

Dobrodružství

**ANSELME  
LANTURLU**



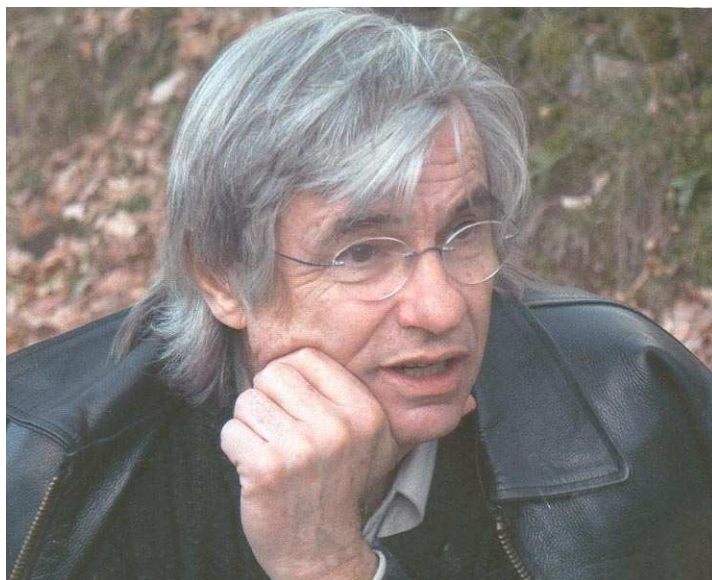
# ATOMOVÁ ENERGIE

Jean-Pierre Petit



# Věda bez hranic

Společnost podle zákona 1901



**Jean-Pierre Petit, prezident společnosti**

Jean-Pierre Petit je bývalý vedoucí výzkumu v CNRS (Národní středisko vědeckého výzkumu), astrofyzik a zakladatel nového literárního žánru, který se nazývá vědecký komiks. V roce 2005 založil se svým přítelem Gilles d'Agostini společnost Věda bez hranic, jejímž cílem je po světě bezplatně šířit znalosti, vědecké a technické vědomosti nevyjímaje. Společnost, která funguje díky darům, platí překladatele 150 eur (v roce 2007) a hradí bankovní poplatky z převodu platby. Četní překladatelé každým dnem zvyšují počet přeložených alb (v roce 2007 bylo k dispozici 200 zdarma stažitelných alb ve 28 jazycích, včetně Laoštiny a Rwandštiny).

Tento soubor pdf může být jako celek nebo jeho části volně duplikován a šířen, lze ho použít k výuce a to pod podmínkou, že nepůjde o výdělečnou činnost. Soubor je možné uložit do městských, školních a univerzitních knihoven, jednak formou výtisku nebo na síti typu Intranet.

Autor začal doplňovat sérii knih nejdříve jednoduššími alby (pro děti ve věku asi 12 let). Zároveň také pracuje na „mluvících“ albech pro analfabety a „bilingvních“ albech určených k výuce jazyků na základě mateřského jazyka.

Společnost neustále hledá nové překladatele do mateřských jazyků, kteří mají technické dovednosti, díky nimž alba dobře přeloží.

**Kontaktní adresa je na úvodní stránce společnosti**

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

# PŘEDMLUVA



Byl jednou jeden svět,  
ve kterém lidé neznali oheň.  
Pekli si pokrmy přímo  
na slunci.

Kdybychom tak přišli  
na něco jiného...

Po setmění nosili  
do jeskyně těžké kameny,  
které přes den rozpálilo slunce.

... úmorné ...

Spíš?

Ne, kameny už  
vychladly.

Mrzneme

Až přijde zima,  
bude hůř. Polovina  
kmene je už nastydlá.

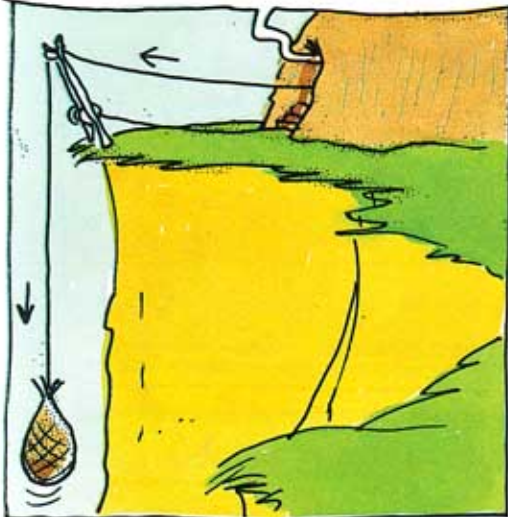
Co děláš?

Hledám způsob, jak  
**USKLADNIT ENERGIÍ.**



Běhat každý večer pro  
kameny je opravdu úmorné.

Vymyslel jsem zařízení,  
kterým vytahujeme každý  
večer do jeskyně  
pytel plný teplých kamenů.



A přes den  
tahám nahoru náklad.

Skladuješ  
**POTENCIÁLNÍ  
ENERGII.**



Je to praktické. Ale proč musíme pořád  
veškerou **PRÁCI** dělat my?

Co to děláš,  
Anselme?



Zdokonaluji metodu  
**USKLADNĚNÍ ENERGIE.**

Hotovo!

Chceš říct, že  
jsi **DO** této krabice  
uskladnil energii?



Vymyslel jsem způsob,  
jak uskladnit  
**VNITŘNÍ ENERGII.**

??

Energii můžu podle libosti  
**PŘENÁŠET** a  
**ZNOVU VYUŽÍT.**



Sofie! Vždyť to  
bylo jen  
USKLADNĚNÍ  
VNITŘNÍ ENERGIE!



# CHEMICKÁ ENERGIE

Trochu v jeskyni uklidím.  
Válí se tu ledek, síra...



Dřevěné uhlí je tu  
od požáru lesa, který  
způsobil Bůh Hrom.



Musím to udělat pořádně,  
jinak mě Sofie dál...



Ještě jeden  
balvan.



Sofie! Učiniil jsem objev!  
V tom **ČERNÉM PRACHU**, který  
jsem právě vyrobil je **ENERGIE!**



Budeme ho moci používat  
na pečení potravy a na topení!



Nech se  
překvapat...

Podle mého názoru to je  
dobrý objev, ale bude  
se těžko používat.



Mám to nechat být?



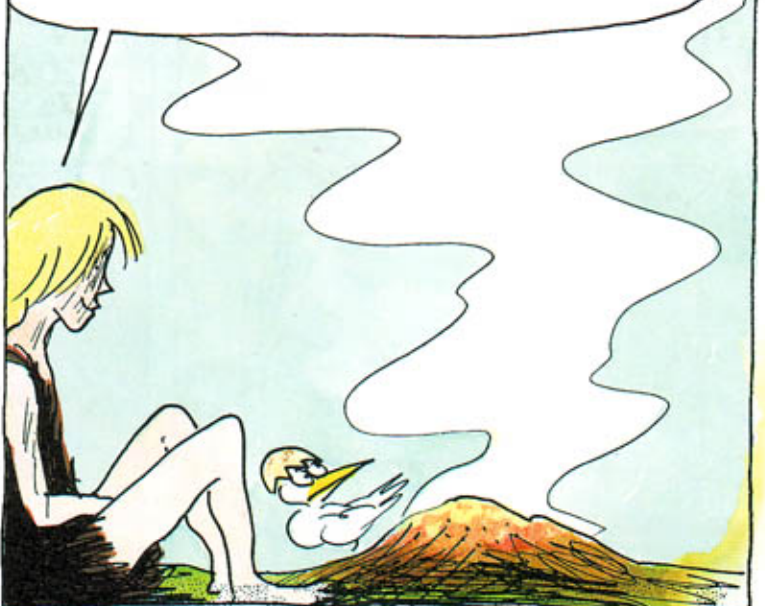
A co kdybychom  
ten prášek smíchali  
s pískem?


Funguje toll! Písek tu směs  
zklidnil a energie se  
uvolňuje pomaleji!



Máme pod kontrolou  
uvolňování tepla.


V zimě už nebudeme  
celí skřehlí...






Sálá z toho velké teplo,  
ale špatně se nám dýchá.


Chceš říct, že se můžeme udusit!



Tak. Když pustíme kouř do  
koženého měchu, tak už to je lepší.




Kouř se přeměňuje na prach,  
kterého se můžu zbavit.



Je to dobré, ale přeci jenom  
to není moc praktické...


Nelze to ale jen tak někam  
vyhodit. Jinak otrávím  
vodu v jezeru.

# ATOMOVÁ ENERGIE



Hele, to je legrační.  
Voda z pramene je vařící.

Odkud pochází  
energie?



