

# Jaderná energetika (JE)

Pavel Zácha  
2015-02

## Program přednášek

- úvod do jaderné energetiky
- základy jaderné fyziky
  - skladba atomu, stabilita jader, vazebná energie, radioaktivita, jaderné reakce, štěpná řetězová reakce, bilance neutronů v reaktoru, kritičnost reaktoru, kinetika štěpné řetězové reakce
- vývin tepla v reaktoru, odvod tepla z reaktoru
- provoz a řízení reaktoru
- materiály aktivní zóny jaderných reaktorů
  - palivo, povlak, moderátor, chladivo, absorbátory
- základní typy současných energetických reaktorů
- perspektivní typy energetických reaktorů
- palivový cyklus
  - od těžby uranu po skladování radioaktivního odpadu
- bezpečnost jaderných reaktorů
  - detekce a kvantifikace záření, izolace od ŽP, jaderná bezpečnost, radiační poškození
- reaktorové radioaktivní odpady
- netradiční aplikace jaderné energie
  - jaderná plavidla, odsolování mořské vody, jaderná fúze...

# 1. Úvod do jaderné energetiky

Jak stará je jaderná energetika ?

A co vlastně je jaderná energetika ?

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Jaderná\\_energetika](https://cs.wikipedia.org/wiki/Jaderná_energetika)



## Experimental Breeder Reactor

- 1. kritický stav 24. srpna 1951
- 20. prosince poprvé vyrobena elektřina z jaderné energie
- Příští den využita pro osvětlení celé budovy
- Výkon
  - 200kWe
  - 1,4MWt
- Účinnost – 14%



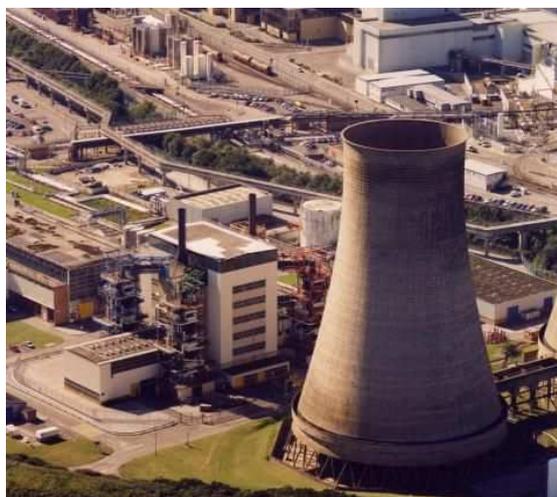
## Jaderná elektrárna Obninsk

- Připojena k síti 26. června 1954
- AM-1 (Atom mirnyj)
- Předchůdce reaktorů typu RBMK
- 5 MWe
- 30 MWth
- Účinnost 16,6%



## Jaderná elektrárna Calder Hall

- První blok připojen do sítě 27. srpna 1956
- První elektrárna, která dodávala do sítě komerční množství elektřiny
- Reaktory typu MAGNOX, 4 x 60 MWe
- Vojenské využití (výroba plutonia)
- Provozována do r. 2003



## Oklo – Gabun

### Příroda to uměla dávno před námi

Před 1 miliardou a 700 miliony lety v gabunské lokalitě Oklo fungoval jaderný reaktor.



## Oklo – Gabun

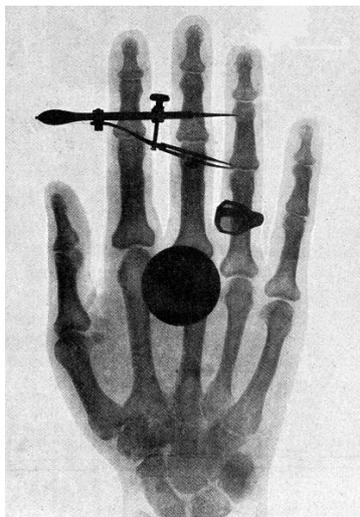
- Řetězová štěpná reakce zde probíhala přibližně 150 tisíc let
- Starohorní reaktor spotřeboval podle odhadu 12 tisíc tun uranu
- Vyrobil energii odpovídající 3 letům plného výkonu všech čtyř bloků jaderné elektrárny Dukovany
- Později v lokalitě objeveno dalších 16 „reaktorů“



Lidskému využívání jaderné energie předcházeli  
výzkum...

