬륨이 된다.

듀테리움

트리튬

헬륨



악마 무도회

자, 여기 듀테리움 반,
트리튬 반으로 구성된 기체
중수소의 원소들이 있다.
상온에서 전자들이 핵주위를
돌면서 (핵들을 돌씩 감치면서)
분자들의 결합을 일으킨다.



듀테리움 분자



트리튬 분자

시간이 지나면 무도회의 분위기는
극도로 고조되면서 분자들이
깨어지고(해리), 전자 벌들이
액주위를 빙빙 돈다.

약 3000도에서...

재네들 끊임없이 움직여대니
도무지 (액)주위를 돌 방법이 없어.

그래, 나도 힘들어서 더이상 못하겠어, 그만 가자.

결국, 뜨거운 가스는 이온 액과 자유 전자의 죽, 뜨거운 플라즈마가 된다.

마르셀, 테어, 계속 테우라그!

애들아, 우리
4명에서 놀지 않을래?

? 그럴까?

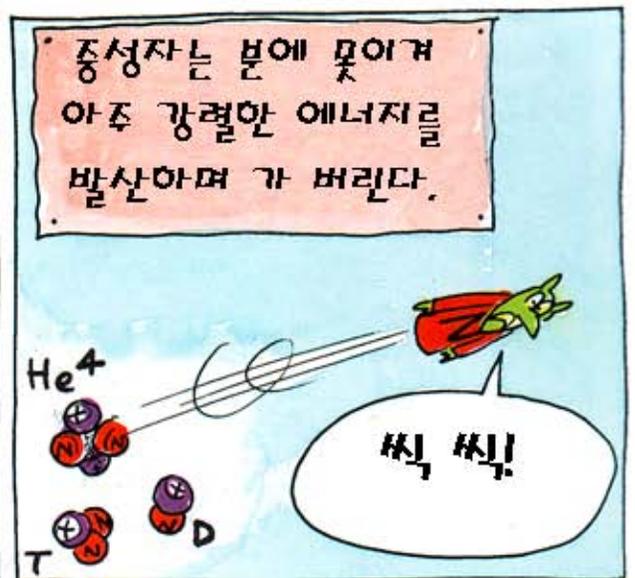
뭉이
올랐군...

뭔가 낯새가 이상한데...

그럼, 이 온도에선 더
안정될 거야.

앗, 잠깐만!
 $2+3=5$ 인데,
엘름은 액자가
4개야나?

4억 5천도(점화 온도)
부터 변화가 생기기
시작하는데.



핵융합도 핵분열만큼이나 오염을 시켜 줍니다. 핵융합 중성자들이 옆에 있는 원자들을 방사능 원자로 변화시킬 테니까,

하지만, 리튬6가 중성자를 흡수하면서 헬륨4와 트리튬3이 되지,



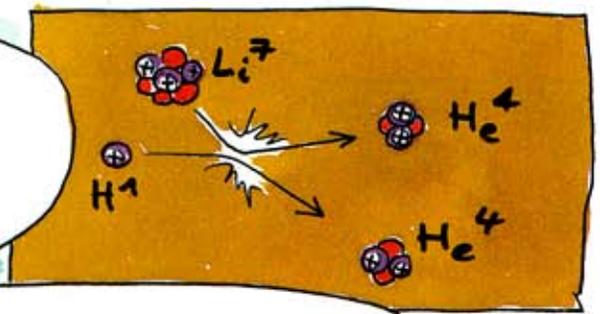
달리말해, 리튬6의 포장은 "핵원료성" 물질로 작용하는데, 이 반응은 트리튬3 "핵융합 연료" 를 생산하는 것으로 간주될 수 있지.

맞았어. 핵융합 원자로를 증식기와 동족관계야. 잘 된 거지. 안정된(*) 트리튬은 자연속에 존재하지 않으니까 말야.



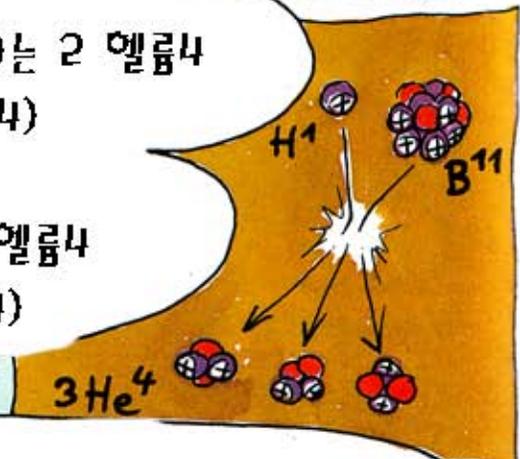
(*) 반감기가 12년 밖에 안된다.