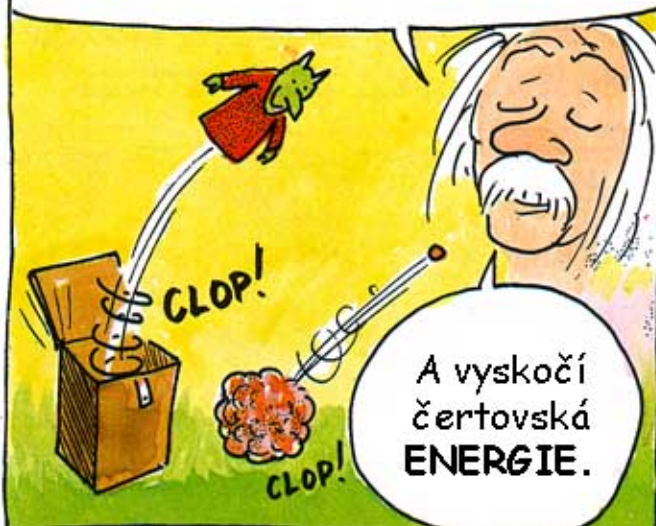
Jsou snad  
pod zemským  
povrchem čerti?

.. krabičky, ve kterých jsou čertil?



Legenda říká, že kdysi dávno byla **ENERGIE** schována do **JADER** některých **ATOMŮ**, jako například **URAN**. Atomy byly vyrobeny v pekelných slunečních pecích, poté vystřeleny ven a schovány do zemské hmoty při jejím formování.

Ale tyhle atomy nejsou jako pevné krabičky. Občas se nějaké víčko uvolní.



Legenda říká, že **NA KONCI VĚKŮ** všichni čertíci vyskáčou z krabiček a tento druh energie z vesmíru zmizí.



A vesmír splaskne jako prasečí močový měchíř.

Ale bude to trvat ještě dlouho, předlouho...



Aspoň tak.

A je třeba poděkovat bohům za prozíravost, že nám nechali tolik energie.

A jak dlouho čertíci zůstanou v krabičkách?  
Jak dlouho si **JÁDRA** uchovají **ENERGII**?



To záleží, můj synu, na krabičkách a atomových jádrech.



# POLOČAS ROZPADU RADIOAKTIVNÍHO PRVKU

Když budeme pozorovat skupinu krabiček, které obsahují čertíky, tak za určitou dobu  $T$ , které říkáme **POLOČAS** neboli **PERIODA**, z **POLOVINY** krabiček čertíci vyskáčou. Za stejnou dobu se polovina zbývajících krabiček otevře. A tak dále. Poločas může trvat různou dobu: miliardy let nebo zlomky vteřiny.



A kdyby neexistovaly krabičky s čertíkama - jádra nabitá energií v centru Země, tak by teploty v zimě byly daleko nižší.

Kdybych tak našel všechny ty atomy nabité energií.



Stačilo by, abych jich nashromáždil dostatek do lahve a celou zimu bych tak topil!

Pozor, Anselme, dopad **ATOMOVÉ ENERGIE** je nekonečně silnější než dopad **CHEMICKÉ ENERGIE**.  
**STA TISÍCKRÁT SILNĚJŠÍ.**



Radioaktivní jádra vystřelují čertíky velmi prudce.

Zkusím zjistit, zda má pan Albert pravdu. Víčka krabiček se postupně nadzvedají. Otvírají se jedna po druhé.



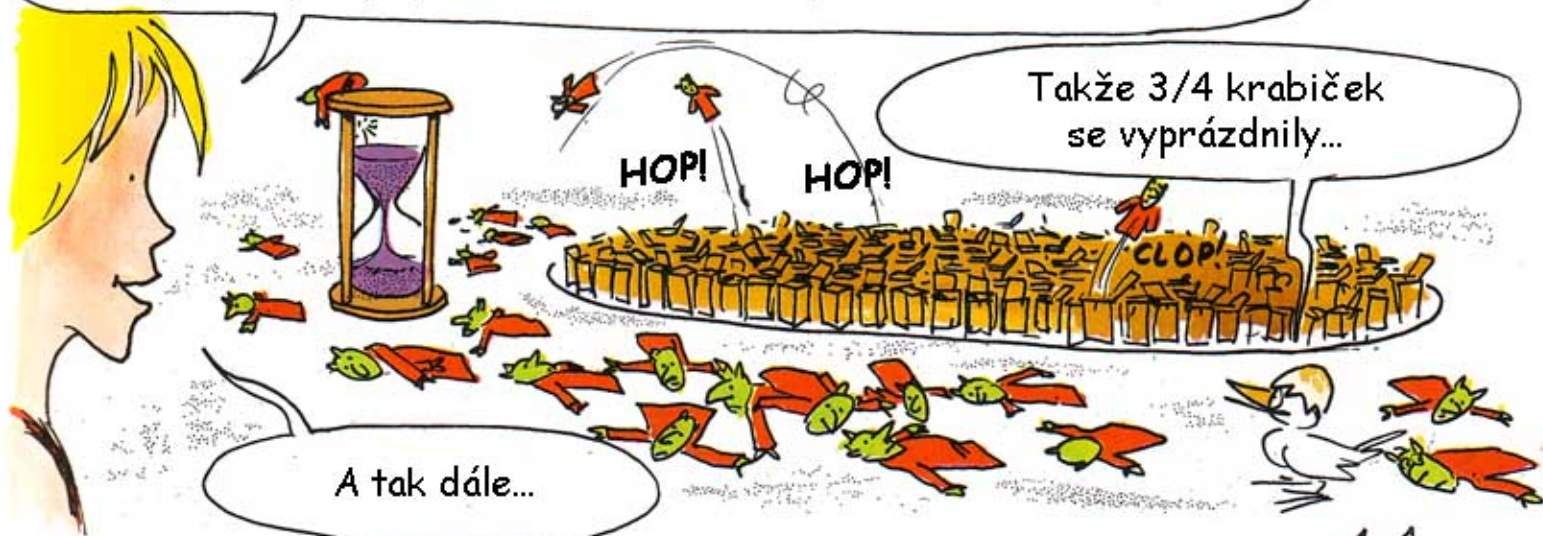
Naskládám krabičky vedle sebe.

Dobře, polovina krabiček se za poločas vyprázdnila.



Pan Albert měl pravdu.

Za druhou, stejně dlouhou dobu, z poloviny zbývajících krabiček také vyskákali čertíci.



Takže 3/4 krabiček se vyprázdnily...

A tak dále...

Postupně se to zpomaluje. Krabičky se otevírají čím dál tím pomaleji.

Zpočátku musela být Země radioaktivnější.

A pak se to zklidnilo.

# PŘEMĚNA ENERGIE

Kde se nachází  
v tom všem **TEPLO**?

A co kdybychom  
to dali do kotlíku?

Zkusme to...


Funguje to! **RADIOAKTIVNÍ ATOMY** vydávají **ENERGII**, kterou vstřebává voda a **PŘEMĚŇUJE** ji na **TEPLO**.

Ale **PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA**  
uvolňuje málo **ENERGIE**.


K tomu, aby se člověk ohřál,  
je potřeba velké množství  
radioaktivních látek.

# RŮZNÉ DRUHY ČERTÍKŮ

Ve skutečnosti existují různé druhy čertíků. Jádra mohou vydávat **RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ** nebo **ZÁŘENÍ  $\gamma$** .  
Je to něco jako neviditelné světlo.



Honem!  
Kupředu!




Například dostatečně tlustá olověná vrstva může záření pohltit. Energie se v tom případě přemění na teplo.

Jiné druhy čertíků mají **ELEKTRICKÝ NÁBOJ**.



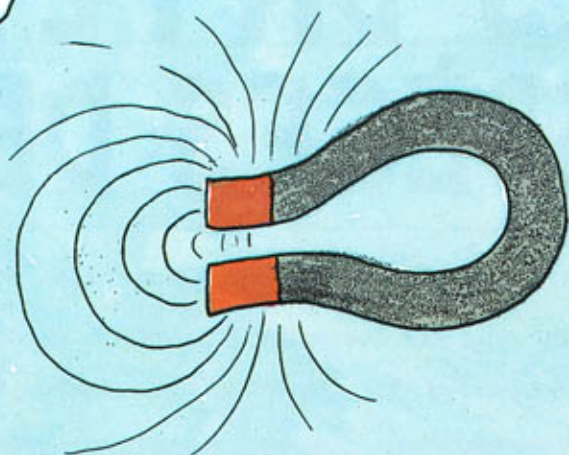
A létají rychle?



To záleží na **ENERGII**.  
Můžou dosáhnout rychlosti až několika desítek tisíc kilometrů za vteřinu.

A touhle rychlostí musí vším prolétnout...

!...



Ne, představ si, že se odrážejí od **MAGNETICKEHO POLE.**

Stejně tak nabité částice, které vydává Slunce (Sluneční vítr) se odrážejí od zemského pole (\*).

Zemi tedy **CHRÁNÍ** magnetické pole.

Ano. Kdyby Země neměla přirozenou magnetickou ochranu, tak by nabitě částice vydané Sluncem, značně poškodily živé tkáně.

Třetí druh čertíků je nejzákeřnější:  
**NEUTRON**. Může se také  
pohybovat rychlostí až 20 000 km/s.  
Vzhledem k tomu, že nemá **ELEKTRICKÝ  
NÁBOJ**, tak ho magnetické pole nezastaví.



Všichni čertíci mohou  
nezvratně poškodit živé tkáně.  
Je třeba se před nimi chránit!