## Wilhelm Conrad Röntgen

- 1845 -1923
- 1895 objevil paprsky X



Snímek ruky  
paní Röntgenové  
(1896)



# Henri Becquerel

- 1852 – 1908
- 1896 – objev přirozené radioaktivity



stín kovového maltéžského kříže  
umístěného mezi deskou a uranovou solí

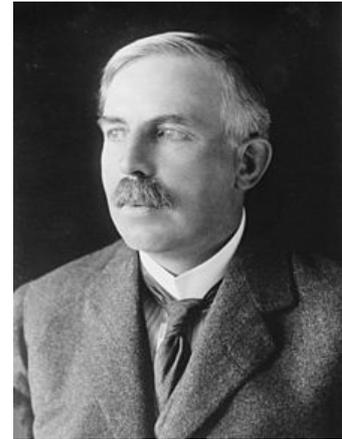
# Marie Curie-Sklodowska

- 1867 – 1934
- Popis přirozené radioaktivity
- 2 Nobelovy ceny
- Na doporučení manžela pracovala jako doktorandka pod vedením Henri Becquerela
- Objev přirozené radioaktivity
- Izolování polonia a radia ze smolince z Jáchymovských dolů



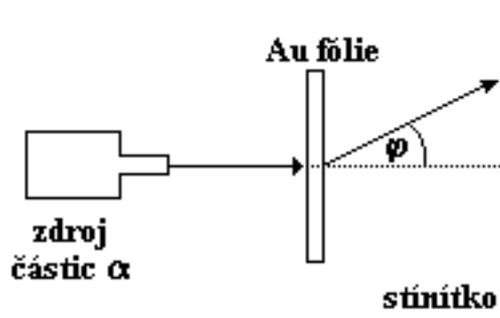
# Ernest Rutherford

- 1871 – 1937
- Definoval poločas přeměny (rozpadu) a záření  $\alpha$ ,  $\beta$  (1899),  $\gamma$  (1903)
- Objev jádra atomu (1909), „planetární model“
- Objev protonu (1918)
- Předpověděl existenci neutronu (1921) - experimentálně potvrzeno Jamesem Chadwickem (1932)

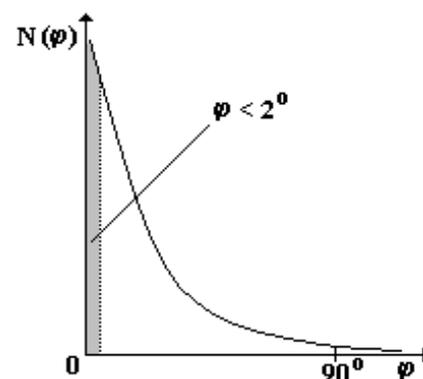
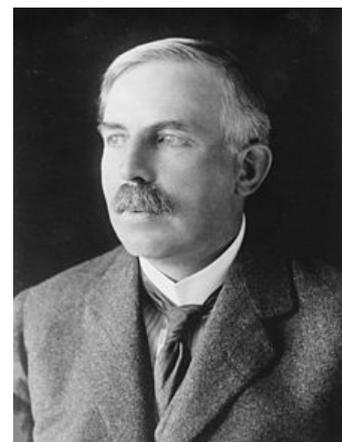


# Ernest Rutherford

- Vyvrácení Thomsonova modelu atomu



Rozměr jádra  $10^{-15} - 10^{-14}$   
Rozměr atomu  $10^{-10}$   
Atom je v podstatě prázdný prostor



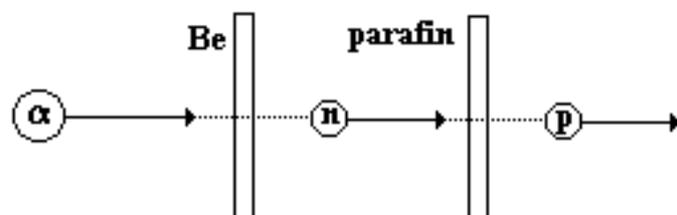
# Niels Bohr

- 1885 – 1962
- Dopracoval Rutherfordův model atomu
- Založil kvantovou mechaniku ve spolupráci s Heisenbergem a Schrödingerem



