INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Název projektu: **Automatizace výrobních procesů ve strojírenství a řemeslech**
Registrační číslo: **CZ.1.07/1.1.30/01.0038**
Příjemce: SPŠ strojnická a SOŠ profesora Švejcara Plzeň

Monitorovací indikátor: **06.43.10 Počet nově vytvořených/inovovaných produktů**
Akce: **Přednáška, KA 5** Číslo přednášky: **19**

Téma: **JADERNÁ FÚZE**

Lektor: **Ing. Petr Konáš**

Třída/y: **1STB, 3ST**

Datum konání: **21. 2. 2014**

Místo konání: **malá aula**

Čas: **2. a 3. hodina**; **od 8:55 do 10:35**

OBSAH:

STRUKTURA ATOMU

JADERNÁ FÚZE

ZAŘÍZENÍ PRO TERMOJADERNOU FÚZI

SVĚT A JADERNÁ FÚZE

MAGNETICKÉ UDRŽENÍ, FÚZNÍ REAKTOR

INERCIÁLNÍ UDRŽENÍ

ZÁVĚR

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

STRUKTURA ATOMU

Pro účely této přednášky bude dostatečné, pokud budeme atom chápat jako velmi husté malé atomové jádro (složené z protonů a neutronů),
kolem kterého obíhají elektrony v přesně definovaných orbitech.

Tento model atomu je podobný jako **model sluneční soustavy** s obíhajícími planetami.
Kolem jádra (Slunce) krouží elektrony (planety).

Hmotnosti protonu a neutronu jsou podobné a srovnatelné.
Hmotnost protonu (resp. neutronu) je mnohonásobně větší (1840x) než je hmotnost elektronu.

Jádro obsahuje protony a neutrony (nukleony).
Téměř veškerá **hmotnost** atomu **je koncentrována do jádra**.

Proton má kladný elektrický náboj
(1.6022×10^{-19} coulomb)
a **neutron je neutrální**
(bez elektrického náboje)

Každý **elektron** má stejně velký náboj jako proton, ale jeho náboj **je záporný**.

Atom je nepředstavitelně malý.
Kapka vody obsahuje tisíce milionů milionů milionů atomů.

Nicméně atom – to je pouze jádro a elektrony. Kolem je již prázdný prostor.

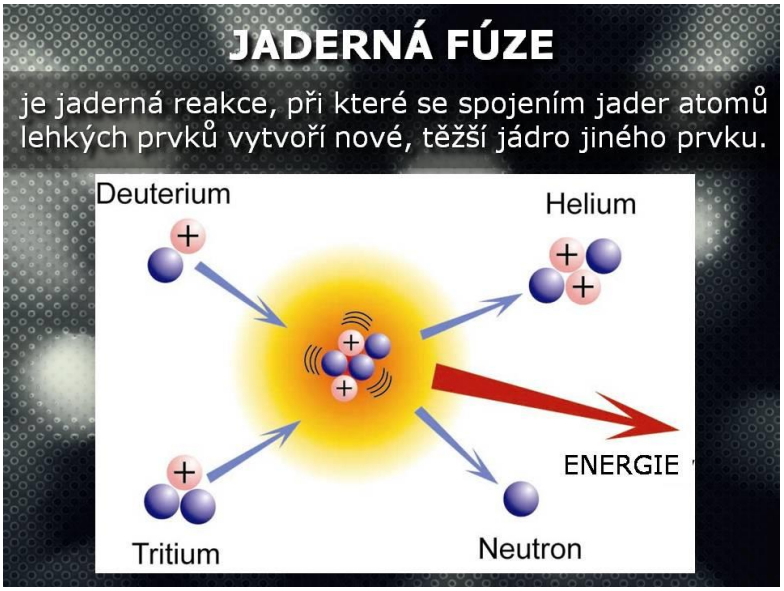
Průměr celého atomu je v řádu 10^{-11} m, nicméně průměr atomového jádra
je řádově 10^{-15} m, tj. **10 000 x menší.**

Je-li v tomto poměru atomové jádro kuličkou o průměru 1 cm,
pak celý atom má průměr 100 m.