하지만, 내가 아는 바로는, 자유 중성자가
생기지 않는 핵융합과 핵의 재배열은
얼마든지 많이 존재하는데...



리튬 7 + 수소 1 (경수소)는 2 헬륨4
($7 + 1 = 2 \times 4$)

붕소 11 + 수소 1 은 3 헬륨4
($11 + 1 = 3 \times 4$)



첫번째 식은 점화 온도가 50만도이고,
두번째는 1억도 가량 돼.

음... 정확히...
구체적으로 핵융합은 어떻게
일어나는 거야?

태양의 중심에서
서서히 일어나지, 단지
1천5백만도 정도에서.

태양이 일곱달이나
가이로 큰 거야?
? 아니 큰 거야?

그렇지, 핵 "불" 을 일으키는데
천 5백만도가 필요해, 그러니까,
반응이 일어나는데는 1초면 충분해.



그게 바로 현재 우리가
토카마치라는 기계로
실험하고 있는 것이지.

그래서...
잘돼가?

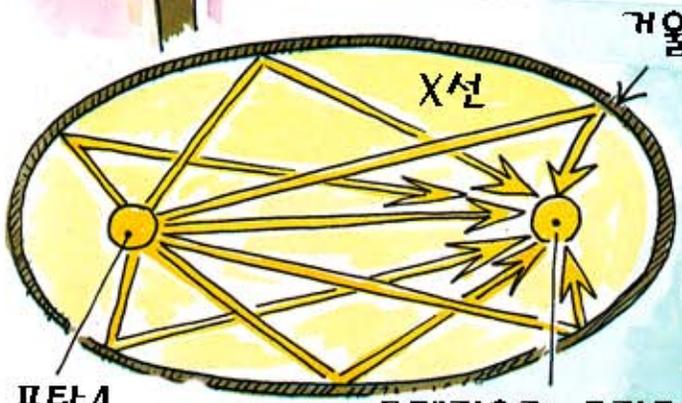


아직... 문제점이 많아.

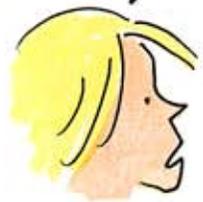
그렇다고 낙담에선
안돼!



음... 에드워드 텔러가 핵융합을 이용해
폭탄을 만들어 냈지. 그럴려고 그랬던 건 아니었는데,
암튼 그렇게 되었지. 텔러에게 좋은 생각(*)이 있었는데...
항상 그는 좋은 아이디어가 많았지.
폭탄 A가 폭발할 때, 처음의 1000분의 1초 동안
엄청난 양의 X선을 뿜어내기 시작하지.
그런데, 텔러가 이 X선을 거울 같은 걸로 반사
시켜서 듀테리움과 트리튬 혼합물로 된
목표물에 쏠 제안을 할 거야.



그래서 ...
잘 되었나요?



아, 그럼, 아주 잘...



(*) 에드워드 텔러는 세계대전 중 로스 앨러모스의 연구원이었는데,
영화 닥터 스트레인지러브는 그를 모델로 한 작품이다.

텔러는 우라늄238 반사경도
만들었지.

왜 아필
우라늄238이죠?

그게야 당연하지, 생각해봐.
폭탄 H가 폭발하면 핵융합 중성자가
핵연료성 물질 U238을 공격해서
Pu239로 핵변환이 되고, 굳이어
핵분열을 하게되지.

그야말로 끔찍한 폭탄이지.
분열-융합-분열을 거듭하는.

제어된 에너지의 핵융합

중성자-트리튬 혼합물(액체상태)에 온갖 형태의
에너지를 집중시켜 좁으로써 핵융합을 일으키려 하고있다.
즉, 고강도 레이저 광선, 그리고 다른 가속기로 만든
핵이나 전자같은 다양한 입자들로 말이다.

이용된 에너지의 강도는 엄청나다.

열에 불꽃을 일으키기 위해 (몇십억분의 1초동안)
프랑스 크기 만한 태양 반사경 크기에
맞먹는 에너지로 직경 1mm도 안되는
그에 집중시켜 쏘아 주어야 한다.

순간적인 에너지의 강도는 엄청나지만,
전체 에너지는 약하다. 이 핵 "성냥" 은
200그램의 분말과 맞먹는 양이다.

에이, 난
지금 선택중!