Neutrons and electrically charged particles have  
a certain mass and spread kinetic energy  $\frac{1}{2} mV^2$ .  
Solid matter, liquid or gas can  
absorb the energy and convert it  
into heat. I would like to know more about nuclei.



# STABILITA JADER

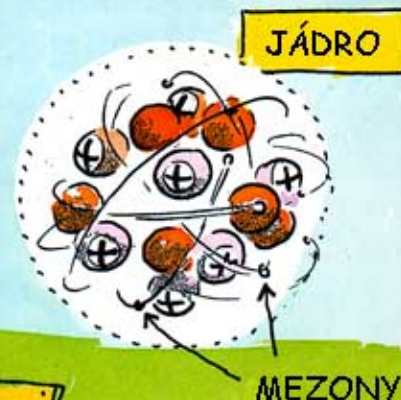
Jádra se skládají z **NEUTRONŮ**, **PROTONŮ** a částic, kterým se říká **MEZONY**.



URAN 235  
92 PROTONŮ  
+ 143 NEUTRONŮ  
= 235 NUKLEONŮ



PLUTONIUM 239  
94 PROTONŮ  
+ 145 NEUTRONŮ  
= 239 NUKLEONŮ

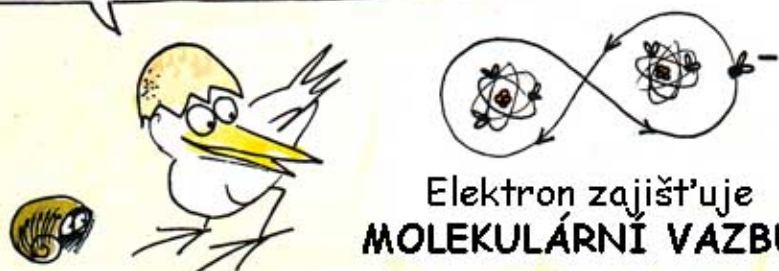


**MEZONY** hrají v **JÁDRECH** stejnou roli jako **ELEKTRONY** v **MOLEKULÁCH**: zajišťují **KOHEZI**.

Takže **JÁDRA** jsou **MOLEKULY**?



**JÁDRA** se skládají z **NUKLEONŮ**. **MOLEKULY** se skládají z **JADER**.  
My samotní se skládáme z molekul.



Přeměnami **MOLEKUL** se zabývá **CHEMIE**.

Molekuly  
 $\text{O} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$   
KYSLÍK PLUS VODÍK = VODA



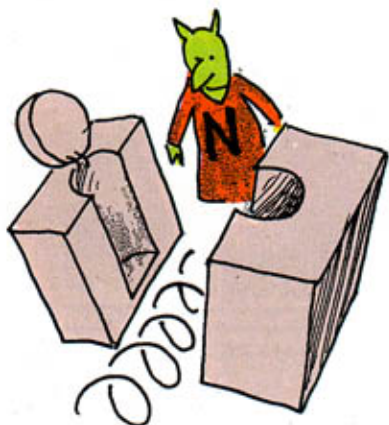
**JADERNÁ FYZIKA** se zabývá **PŘEMĚNAMI JADER**.

NESTABILNÍ jádro je jádro, které má krátkou dobu života.

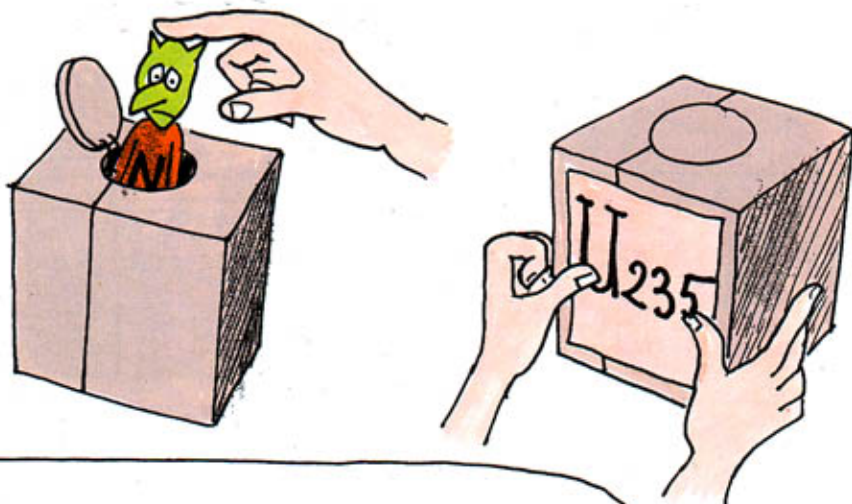
Neutrony působí na některá jádra (neutrony jsou relativně stabilní, protože mají velkou délku života). Mohou jádra zcela vyvést z rovnováhy a způsobit jejich roztržení - ŠTĚPENÍ.

Platí to pro URAN 235 a PLUTONIUM 239.

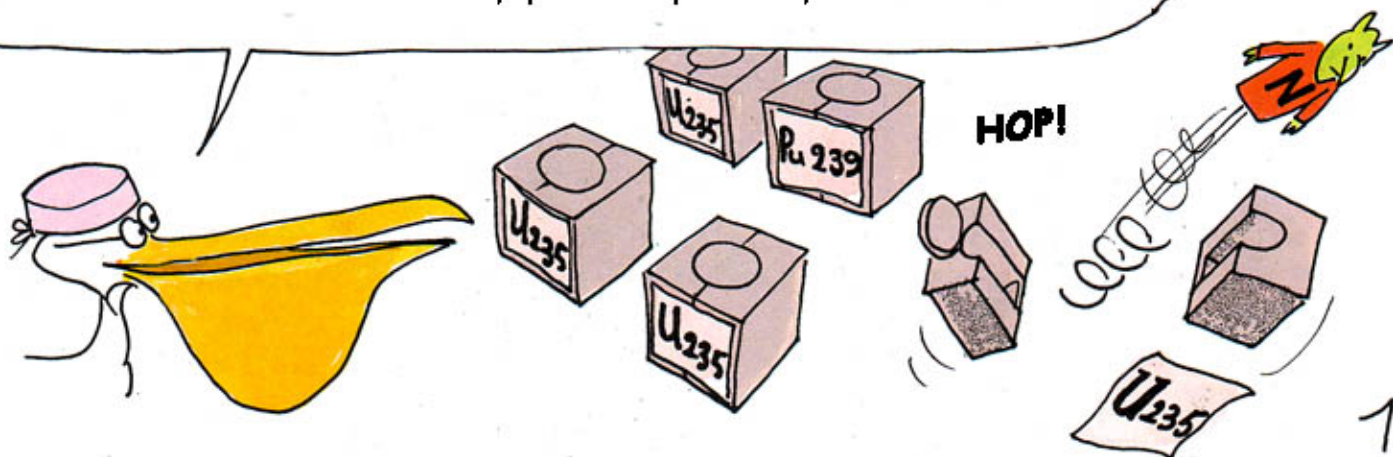
# ŠTĚPENÍ



Jádra můžeme znázornit jako spojení dvou různých hmot a jednoho neutronu.

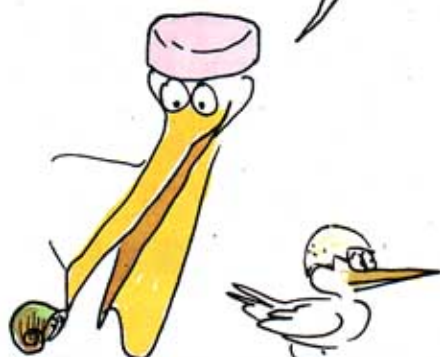


Jádra uranu 235 a plutonia 239 představují určitý druh přírodní radioaktivity. Mají velmi dlouhý poločas přeměny.





Tohle je příklad **ŠTĚPENÍ**. Setkání s neutronem změni rovnováhu jádra plutonia, které se rozpadne. Výsledkem reakce je vypuštění **DVOU** neutronů (\*).



Přijdu  
tomu na zub.

Anselme nashromáždil velké množství  
krabiček s čertíky do kruhu o poloměru R.

Uran 235 a plutonium 239.



Z krabiček vyskakuje  
pekelná **ENERGIE**.

Hele, třeba tohle!



Jedná se o **NEUTRONY**.

Čertík vrazil do sousední krabičky  
a zapříčinil tak její rozpad a  
uvolnění čertíka-neutrona,  
který byl uvnitř.

18 (\*) Jde o pouhé schéma. Štěpné jádro nejprve vstřebá dopadající neutron (z U235 se stane U236 a z Pu239 se stane Pu240). Tyto nové, velmi nestabilní předměty se téměř okamžitě rozštěpí.