To si ještě vzpomeňte, že v jádře je soustředěna téměř celá hmotnost atomu.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

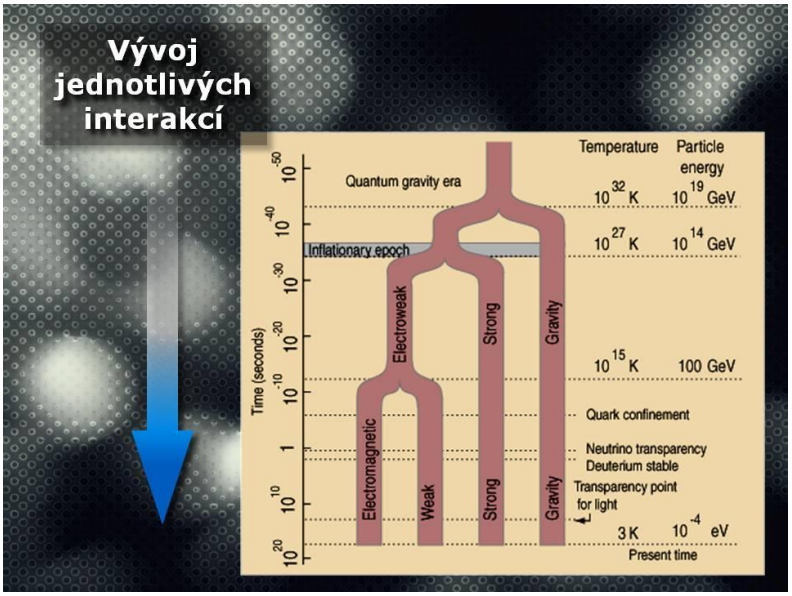
JADERNÁ FÚZE



V jádře se projevují elektromagnetická interakce (coulombovské odpuzování), slabá (rozpad jader) a hlavně silná jaderná interakce, která drží jádro pohromadě.

Základním problémem při syntéze dvou atomových jader je jejich **vzájemné odpuzování** vyvolané kladným nábojem obou jader.

Při pohybu jader proti sobě s dostatečnou energií je lze přiblížit natolik, že jaderné síly s malým dosahem (~10^{-15} m), které zabraňují rozpadu jádra, překonají coulombické odpudivé síly a umožní reakci syntézy.



Jaderné síly s malým dosahem (~10^{-15} m), které zabraňují rozpadu jádra, mají mnohem větší „sílu" než ostatní interakce.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

Na překonání odpudivé coulombovské bariéry lze využít energii např. z chaotického tepelného pohybu.

Pak mluvíme o tzv. **termojaderné fúzi**, při níž zahříváme termojaderné palivo na takovou teplotu, aby kinetická energie tepelného pohybu jader stačila na překonání potenciální bariéry.

Této energii odpovídá teplota řádově 10^8 K.

Při teplotách stovek miliónů Kelvinů už hmota existuje jen ve stavu plně ionizovaného plynu, tj. ve směsi holých atomových jader a volných elektronů neboli **plazmatu**.

Z hlediska současného výzkumu se největší pozornost věnuje
syntéze jader deuteria a tritia (D + T)
Tato reakce je pro svoji relativně nejsnadnější uskutečnitelnost považována za reálný proces pro **termonukleární reaktory** první generace a téměř všechny úvahy o těchto systémech vycházejí z jejího využití.

Palivem pro reakci **D + T** jsou izotopy vodíku:

deuterium D
(tzv. těžký vodík)
a
tritium T
(tzv. supertěžký vodík)

Deuterium se bude získávat separací z vody, v níž tvoří frakci $\sim 3{,}3\times 10^{-5}$
Tritium bude možno získat z lithia pomocnou jadernou reakcí při zachycování neutronů v plášti termojaderného reaktoru

ZAŘÍZENÍ PRO TERMOJADERNOU FÚZI

První pokusy o zažehnutí termojaderné fúze
v pozemských podmínkách spadají do poloviny třicátých let minulého století,
kdy E. Rutheford a J. Douglas dosáhli na urychlovači energie, potřebné k uskutečnění první reakce syntézy jader deuteria za vzniku izotopu helia a neutronu (1934)

Mohlo by se tedy zdát, že tento relativně jednoduchý experiment vyřešil problém fúze.

Urychlovač se však nedá použít jako zdroj energie pro fúzní reakci, neboť je-li svazek

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

deuteronů namířen například na terčík z pevného tritia nebo deuteria, většina energie se ztratí ionizací, ohřevem terčíku a elastickými srážkami.