에피로그

원자 에너지는 우리에게 꼭 필요한 것이지만,
 핵융합과 핵분열은 모두 우리에게
 많은 불편을 끼쳐,

이 망알놈의
 쓰레기들!

그리고 또, 수많은 우발적
 위험들이 존재해,
 원자로가 과도하게 작동되면,
 강철 그릇과 콘크리트, 그리고
 심지어 땅조차 녹아버릴
 수 있어. (차이나 신드롬(*))
 게다가, 핵분열 중인 덩어리는
 땅속까지 파고들어
 멈출 수도 없게 될 거야.

어떻게 하지?

아주 짧은 거야,
 나이면 우리 아직도 원자시대
 초기에 있어.

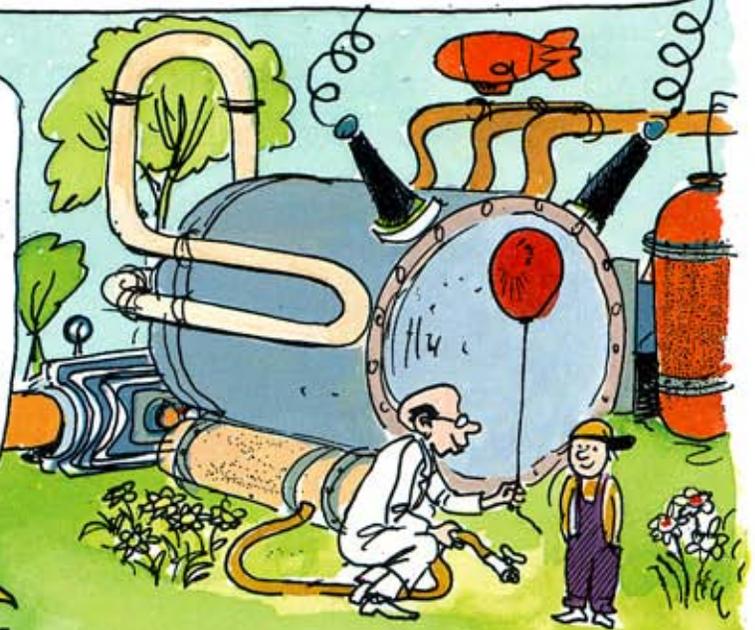
난 이 죽어선 문제점들을 완전히
 해결할 수 있는 혁신적인 발전이
 가능하리라 믿어,
 하지만, 핵분열보다는 핵융합 쪽이 더
 전망이 밝다고 봐.

아...

(*원자로사람들의 사진자료들을 보면, 원자로를 땅속을 파고들고 있다.

핵융합 반응에선, 중성자들은 자유로이 반응하지 못하기 때문에, 이론적으로는, 자기징의 힘에 의해 핵융합 플라즈마 속에 가두어 놓을 수 있어.

황금개가 온 거야!
오염을 유발하지 않는
친환 경적 핵융합 발전소야.
(리튬-수소 혹은 붕소-수소)
유일한 반응 생성물 헬륨으로
아이들의 공을
부풀릴 수 있어.



말도 안돼!
이건 꿈이야!

아냐, 사람들은 촉매 냄비란 것을
이용해 집에서 볼도 볼일 수 있는 걸,
창문을 닫은 채로 글썽도 없이 말야!

맞아,
수증기와 탄산가스는
양이 적을 경우에
숨을 쉴 수가 있지.



핵융합 촉매제 같은 것
혹시 없을까?
그러면 낮은 온도에서 작업할 수
있을 텐데.



있지 물론, 탄소.

맞아, 근데, 태양은 핵융합을 어떻게 일으키지?
 태양의 중앙 보일러는 천5백만도 밖에 안될텐데,
 점화온도 1억5천만도 보다 10배나 더 약한데 말이야?

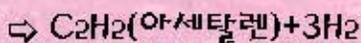
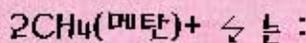
탄소가 촉매제로 작용하지, 탄소는 융합반응의
 꽤 복잡한 단계에 개입하고, 나중에
 재생되는데, 탄소 12에 수소 1을
 더하면 질소 13이 되고, 질소 13은 다시
 질소 15로 변해서, 결국, 질소 15 + 수소 1
 -> 탄소 12 + 헬륨 4가 돼.
 (베테의 탄소 순환반응)

이 반응은 너무 느려,
 (단, 태양이 안가할 때는
 예외)

뮤온

차가운 가스의 혼합물 속에
 간단히 방전기 속 전자들로
 분자들에 충격을 가함으로써
 복잡한 화학반응을 일으킬
 수 있다.