# ŘETĚZOVÉ REAKCE

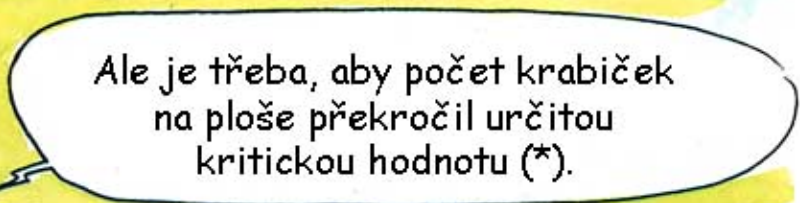
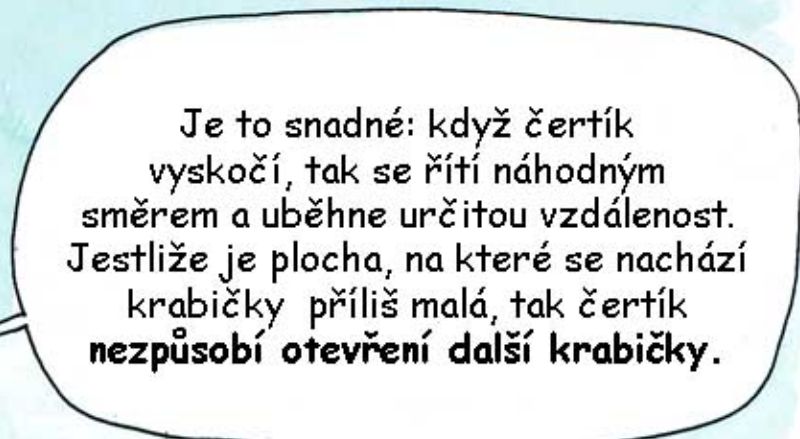


Tito dva čertíci způsobují otevření dalších dvou krabiček!





# KRITICKÉ PODMÍNKY



Jinak propukne **ŘETĚZOVÁ REAKCE**.

(\*) Běžně se používá termín **KRITICKÉ MNOŽSTVÍ**.

Ve skutečnosti můžeme mezi nízkým vyzařováním **PŘÍRODNÍ RADIOAKTIVITY** a **ŘETĚZOVOU REAKCÍ** najít zlatou střední cestu. Když budeme měnit **KRITICKÉ MNOŽSTVÍ**, i když jde o velmi složité nastavení, tak můžeme stanovit počet čertíků, kteří vyskočí za sekundu neboli energický tok.



# JADERNÝ REAKTOR

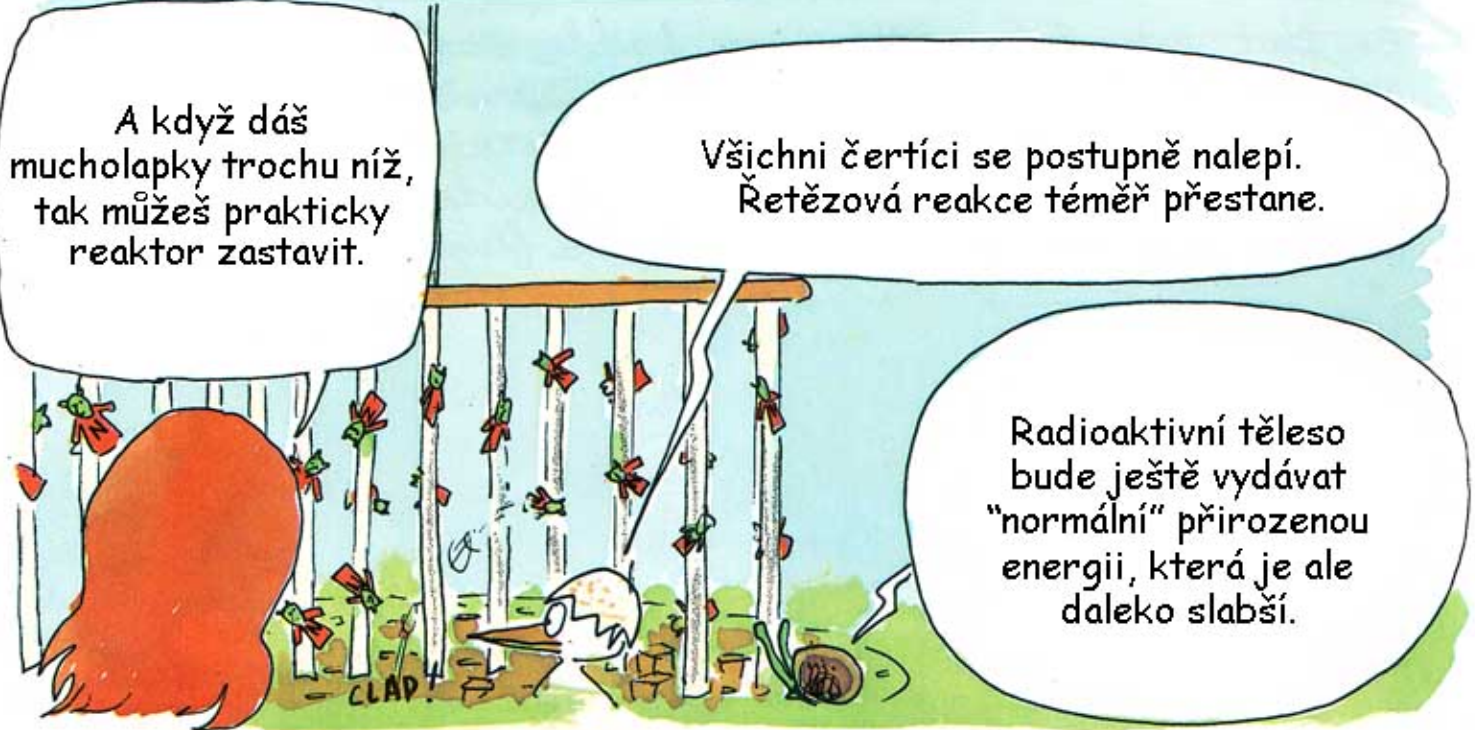
Neexistuje způsob, jak lépe reaktor řídit?

Mohli bychom přidat něco, co by pohlcovalo čertíky - energii.

Vypadá to jako mucholapky.

Zkusme to...

Když přidám mucholapky, tak pochytám čertíky, což mi umožní libovolně omezit provoz reaktoru.




A když dáš  
mucholapky trochu níž,  
tak můžeš prakticky  
reaktor zastavit.

Všichni čertíci se postupně nalepí.  
Řetězová reakce téměř přestane.

Radioaktivní těleso  
bude ještě vydávat  
"normální" přirozenou  
energii, která je ale  
daleko slabší.

Dobře. K vyrobení **JADERNÉHO REAKTORU**  
stačí nashromáždit dostatek těžkých jader **URANU 235**  
nebo **PLUTONIA 239**. Provoz reaktoru budeme řídit  
pomocí tělesa pohlcujícího čertíky neboli **ŠTĚPÍCÍ SE** neutrony.



Uranová ruda obsahuje 0,7 % uranu 235 (**ŠTĚPITELNÝ** uran).  
Zbytek tvoří uran 238, který není štěpitelný.



K pohlcení **NEUTRONŮ**  
budeme používat **KADMIUM**.

Plutonium 239 se v přírodě  
pravděpodobně nenachází.  
Jak tedy můžeme zamýšlet,  
že ho použijeme v reaktoru?

Hm... máš pravdu...

# ÚRODNÁ HMOTA

Uran 238 se dá také pokládat za sloučení dvou prvků. Je v něm místo ještě pro jeden neutron.



Jinak řečeno fungující uranový reaktor obsahuje směs **ŠTĚPITELNÉ** a **ÚRODNÉ** hmoty. Z **ÚRODNÉ** hmoty se vyrábí určité množství **ŠTĚPITELNÉ** hmoty.



Co to znamená určité množství?

Záleží to zcela na tom, jak reaktor funguje. **ŠTĚPÍCÍ SE NEUTRONY** vystřelují ze začátku všemi směry rychlostí 20 000 kilometrů za sekundu.



BZZZZ!

23

# REAKTORY S RYCHLÝMI NEUTRONY

**RYCHLÉ NEUTRONY** dobře reagují s úrodným **U238**.  
Hbitě vytvářejí štěpitelné **Pu239**.

Co to děláš?



A celé to **PŘIKRYJI**  
**ÚRODNÝM U238**.



**RYCHLÉ NEUTRONY** se ve **STŘEDU REAKTORU** pohybují rychlostí 20 000 km/s. Kdybychom je přirovnaly k molekulám plynu, tak by měly teplotu 16 miliard stupňů.

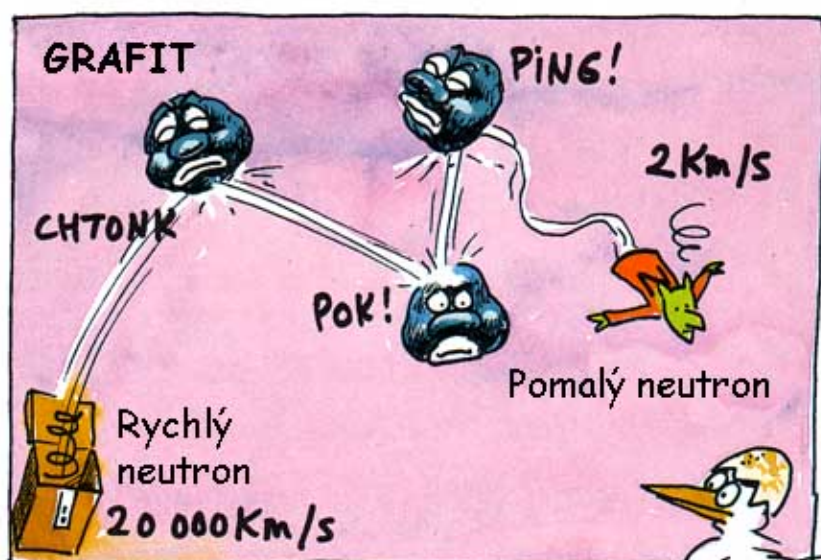
**O TŘI ROKY POZDĚJI**

Jé! Anselme vyrobil **VÍCE** štěpitelného **Pu239**, než kolik spotřeboval **U235**. Jde o **MNOŽIVÝ REAKTOR**.