Rovněž srážející se svazky nelze vytvořit tak husté, aby získaná energie z termojaderné reakce byla větší než energie potřebná pro urychlování.

Vědci pracující na štěpení atomových jader po konstrukci prvních atomových bomb s uranem a plutoniem vyvinuli i termojadernou bombu vodíkovou.

Tedy bombu pracující v konečném důsledku na **neřízené termojaderné syntéze**.

Porovnání mžikového a pozvolného uvolňování energie

Při jaderné explozi o ekvivalentu **1 Mt TNT**
se v mžiku uvolní ekvivalentní energie 4.18×10^{15} J

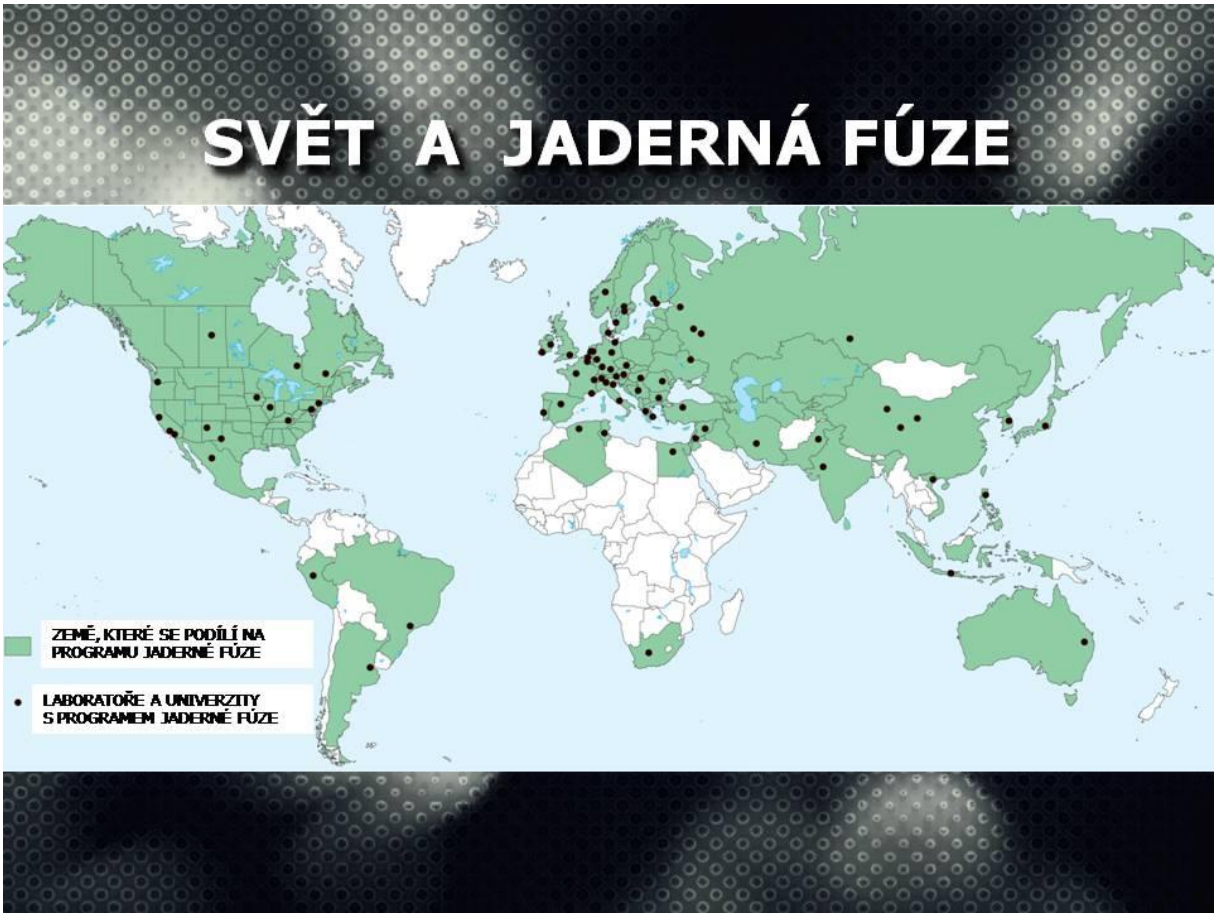
Příklad:
Reaktor JE Temelín má výkon 3000 $MW_{tepelných}$.
Reaktor musí být v provozu skoro **16 dní a 3 hodiny**, aby vydal štěpením jader odpovídající energii jako **1 Mt TNT**.