# James Chadwick

- 1891 – 1974
- Objev neutronu – 1932
- Pomocí  $\alpha$  částic ozařoval beryllium a zjistil, že:
  - při následné reakci vzniká záření
  - toto záření se neodchyluje od původního směru ani v elektrickém poli ani v magnetickém poli.
  - velice snadno reaguje s parafinem (uhlovodík nasycený vodíkem).
  - z parafinu poté vylétávají protony s energií, kterou před vytržením protonu z parafinu nesla částice o zhruba stejné hmotnosti.
- Tak byl objeven neutron
- Neutronové zdroje – start reaktoru

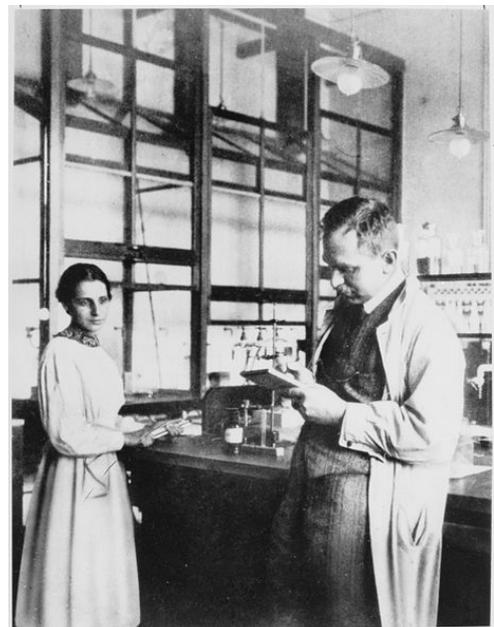


# Objev štěpení

- Fermi – 1934 – bombardoval uran neutrony a objevil transurany
- Německá chemička Ida Noddack v časopise *Angewandte Chemie*, No. 47, 1934, spekulovala:  
*„Je možné, že pokud jsou těžká jádra bombardována neutrony, mohou se tato jádra rozpadnout do pár větších kousků, které jsou určitě izotopy známého prvku, ale ne příbuzného radioaktivního prvku“*
- Myšlenka, že těžká jádra se mohou štěpit na menší elementy, byla považována za naprosto nepřipustnou teorii, kterou není možné prokázat experimentálně

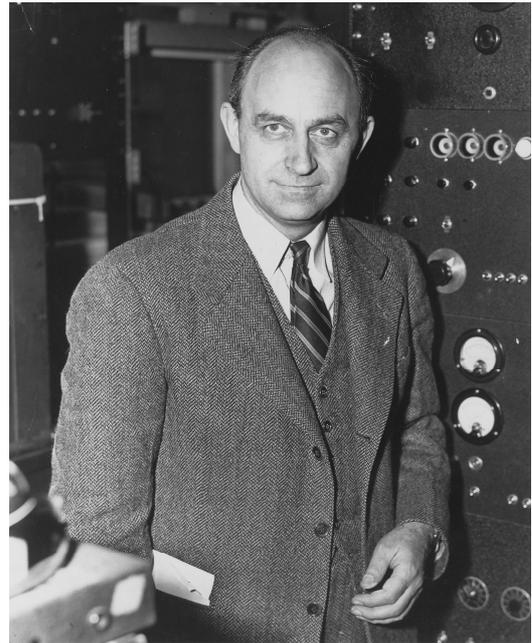
## Objev štěpení – Otto Hahn a Lisa Meitner

- **Lisa Meitnerová**, dlouholetá Hahnova spolupracovnice v roce 1938 emigrovala před nacisty z Rakouska do Stockholmu
- Téhož roku se tajně setkala v Kodani s **Otto Hahnem**; naplánovali sérii dalších experimentů, které pak prokázaly jev radioaktivního štěpení
- V prosinci 1938 Hahn a Strassmann pohlíželi na baryum jako na údajný transuranový prvek vzniklý bombardováním vzorků uranu neutrony, což se později potvrdilo.
- Otto Rober Frisch, synovec Meitnerové, vytvořil termín „jaderné štěpení“.
- Uznání za objev jaderného štěpení připadl trochu nezaslouženě Hahnovi