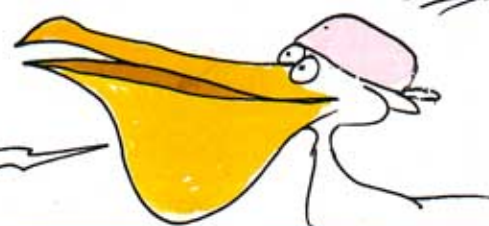
To je normální, protože po každém štěpení zbydou **DVA** rychlé neutrony, které přemění 2 **U238** na **Pu239**.

# REAKTOR S POMALÝMI NEUTRONY

Pomocí **KADMIA** můžu neutrony chytat a řídit tak provoz reaktoru (nebo ho zcela zastavit). Ale pomocí **GRAFITU** nebo **TĚŽKE VODY** můžu neutrony **ZPOMALIT** aniž bych je pohltil. Jedná se o **MODERÁTORY**.



Můžeme tak snížit **RYCHLOST TEPELNÉHO POHYBU** na 2 km/s. Studený neutronový plyn má stejnou teplotu jako reaktor.



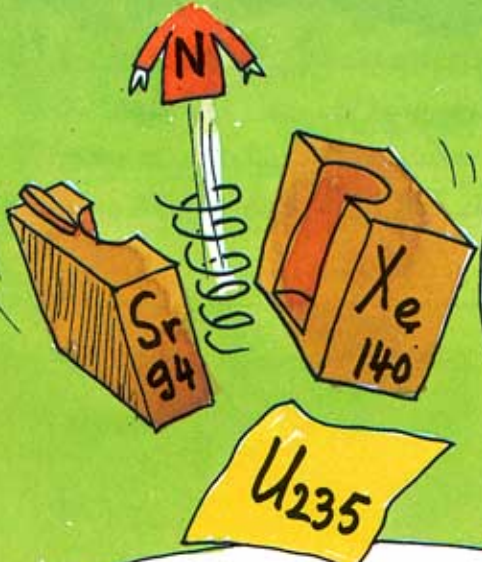
Stále dochází k výrobě Pu239, ale v daleko menší míře než v reaktoru s rychlými neutrony.

Mezi těmito dvěma druhy reaktorů není pevná hranice. Existují reaktory s "vlažnými" neutrony, které se nacházejí někde mezi oběma druhy reaktorů.






# RADIOAKTIVNÍ ODPAD UMĚLÁ RADIOAKTIVITA

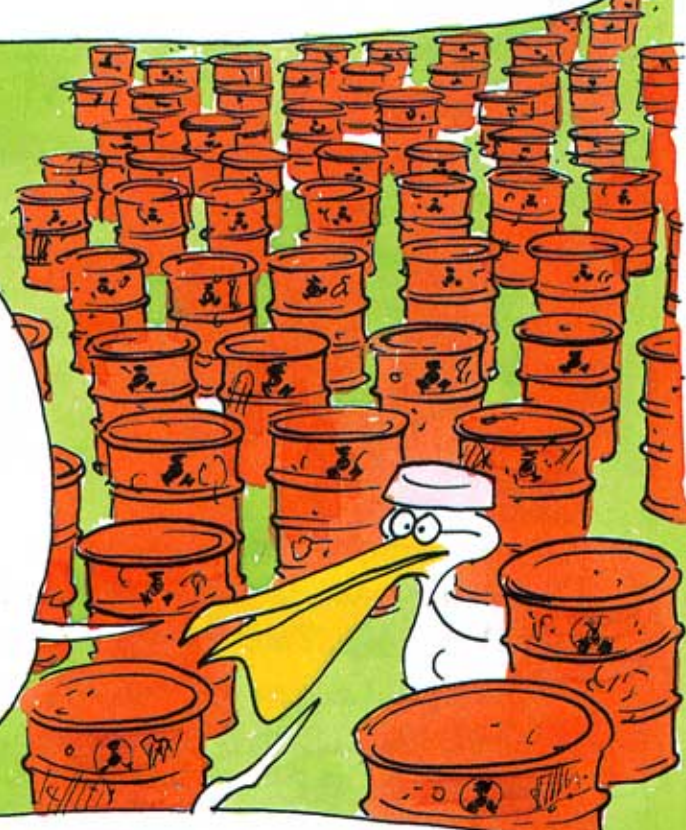


Jádra **U235** a **Pu239** se mohou různými způsoby rozštěpit na dvě části.

Například uran 235 se rozštěpí na stroncium 94 a radioaktivní xenon 140. Všimněte si, že  $94 + 140 + 1 = 235$ .



Tohle všechno přináší problémy. Mnoho **ŠTĚPNÝCH PRODUKTŮ** má těžký život a zůstanou velmi dlouho radioaktivní. **STRONCIUM** se dostává do kostí a **JÓD** do štítné žlázy. Plutonium je také velmi nebezpečné. Tyto látky způsobují **RAKOVINU** a **LEUKEMII**.



Štěpné neutrony mohou být také vstřebány klidnými atomy, z kterých se skládá reaktor. Z klidných atomů se stanou nestabilní nebezpečné radioaktivní látky, které zvýší množství odpadu.

# RADIOAKTIVNÍ PRVKY NA MÍRU



Reaktor produkuje nestabilní radioaktivní odpad, který má různý poločas rozpadu.

Ne. Jádra mohou přijít o hmotu, když vypustí jádra helia, elektrony nebo antielektrony (\*).

Tím chceš říct, že jádra se mohou také rozštěpit?

Hele, Anselme odváží odpad.

CLAP!

Můžeme vyrábět radioaktivní prvky, které mají různý poločas rozpadu a radioaktivní jádra "na míru" tak, že do reaktoru umístíme určité prvky a vypustíme na ně vyskakující čertíky. Mluvíme o **UMĚLE RADIOAKTIVITĚ**.

I am a poor lonesome scientist.  
Tralala.

HOPI  
Galium 68. POLOČAS: 1 HODINA

(\* Radioaktivita "alfa" nebo "beta".

UMĚLÉ RADIOAKTIVNÍ PRVKY objevili  
v roce 1930 **FREDERIC  
A IRENE JOLIOT-CURIE**,  
což o několik let později vedlo k objevu  
**ŠTĚPNÝCH REAKCÍ**.

Jé, podívejte! Anselme  
zmizel, ale můžeme ho  
**LOKALIZOVAT** díky čertíkům,  
které vypouští jeho náklad.

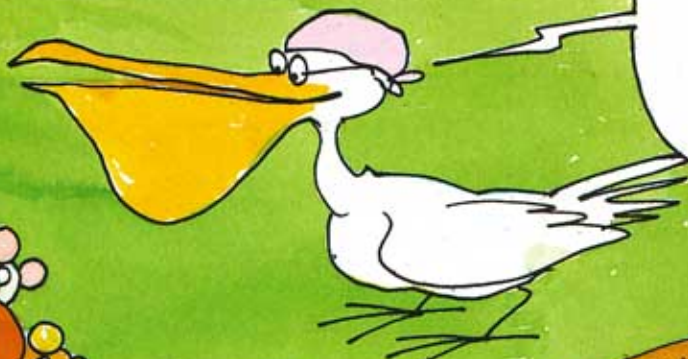


IRIDIUM 113  
POLOČAS: 4 DNY

CLAP!

Mám nápad! Když najdeme to, co  
prvky vyzařují, když použijeme  
**UMĚLOU RADIOAKTIVITU**, tak  
budeme moci jádra přesně **SLEDOVAT**.