Pro mírové a praktické účely je nutné energii uvolňovat pozvolna a plynule.

Neexistuje materiál, z něhož by bylo možno vyrobit nádobu odolávající styku s horkým plazmatem.
Vznikla myšlenka využít přítomnosti elektricky nabitých částic a pokusit se udržet a tepelně izolovat plazma **magnetickým polem**.

Nezávisle na sobě, pochopitelně ze strategických důvodů i v tajnosti, pracovaly týmy v SSSR, USA a v Anglii.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky



Dnes můžeme realisticky konstatovat, že jaderná fúze je perspektivní energetický zdroj, jehož praktické využití se očekává někdy kolem r. 2030… (?)

Předmětem současného výzkumu jsou dvě zásadně odlišné koncepce, obvykle označované jako

magnetické udržení

a

inerciální udržení.

MAGNETICKÉ UDRŽENÍ

Magnetické udržení spočívá v takové konfiguraci magnetického pole, aby většina nabitých částic sledovala vhodně zakřivené magnetické siločáry, a nepřicházela do styku se stěnami komory, v níž se plazma vytváří.

Ohřev pak musí pokračovat tak dlouho, dokud tepelný pohyb částic (rychlost) dosáhne oblasti, ve které srážky vyvolávají fúzi.

Mezi zástupce této koncepce patří **tokamaky**, stelarátory ,...

FÚZNÍ REAKTOR

TOKAMAK A STELARÁTOR

Koncepce **tokamaku** se zrodila koncem padesátých let v tehdejším Sovětském svazu a u jeho zrodu stál L. A. Arcimovič.

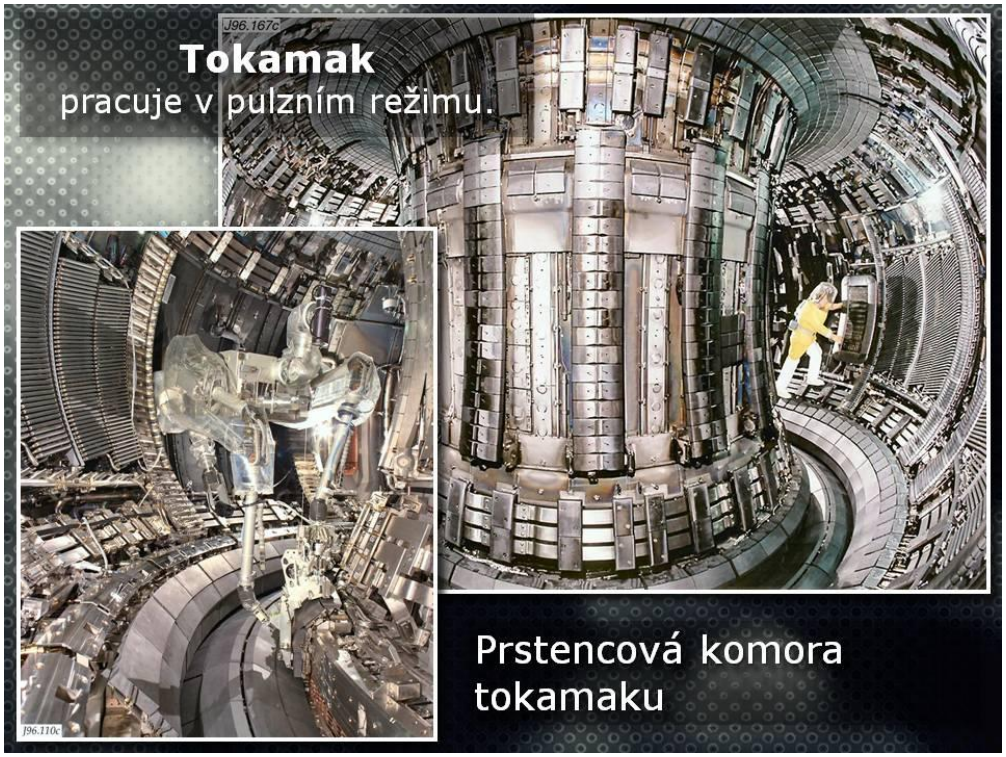
Je to v podstatě **transformátor**, jehož sekundární cívka má jeden závit ve tvaru toroidní trubice.

