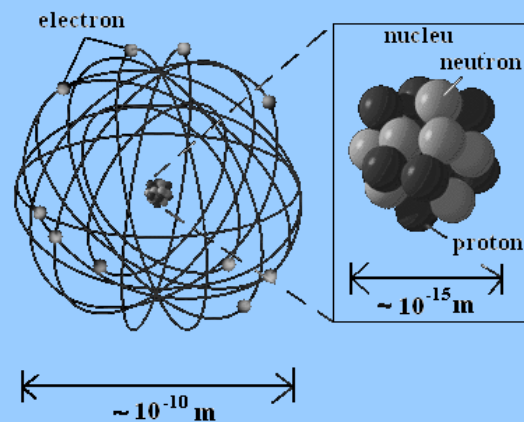


Prof.dr. Grigore DAMIAN

CURS DE FIZICĂ NUCLEARĂ



Cluj-Napoca  
2009

CUPRINS

1. REPERE ALE FIZICII NUCLEARE
  2. CARACTERIZAREA GENERALĂ A RADIOACTIVITĂȚII
  3. SERII RADIOACTIVE. CINETICA DEZINTEGRARILOR
  4. TIPURI DE DEZINTEGRĂRI NUCLEARE
  5. STRUCTURA ȘI CARACTERISTICILE NUCLEULUI
  6. REACȚII NUCLEARE
  7. INSTALAȚII NUCLEARE
  8. NOȚIUNI DE FIZICA DETECTORILOR NUCLEARI
- BIBLIOGRAFIE

Note de curs:

<http://www.phys.ubbcluj.ro/~grigore.damian/lectures.html>

E-mail: [grigore.damian@ubbcluj.ro](mailto:grigore.damian@ubbcluj.ro)

# REPERE ALE FIZICII NUCLEARE

---

- **Fizica nucleară** - disciplină a fizicii care se ocupă de structura și proprietățile nucleelor atomice atât ca entități de sine stătătoare cât și ca sisteme aflate în interacțiune

## PREMIZE

**1803** - elementele tabelului periodic, au în structura lor *atomi*.

**John Dalton** (1766 -1844)



**1897** - descoperirea *electronului*

**Joseph John Thomson** (1856 - 1940, premiul Nobel 1906 pentru descoperirea electronului, a izotopilor și a spectrometriei de masă )



**1895** - descoperirea radiațiilor X

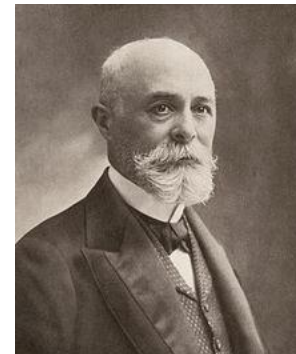
**Wilhelm Conrad Röntgen** (1845 – 1923), premiul Nobel 1901, descoperirea radiațiilor care îi poartă numele)



## *Fizica nucleară* - domeniu al fizicii

**1896**- descoperirea accidentală a radioactivității de către **Antoine Henri Becquerel** (1852 - 1908)

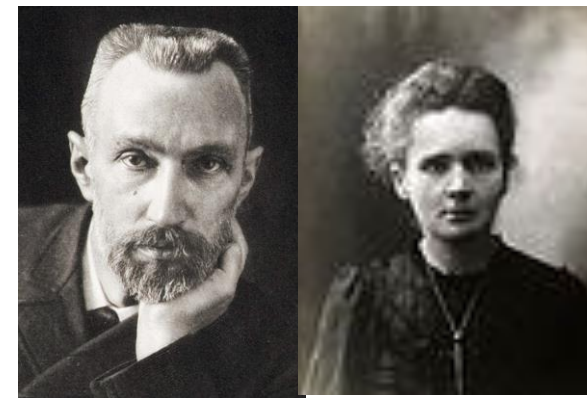
- radiație emisă de sărurile de uraniu, numită „*radiație Becquerel*” sau *radiație uranică*.



**Pierre Curie** (1859 - 1906)

**Marie Curie** (1867 - 1934)

- au separat și caracterizat astfel de substanțe (uraniu, toriu) și descendenții acestora (poloniu, radium), propunând termenul de *radioactivitate* pentru fenomenul de emisie spontană de radiații.