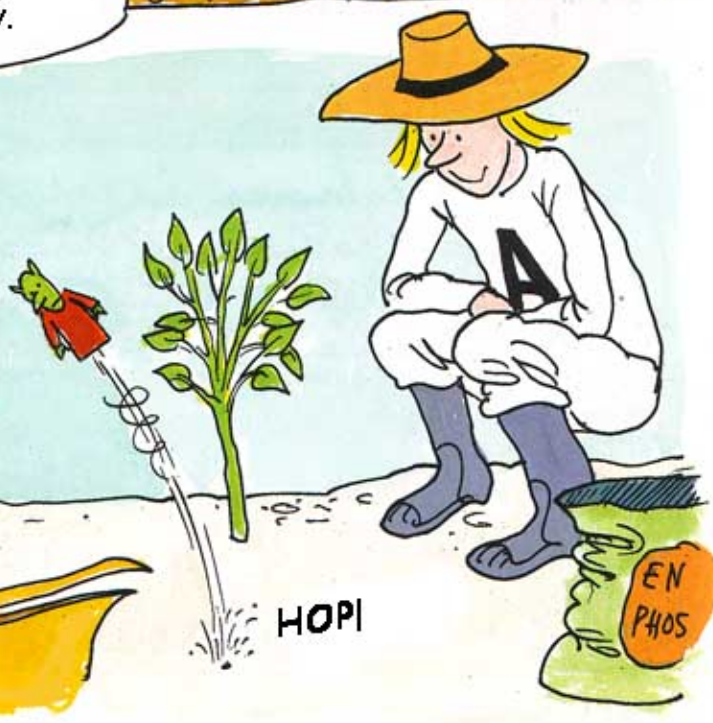
Můžeme dokonce jádra,  
radioaktivní izotopy  
dostat do biologických molekul  
**(ZNAČKOVÁNÍ)**.  
Lze pak sledovat jejich  
pohyb ve tkáních.




CLAP!

Mezi námi je někdo  
nestabilní a nebezpečný.


Existuje velké množství  
mírového využití umělé radioaktivity.  
Můžeme například studovat  
pohyb hnojiva v půdě tak,  
že do fosfátů přidáme  
radioaktivní izotop fosforu.




# ATOMOVÁ BOMBA



Věda o ohňostrojích se díky jaderné fyzice pohla o velký skok kupředu. Když prudce pomocí výbušniny spojíme dva štěpitelné prvky ( $U235$  a  $Pu239$ ), tak vytvoříme kritické podmínky a způsobíme silnou řetězovou reakci, která má nespornou estetickou hodnotu.




Podívejme. Když sloučím tyto dva prvky, tak získám **KRITICKÉ MNOŽSTVÍ**.




Vyletí velké množství nejrůznějších čertíků a radioaktivní odpad se dostane do vysoké atmosféry díky stoupání vzduchových vrstev, které je zapříčiněné silným výbojem tepla. A sousedi si to také užijí.

Pokud se chcete stát členy klubu **VESELÝCH OHŇOSTROJÁŘŮ**, tak si musíte opatřit čisté štěpitelné materiály (100%  $U235$  nebo  $Pu239$ ).

Nabízejí se vám dvě možnosti: rafinovat přírodní uran nebo se obrátit na nejbližší reaktor vašemu bydlišti a po každé fázi provozu shromáždit vyprodukované  $Pu239$ .



Už to bude, už to bude!...



# FÚZE



Planeta Slunce obsahuje hodně uranu  
a proto je tak horká?

Ne, Anselme, tím to není.  
**CHEMICKÉ REAKCE** začínají  
směsí látek, například  
**VODÍKU** a **KYSLÍKU**.

Ale... nic se neděje?!

Protože teplota  
není dostatečně  
vysoká.

Zahřejme směs.

**BUM!**

Co z toho je?

$H_2O$ , voda.

Existují tedy reakce, které  
vydávají hodně energie a  
neprodukují toxické látky.

Kdyby jednou letadla používala jako  
pohon směs vodíku a kyslíku (uskladněnou  
v kapalném stavu), tak by za nimi  
zůstávaly jenom mráčky!

Můžeme možná také "spalovat" směsi jader.

Pod podmínkou, že je zahřejeme na velmi vysokou teplotu.

DEUTERIUM

TRITIUM

HELIUM



Můžeme vytvořit reakci **DEUTERIA** s **TRITIEM**. Jedná se o dva druhy **TĚŽKÉHO VODÍKU**. (Jádro lehkého vodíku obsahuje pouze jeden proton P). Jádra těchto **IZOTOPŮ** se liší pouze počtem neutronů. Směs deuteria a tritia vytvoří helium.

VELKÝ ČERTOVSKÝ PLES

Tohle je plynný prvek **TĚŽKÉHO VODÍKU**, způlky **DEUTERIUM**, způlky **TRITIUM**. Při normální teplotě **ELEKTRONY** obíhají kolem jader a zajišťují tak molekulární **vazby** (pojí jádra k sobě po dvou).



Molekula deuteria



Molekula tritia

Poté se tanec začal  
d'ábelsky zrychlovat.  
Molekuly praskaly (rozštěpení)  
a včelky - elektrony obíhaly  
kolem jediného jádra.

### KOLEM TŘÍ TISÍC STUPŇŮ:

Kolem jader se nedá létat.  
Neustále se pohybují.

Ano, začíná to být šílené. Já na to kašlu...

Z teplého plynu se stala směs jader a volných elektronů:  
**TEPLE PLAZMA.**

Do toho, DJ, do toho!

Víte, že ve čtyřech  
by to bylo lepší?

Ano, při téhle teplotě  
bychom byli stabilnější.

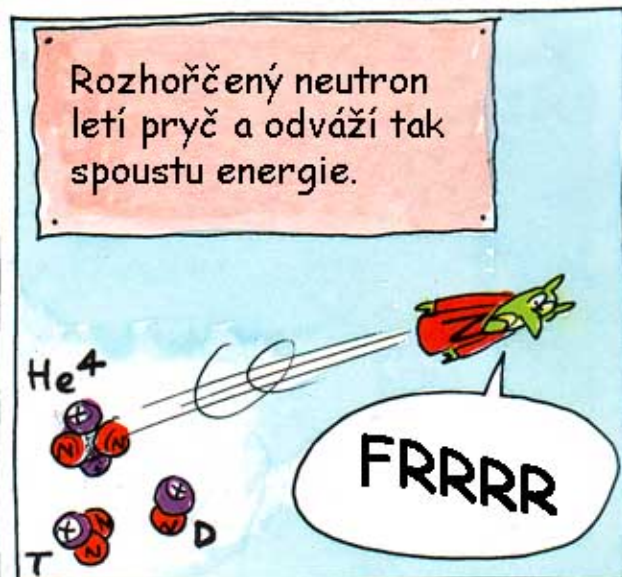
Když **TEPLOTA HOŘENÍ**  
překročí **150 MILIONŮ STUPŇŮ**,  
tal se něco stane.

Myslíte?

Ty ale  
hopsaj!

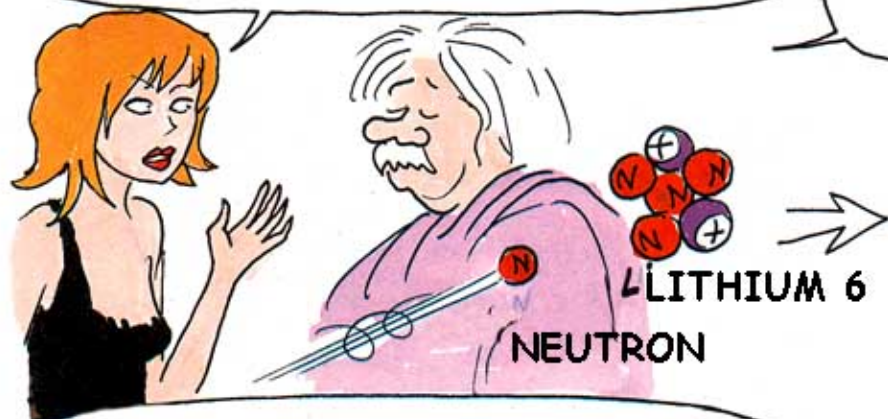
Cítím nějaký podraz.

Hele, počkejte!...  
 $2 + 3 = 5$  a co takhle  
helium se čtyřmi  
nukleony?



Takže **FÚZE** znečišťuje stejně jako **ŠTĚPENÍ**, protože neutrony mění sousední atomy na radioaktivní atomy.

Snažíme se ale tyto neutrony pohltit lithiem 6, ze kterého se stane helium 4 a tritium 3.



Jinak řečeno obal lithia 6 se chová jako "úrodná" hmota. Reakce má za úkol dodat "palivo nutné k fúzi", tritium 3.

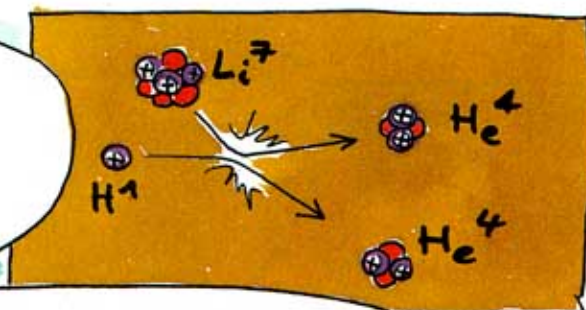
Ano, fúzní reaktor má něco společného s rychlým množivým reaktorem. A je to tak dobře, protože nestabilní tritium (\*) v přírodě neexistuje.