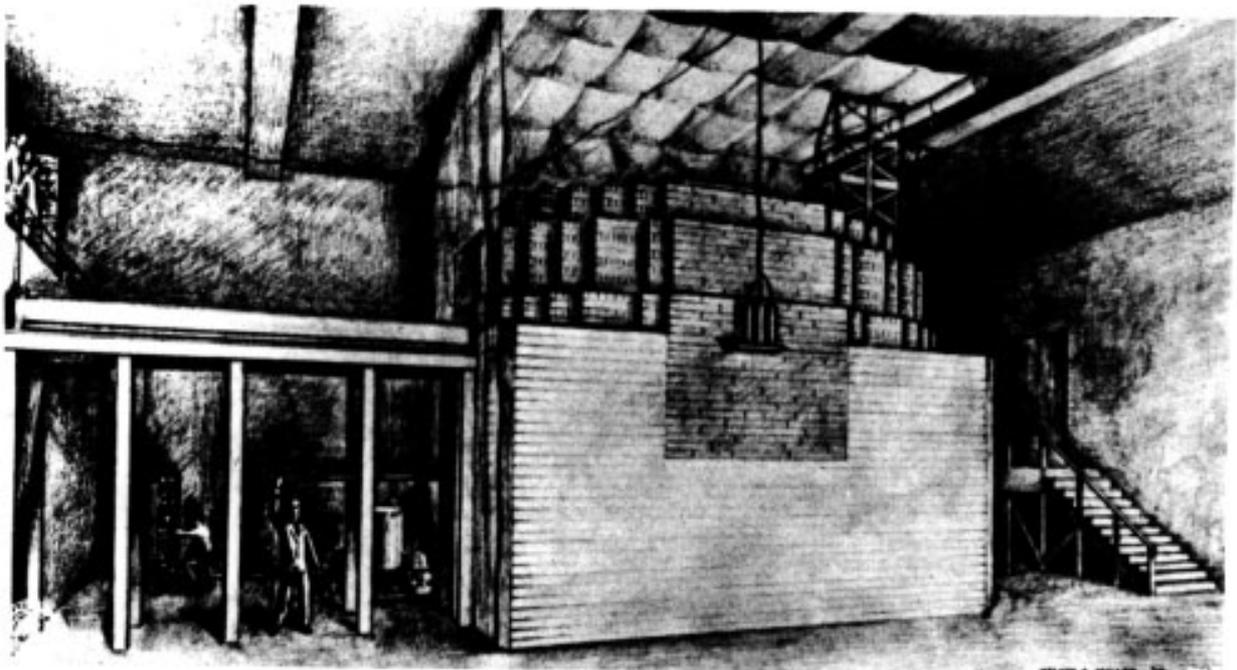
# Enrico Fermi

- 1901 – 1954
- potvrzení existence nových radioaktivních prvků vytvořených neutronovým ozařováním
- objev jaderných reakcí způsobovaných ozařováním pomalými neutrony
- Řídil spuštění 1. jaderného reaktoru Chicago Pile-1