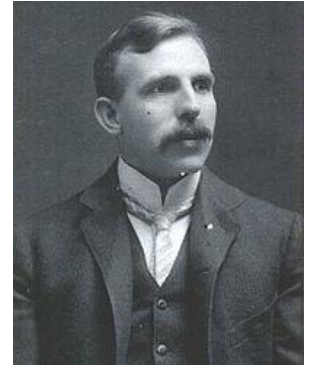


**Henry Becquerel, Pierre și Marie Curie** au primit premiul Nobel în anul 1903.

1899

**Ernest Rutherford** (1871-1937, premiul Nobel Chimie 1908)

- elucidarea naturii și caracteristicilor emisiilor radioactive-comportamentul acestor radiații în câmp electric și magnetic
- emisiile radioactive sunt din punct de vedere al sarcinii electrice, pozitive și negative (*radiații  $\alpha$ ,  $\beta$* ).



1900

**Paul Villard** (n.1860 - d.1934)

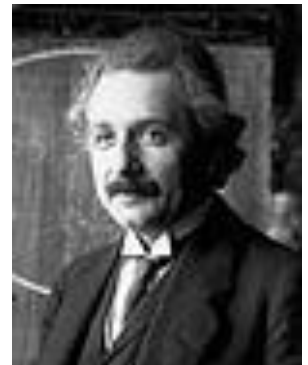
- pune în evidență și a treia componentă, neutră din punct de vedere electric și anume *radiația  $\gamma$* .



1905

**Albert Einstein** (1879 -1955 laureat Nobel 1921

- descoperirea legilor efectului fotoelectric )
- formulează formula *echivalenței masă-energie;  $E=mc^2$*



## 1909

- **Johannes Wilhelm Geiger** (1882 -1945) și **Ernest Marsden** (1889 -1970) sub conducerea lui **Ernest Rutherford** descoperă *nucleul atomic* prin interacțiunea radiației  $\alpha$  cu foite subțiri de aur.
- **John Mitchell Nuttall** (1890-1958) a formulat *legea de Geiger-Nuttal*; legătura dintre constanta de dezintegrare radioactivă și energia de emisie a particulelor  $\alpha$



## 1911

- Studiul interacțiunii radiației  $\alpha$  cu foite subțiri de aur a condus la elaborarea *modelului planetar al atomului* cunoscut ca *modelul Rutherford*
- **Lise Meitner** (1878-1968) și **Otto Hahn** (1879 - 1968) decoperă că spectrul radiației  $\beta$  este continuu și nu discret ca în cazul radiației  $\alpha$  și  $\gamma$  ceea ce a condus la o observație stranie și anume neconservarea energie în acest tip de dezintegrare *teoria interacțiunilor slabe*



## 1913

- **Niels Bohr** (1885 – 1962, laureat premiu Nobel 1922) elaborează modelului care-i poartă numele; *modelul Bohr*.



1924

**Louis de Broglie** (1892 – 1987, premiul Nobel 1929 )

- emite teoria *dualismului undă-particulă* (fiecare undă poate fi asociată unei particule și reciproc, fiecare particulă poate fi considerată ca o undă în mișcare)



1925

**Wolfgang Pauli** (n.1900 -d.1958, laureat Nobel 1945)

- formulează celebrul *principiu de excluziune* care interzice ca doi fermioni să ocupe aceeași stare cuantică simultan



1926

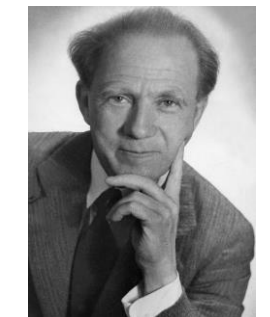
**Erwin Schrödinger** (1887 - 1961, premiul Nobel 1933)

- exprimă efectiv ipoteza lui de Broglie într-o formulă matematică, considerând electronul nu ca pe un punct aflat în diferite poziții în jurul nucleului unui atom, ci ca pe o undă staționară, localizată în jurul și în preajma nucleului, la niveluri energetice definite- *ecuația Schrödinger*



**Werner Heisenberg** (1901 - 1976, premiul Nobel în fizică 1932 )

- a elaborat *mecanica matricială* (1925), care descria de asemenea comportamentul particulelor subatomice.