Plazma z deuteria a tritia je uvnitř toroidního vyvakuovaného prstence. Elektrický proud primárního obvodu transformátoru indukuje elektromotorické napětí v sekundárním obvodu.

V plazmě D+T v toroidní trubici vznikne výboj, plyn se ionizuje, indukovaný proud jej zahřívá na vysokou teplotu.

Magnetické pole tohoto proudu udrží vzniklé plazma v ose toroidu, takže se nedotýká stěn komory. Díky magnetickému poli se tepelné zatížení stěn sníží na technologicky zvládnutelnou hodnotu, předpokládá se chlazení stěn na teploty 1000 - 1300 °C.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky



Na základě úspěchů projektu JET byl naplánován další krok – **supravodivé zařízení ITER** (**I**nternational **T**hermonuclear **E**xperimental **R**eactor).

Mělo by se tak vyrábět a pak provozovat něco, co tu zatím nikdy nebylo.

Obrovské supravodiče a kryogenika, nesmírně mechanicky a tepelně namáhané součásti o hmotnosti tisíců tun, materiály pro extremní podmínky, bezpečné tritiové hospodářství atd.

Tokamak bude vážit **23 000 tun**
Tokamak bude 3x těžší než Eifelova věž, která má hmotnost 7 300 tun

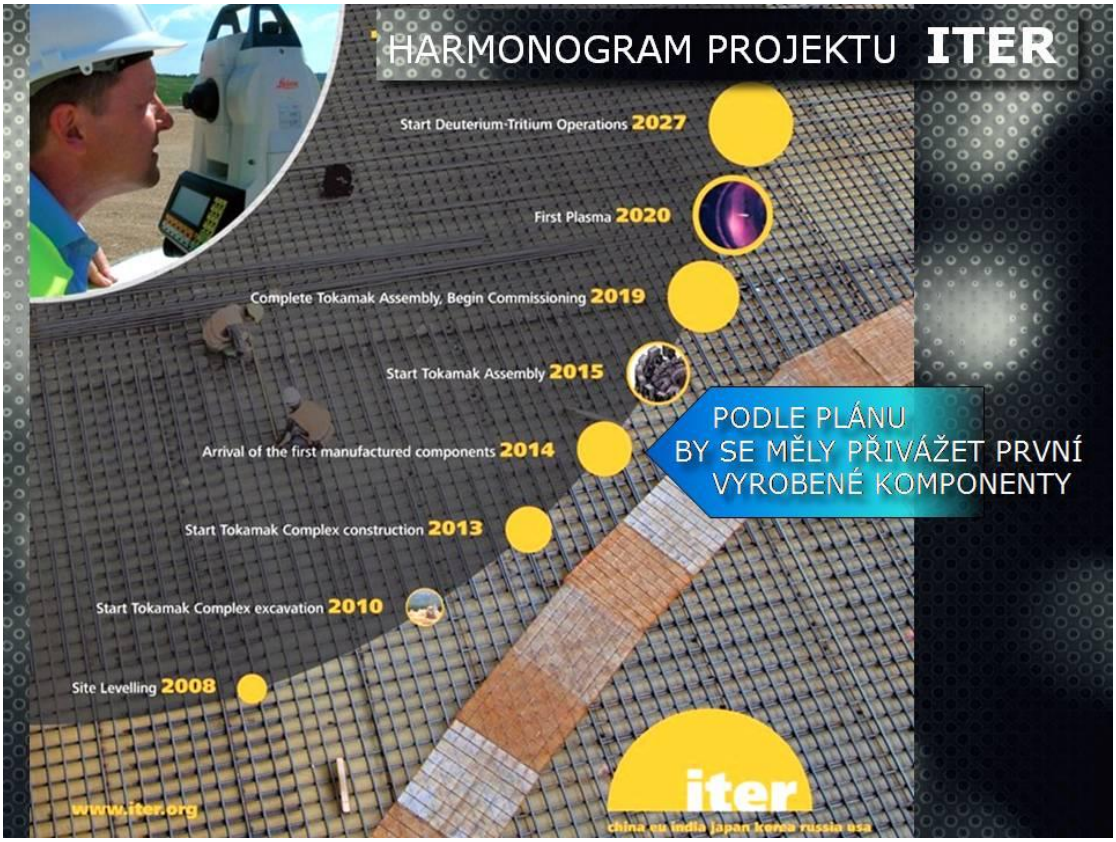
V zařízení se dosáhne teploty **150 000 000 stupňů**
Teplota na povrchu Slunce je 6000°