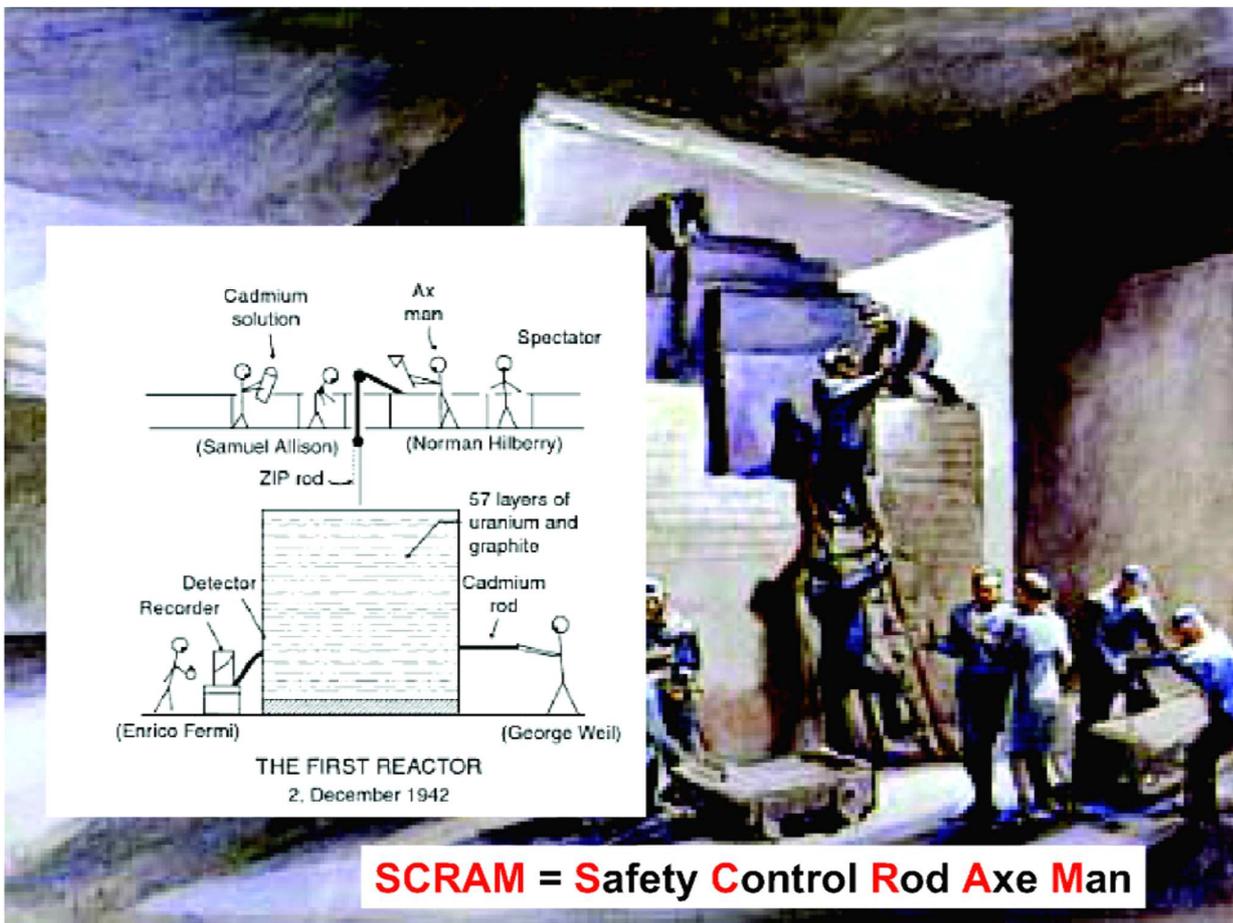


[https://cs.wikipedia.org/wiki/Enrico\\_Fermi](https://cs.wikipedia.org/wiki/Enrico_Fermi)

## 1. jaderný reaktor Chicago – 2. 12. 1942



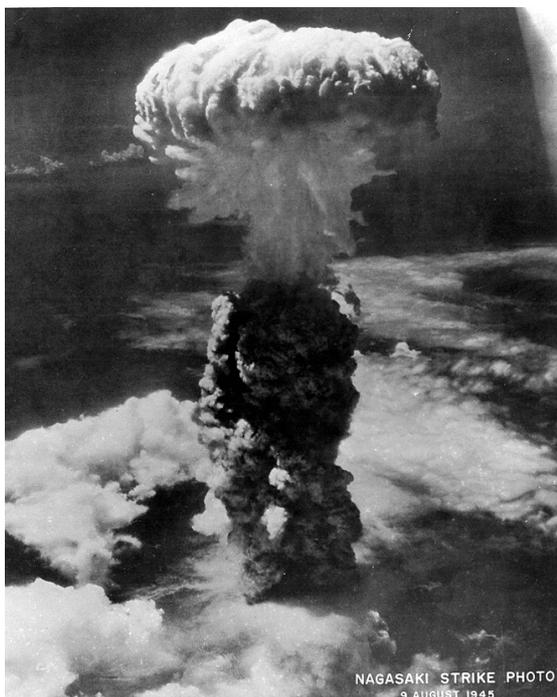
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Chicago\\_Pile-1](https://cs.wikipedia.org/wiki/Chicago_Pile-1)



<https://cs.wikipedia.org/wiki/SCRAM>

## Jaderné bomby

Nagasaki 9. 8. 1945



Hirošima 6. 8. 1945