**Max Born** (1882 -1970, laureat Nobel 1954)

- interpretarea în termeni de *probabilitate și densitate de probabilitate a funcției de undă*

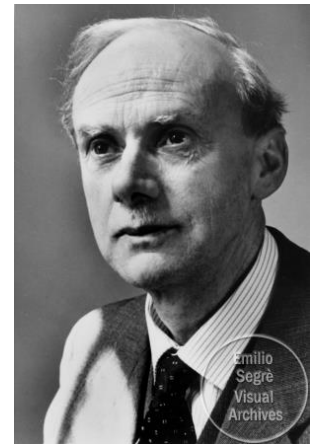
**1928**

**Paul Dirac** (1902 -1984, laureat Nobel 1933)

- *cuantică relativistă* pentru sisteme de particule cu spinul  $-1/2$ ; *ecuația Dirac*.
- soluționarea impune existența unei particule identice cu electronul, însă cu sarcină pozitivă și care a fost numită *pozitron* și care este *antiparticula* electronului.
- începutul unei noi abordări ale sistemelor pe baza conceptelor de *materie-antimaterie*

**George Gamow** (1904 -1968), **Ronald W. Gurney** (1898 - 1953) și **Edward Uhler Condon** (1902 - 1974)

- formulează *teoria dezintegrării  $\alpha$  prin efectul de tunelare cuantică*



George Gamow    Edward Uhler Condon

1929

- **Ernest Orlando Lawrence** (1901 -1958, laureat Nobel 1939) primul *accelerator de particule*, cu traiectorie circulară- *ciclotron*



**Robert Jemison Van de Graaff** (1901 -1967)

- generator de înaltă tensiune (până la 7 milioane de volți)- element esențial în construcția *acceleratoarelor liniare electrostatice de tip van de Graf*



1932

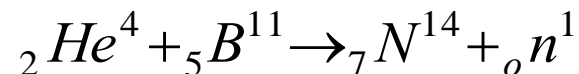
**John Douglas Cockcroft** (1897 - 1967) și **Ernest Thomas Sinton Walton** (1903 - 1995) laureați Nobel 1951

- primul *accelerator liniar cu accelerare directă*



**James Chadwick** (1891 - 1974, laureat Nobel 1935)

- descoperă experimental *neutronul* și împreună cu **Maurice Goldhaber** (1911-2005) îi determină masa din reacția:





## 1932

**Carl David Anderson** (1905 -1991, laureat Nobel 1936 )

- descoperă *pozitronul* în radiația cosmică



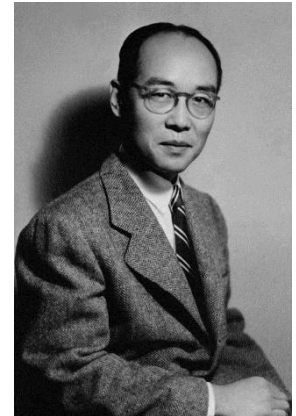
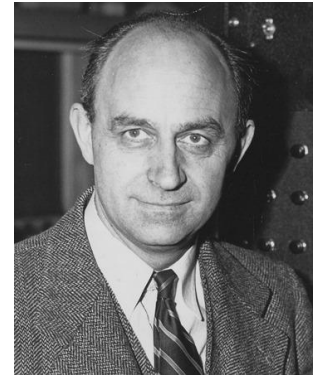
- **Werner Heisenberg** propune un model al nucleului plecând de la statistica Thomas-Fermi, model care ulterior va fi rafinat și va purta numele de *modelul gazului degenerat Fermi*.

## 1933 - 1934

**Enrico Fermi** (1901 -1954, laureat Nobel 1938)

**Hideki Yukawa** (1907 -1981, laureat Nobel 1949)

- contribuții la descrierea interacțiunilor nucleare
- Fermi elaborează *teoria dezintegrării beta* prin introducerea interacțiunii slabe și explicitarea teoretică a introducerii particulei *neutrino*
- Yukawa combină relativitatea și teoria cuantelor pentru descrierea interacțiunilor nucleare și consideră că interacțiunile dintre protoni și neutroni în nucleu au loc prin intermediul unor noi particule de schimb numite *pioni (mezoni  $\pi$ )-forțe nucleare tari*



## 1934

**Frédéric Joliot-Curie** (1900 -1958) și **Irène Joliot-Curie** (1897-1956) laureati Nobel chimie 1935.

- bombardează cu neutroni o foaie de aluminiu și obține un nou element radioactiv - *fosforul 30*-element artificial punând bazele *radioactivității artificiale*



- **Enrico Fermi** bombardează cu neutroni toate elementele cunoscute, în scopul de a le studia reacțiile. Bombardând cu neutroni atomii de uraniu, el constată formarea de noi elemente

## 1935

- **George Gamow** propune *modelul picăturii de lichid al nucleului* pe care îl va dezvolta **Niels Bohr** și **John Archibald Wheeler** (1911 -2008) pe baza forțelor tari dintre protoni și neutroni care formează un fluid nuclear.