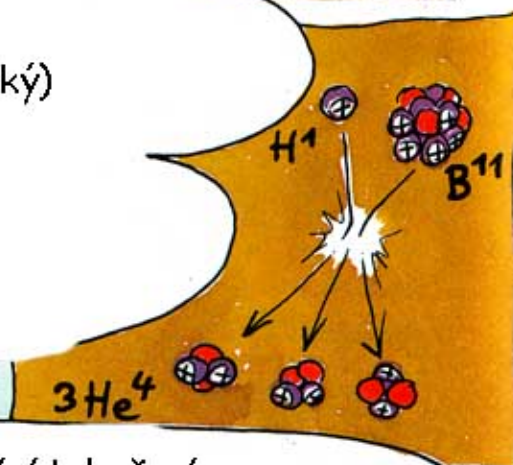
(\*) Jeho poločas se rovná pouhým 12 rokům.



Tady čtu, že existuje spousta fúzních reakcí a obměn jader, při kterých nevznikají volné neutrony.



Lithium 7 + vodík 1 (lehký)  
vytvoří 2 helium 4  
( $7 + 1 = 2 \times 4$ )  
Bór 11 + vodík 1  
vytvoří 3 helium 4  
( $11 + 1 = 3 \times 4$ ).



U první reakce dochází k hoření při teplotě 500 milionů stupňů. U druhé reakce se blížíme miliardě stupňů!...

Hmm... samozřejmě...  
Konkrétně, ale jak  
jádra fúzují?

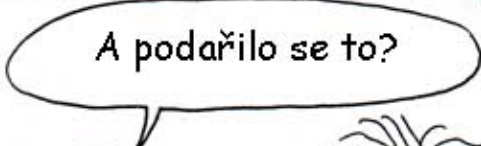
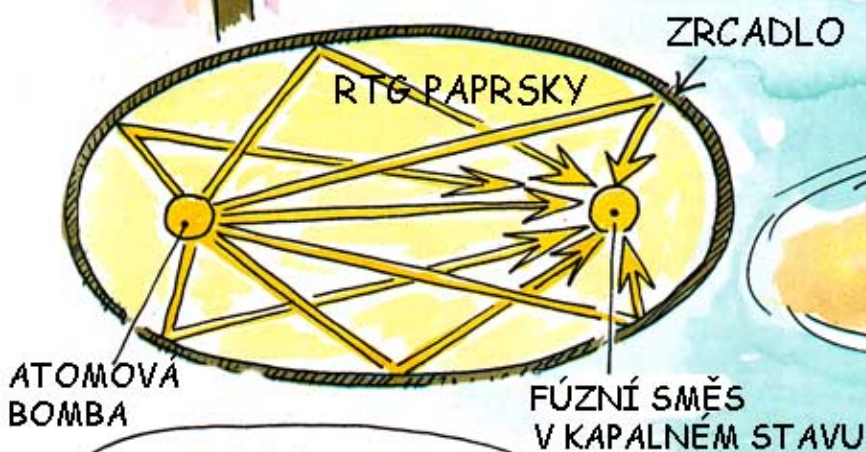
V centru Slunce k tomu dochází pomalu při teplotě pouhých 15 milionů stupňů.

Slunce je pouhý uhlík, nebo co?

Ano. K založení jaderného "ohně" je zapotřebí 150 milionů stupňů, aby reakce probíhaly po dobu, řádově, jedné sekundy.



Hm, Edward Teller vytvořil fúzí novou bombu. Nechtěli jsme to udělat, ale stalo se. Teller dostal nápad (\*). Vždycky měl velmi dobré nápady. Když vybuchne atomová bomba, tak během prvních miliontin sekundy vychrlí velké množství RTG paprsků. Teller navrhl odrazit paprsky v zrcadle a poslat je na terč vytvořený ze směsi deuteria a tritia.



Bohužel ano, podařilo...



(\*) Edward Teller prováděl za války výzkum v laboratořích v LOS ALAMOS v Novém Mexiku. Jeho osoba se stala předlohou S. KUBRICKOVI k postavě DOKTORA DIVNOLÁSKY.

Teller dokonce sestrojil zrcadlo z uranu 238.

Proč z uranu 238?

Přemýšlej trochu. Vodíková bomba vybuchne, fúzní neutrony se vrhnou na hmotu: na **ÚRODNÝ U238** a přemění ho na **Pu239**, který se okamžitě rozštěpí.

Jde o hroznou bombu **ŠTĚPENÍ-FÚZE-ŠTĚPENÍ**.

# ŘÍZENÁ JADERNÁ FÚZE

Zkoušíme uskutečnit **FÚZI** směsi **DEUTERIA-TRITIA** (v kapalném stavu) za použití všech druhů **ENERGIE**:

záření silných **LASERŮ**, nejrůznější částice: elektrony, jádra z urychlovačů. Je třeba použít ohromnou **SÍLU**. K zapálení **JADERNÉHO** ohně je nutné (během několika miliard sekund) nashromáždit sílu, která se rovná síle slunečního zrcadla o rozloze Francie na kouli o průměru menším než 1 mm!

Jé, opalují se!

**CHVILKOVÝ VÝKON** je ohromný, ale celková **ENERGIE** je malá: jaderná "zápalka" se rovná dvěma stům gramům prachu.

# DOSLOV



JADERNOU ENERGIÍ potřebujeme,  
ale ŠTĚPENÍ a FÚZE mají  
spoustu nevýhod.


A co ten  
zatracený  
odpad?

Co budeme  
dělat?

A velká rizika havárie.  
Kdyby se reaktor splášil,  
tak by roztavil ocelovou  
nádrž, beton a samotnou zem.  
**(ČÍNSKÝ SYNDROM (\*))** a  
štěpící se hmota by se  
zavrtala do země a nedalo  
by se to zastavit.



40 let je málo.  
Jsme jen na začátku  
**JADERNÉ ERY.**



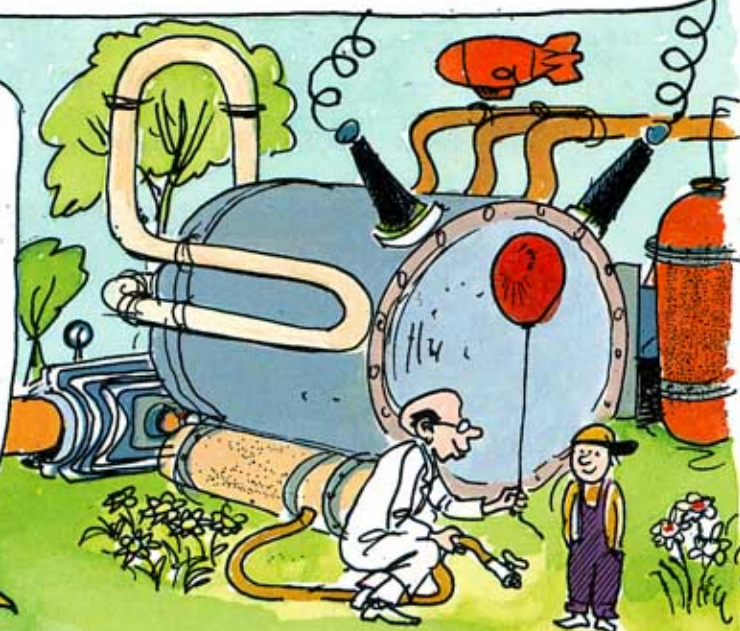
Já si myslím, že dojde  
k převratným pokrokům, které  
zcela změní úhel pohledu.  
Myslím, že to bude  
spíš v oblasti **FÚZE** než **ŠTĚPENÍ**.

Ahá...

(\*) ČÍNSKÝ SYNDROM je film z roku 1979. Jaderný reaktor se rozžhaví natolik, že se provrtá Zemí a objeví se v Číně!...

Ve fúzních reakcích, ve kterých nejsou volné neutrony, můžeme teoreticky **IZOLOVAT FÚZNÍ PLASMU** pomocí výkonných magnetických zařízení (nabité částice "utíkají" z míst, kde je velmi silné magnetické pole).

**ZLATÁ DOBA!** Fúzní ekologická elektrárna na (lithium - vodík nebo bór - vodík). Při reakci vzniká jediná zplodina: helium, které bychom mohli použít k nafukování balonků pro děti!



Nechte mě, ať se zasměju. To je pouhý sen!

Vždyť ale existují kamna s katalyzátorem, ve kterých člověk může **DOMA** topit a přitom mít zavřená okna a nemít komín!...

To je pravda. Uniká vodní pára a oxid uhličitý, které můžeme v malém množství dýchat.



Může existovat **FÚZNÍ KATALYZÁTOR**, který by umožnil provoz při přijatelně nízké teplotě?



Jeden už existuje: uhlík.

No a jak je možné, že ve Slunci fúze funguje, když jeho hlavní kotl má pouhých **15 MILIONŮ** stupňů neboli teplotu **DESETKRÁT NÍŽŠÍ NEŽ JE TEPLOTA JADERNEHO HOŘENÍ: 150 MILIONŮ STUPŇŮ?**

Uhlík slouží jako katalyzátor. Účastní se složitých procesů při reakci a na závěr se obnoví.

Na začátku je uhlík 12 a vodík 1, z nichž vznikne dusík 13.

Potom se dusík 13 přemění na dusík 15 a na závěr:

dusík 15 + vodík 1  $\rightarrow$  uhlík 12 + helium 4 (Betheův cyklus).