예:



분자속에 있는 전자들은 뮤온으로
 바뀔 수 있어, 뮤온은 큰 전자 처럼
 생겼는데, 핵들을 서로 가까이
 모아 주지,

그럼, 뮤온으로
 “중속” 핵융합의
 혼합물에 충격을
 가해줘도 되겠군.

잘되고 있어?

아주 잘 되고 있어. 증식기 속에 묶은을
생성시키는 법을 알아냈어. 묶은으로 튜테리움과
트리튬의 액에 충격을 가해주면 헬륨이 생성돼.
그러니까, 핵융합은 일어나긴 하는데... 하지만,
이건 겨우 몇몇 입자로 핵안 미소체물리학
실험 정도이니, 핵융합의 산업적 이용까지는
아직도 갈 길이 멀어.

핵을 외전시키는 방법도 있는데, 그러니까, 탱고 대신 왈츠를 추게
만드는 거지. 그렇게 하면 충돌 효과를 증진시킬 수가 있어.

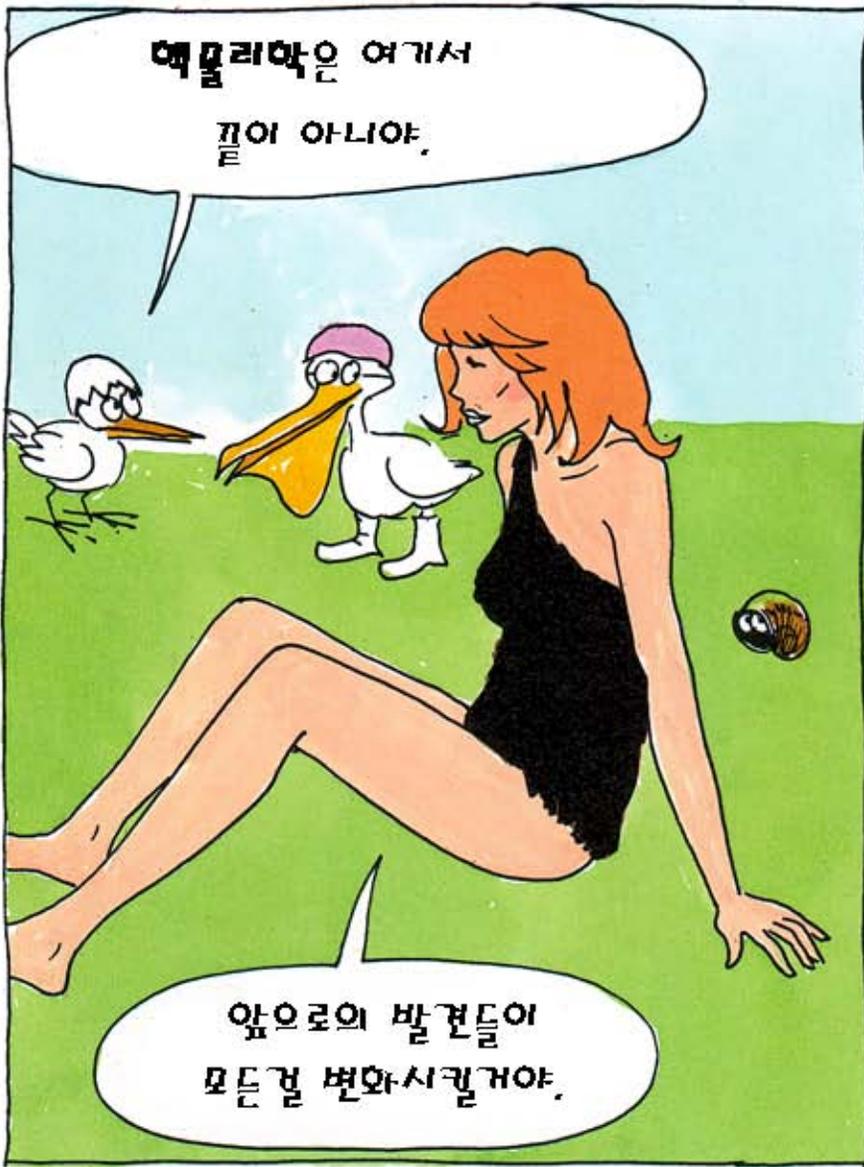


BANG

앗, 미안해!

좀 더 조심
할 수 없어?

아, 또 시작이군.
매번 똑같다니까.







이제 만족하니?

과악이 뭐길래
...에요...

이 아름다운
행성에 말이야...

끝