Za dva roky přípravy plochy na stavbu bylo přemístěno**2 500 000 m^3**

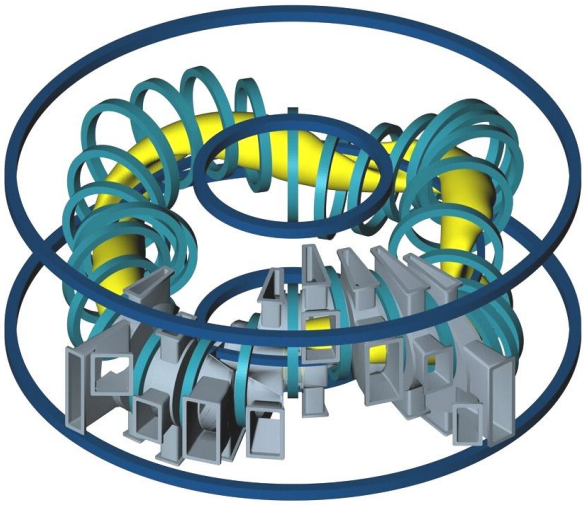
Objem plazmy bude **840 m^3**
Největší současné tokamaky mají max. objem plazmy 100 m^3

… v prezentaci jsou další obrázky

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky



Právě ve způsobu vytváření magnetického pole se liší tokamak a **stelarátor**.



Zatímco tokamak si stabilizující účinky na plazma vytváří mohutným elektrickým proudem (magnetickým polem) indukovaným v plazmatu na principu transformátoru, stelarátor si vystačí pouze s vnějšími cívkami složitých tvarů.

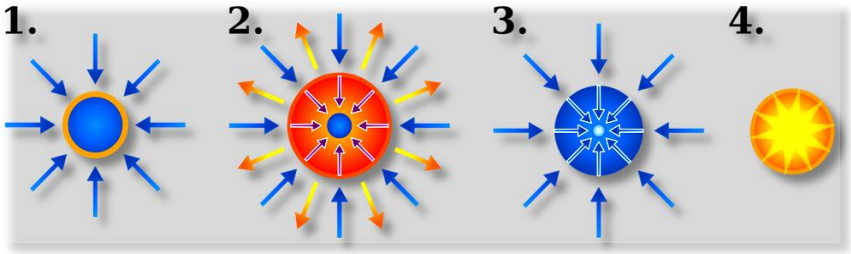
Stelarátor tedy, na rozdíl od pulzního režimu v tokamaku, může udržovat plazma “libovolně” dlouho.