Tahle reakce je ale moc **POMALÁ** (Pro Slunce ne, protože nikam nespěchá.)

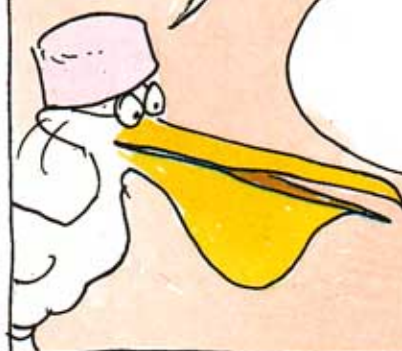
## MIONY

Ve studené plynné směsi můžeme vytvořit složité chemické reakce tak, že na molekuly pošleme elektrony z obyčejného elektrického výboje.



Příklad:  
 $2\text{CH}_4$  (metan)  
+ el. proud =  
 $\text{C}_2\text{H}_2$  (acetylen) +  $3\text{H}_2$

V molekule můžeme vyměnit elektrony za **MIONY** - částice podobné velkým elektronům, které přitahují jednotlivá jádra k sobě.



Tak proč nepošíláme na "vlažnou" fúzní směs miony?

Funguje to?

NO PROBLEM, SIR. Umíme vytvořit miony v urychlovači. Když se srazí s jádrem deuteria a tritia, tak vznikne helium. Dojde tudíž k fúzi. Ale tento malý fyzikální pokus, který se týká malého počtu částic, má k průmyslovému využití ještě hodně daleko!!!...

Můžeme také měnit **SPINY** jader. Jinak řečeno místo valčíku pouštět tango. Zvýší se tak frekvence srážek.

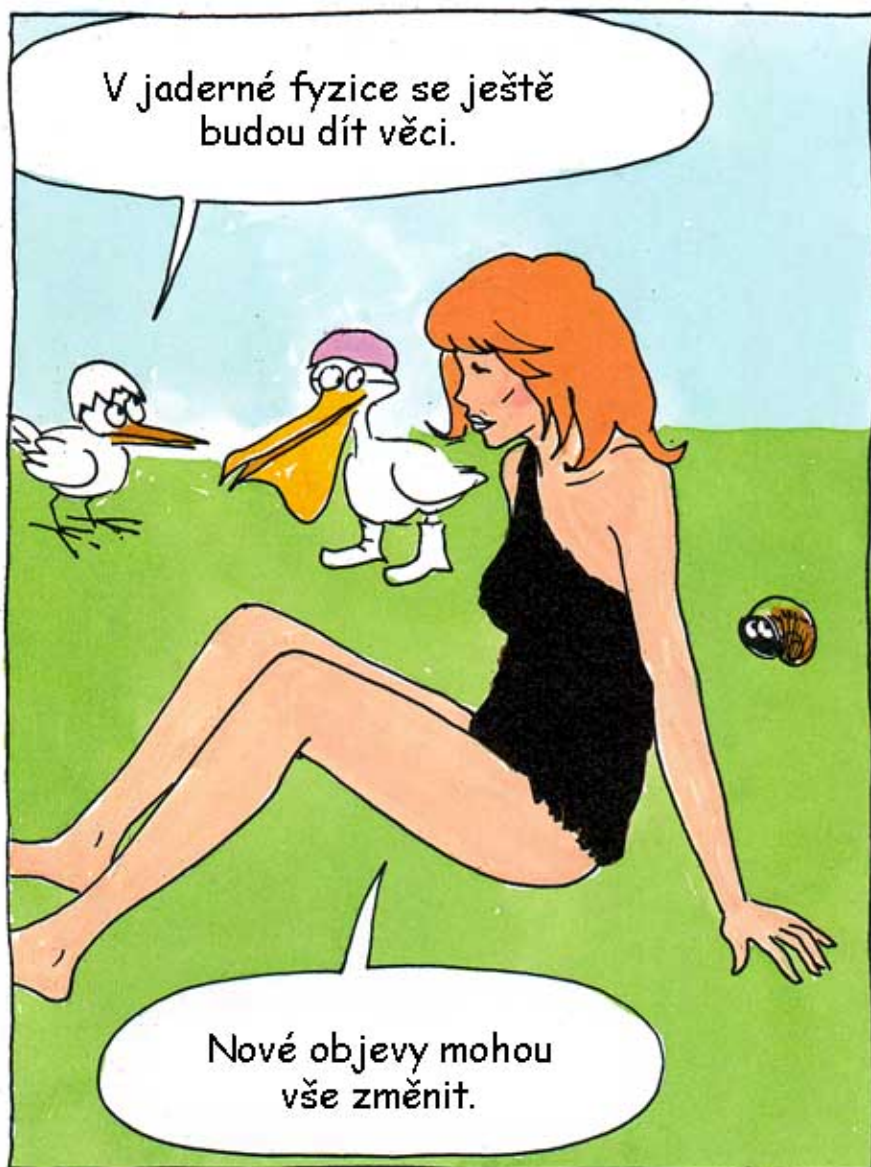
Na krásném, modrém, lalala...

BANG

Jé, promiňte!

Dávejte trochu pozor!

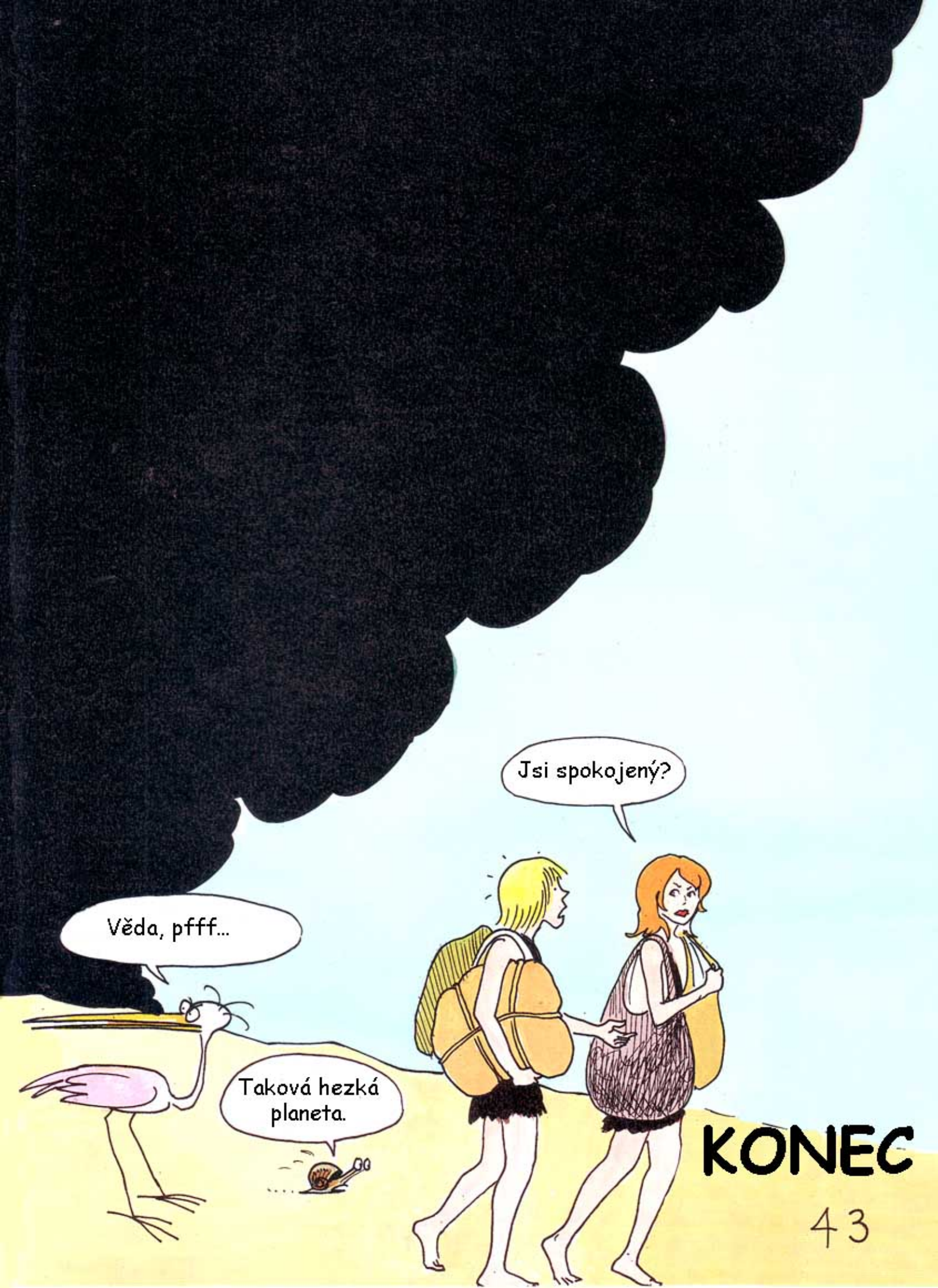
A je to pořád dokola.







Říkal jsem přeci, že objev  
**OHNĚ** byla velká chyba.



Věda, pfff...

Taková hezká planeta.

Jsi spokojený?

**KONEC**

43