… v prezentaci jsou uvedeny další obrázky

INERCIÁLNÍ UDRŽENÍ

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

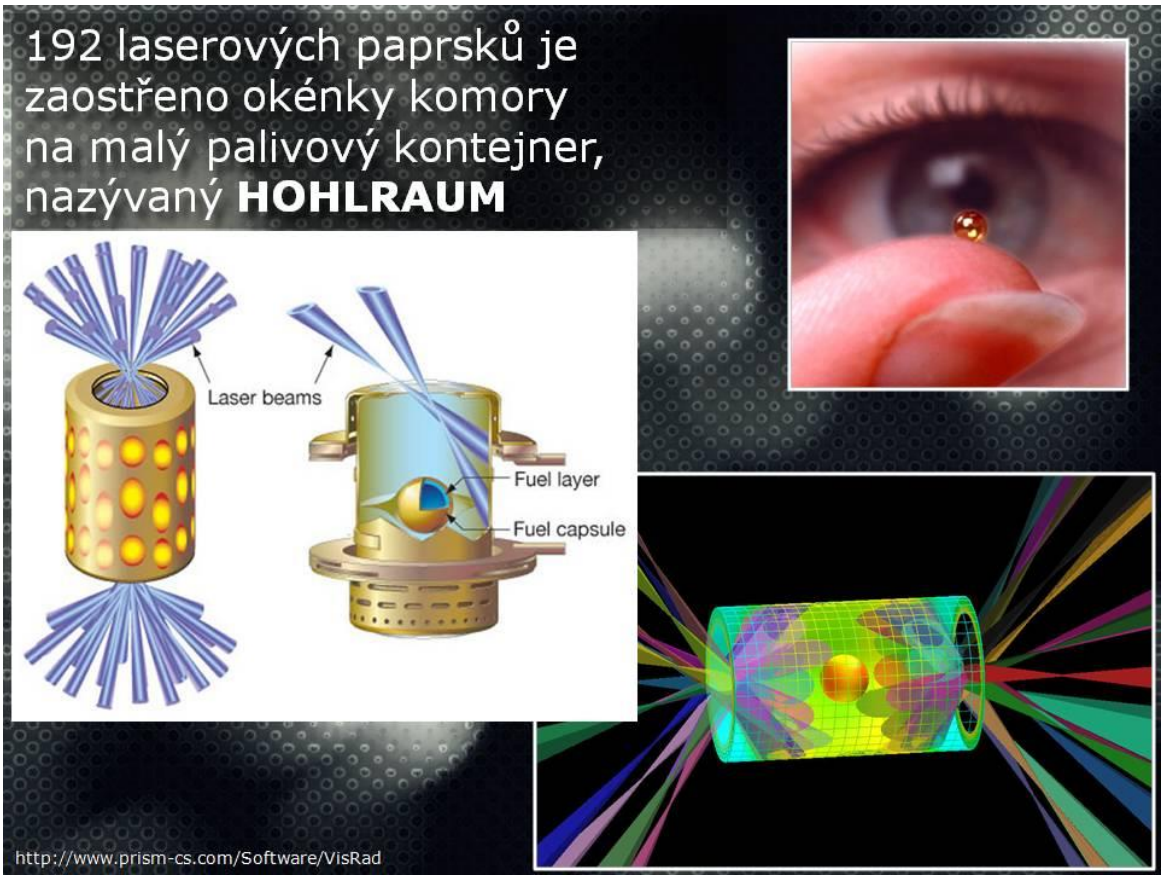
U **inerciálního udržení** je základem extrémně rychlý ohřev fúzního paliva



Vznikne fúzní reakce uvolňující energii dříve, než síly působící na atomové a subatomové částice rozptýlí reagující hmotu.

Drobná tabletka **zmrazeného vodíku** se spustí do komory, ve které je zasažena pulzem **energie laseru**, fokusované na tabletu z mnoha směrů.
Rychlým ohřevem povrchu vznikne implozní rázová vlna, která vyvolá ohřev a zhutnění středu tablety až do **dosažení podmínek termonukleární syntézy**.

Toho by se dosahovalo **pomocí laseru**, nebo také **svazky těžkých či lehkých iontů**.
Doposud však tak výkonné lasery nebyly zkonstruovány.



Uvnitř této komůrky je malá peletka, obsahující extrémně ochlazenou **palivovou směs izotopů vodíku**.

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

Laserové paprsky po dopadu na stěnu HOHLRAUMu vyvolají radiaci X-záření.

Paprsky-X pak v konečném důsledku ohřejí palivo na miliony stupňů a extrémně jej zahustí ...
… a jaderná fúze může začít …

Z kryostatu (kolem 15 K) se připravený HOHLRAUM s fúzním palivem rychle a naprosto přesně vloží do cílové komory. 192 laserových paprsků blikne na HOHLRAUM a pak …

… a pak se vše zopakuje znovu a znovu a znovu a znovu …

… v prezentaci jsou uvedeny další obrázky

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky

ZÁVĚR

Udělat závěry o využití jaderné fúze můžeme buď stručně
nebo si o tom povídat celý zbytek dne.

Vybral jsem si první možnost, a to jistě oceníte…

- O využití jaderné fúze **často uslyšíme**
- Pro svůj rozvoj l**idstvo potřebuje energii**
- Energii z jaderné fúze, z důvodů její energetické výhodnosti a použití vodíku, lze považovat za **nevyčerpatelnou**
- Víme jak fúzi vyvolat, bohužel ji ještě neumíme ovládat. Jaderná fúze je sice energeticky výhodnější než jaderné štěpení, ale zároveň **fúzní technologie je mnohem složitější**
- Třeba se vy ještě dožijete toho, až v zásuvce bude **elektřina z fúzní jaderné elektrárny**…

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem České republiky