**John Archibald Wheeler**

**Carl Friedrich Freiherr von Weizsäcker** (1912 -2007)

- elaborează expresia *formulei semiempirice a masei nucleului* plecând de la expresia fluidului nuclear



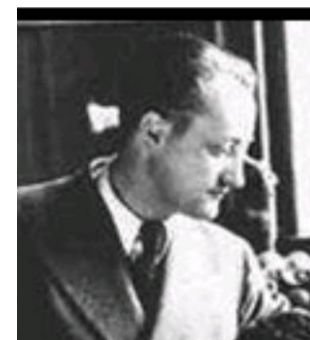
## 1938

- **Otto Hahn (1879 –1968** laureat Nobel chimie 1944), **Fritz Strassmann (1902 -1980)**, **Lisa Meitner** și **Otto Robert Frisch (1904-1979)** reușește să interpreteze corect experiențele lui **Fermi** și anume că în urma interacțiunii unui neutron cu nucleul de uraniu, acesta se poate sparge în două, dând naștere la fragmente mai ușoare - *fisiunea nucleară*.



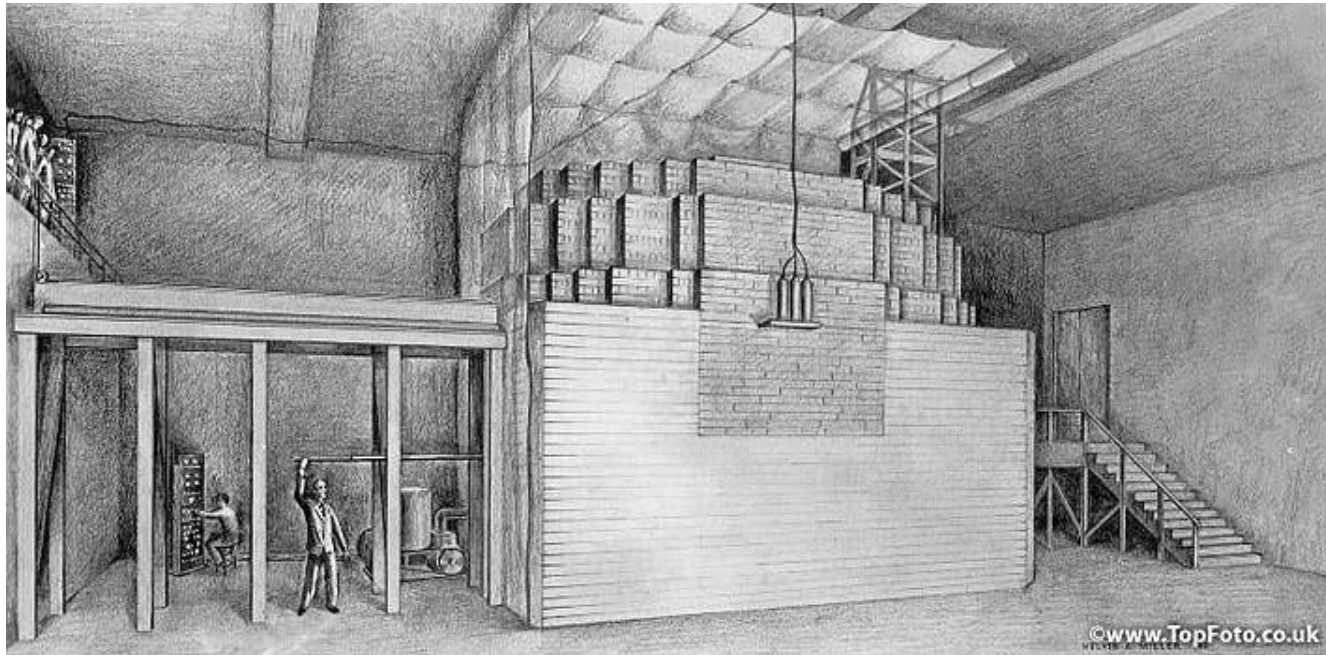
## 1939

- **Frédéric Joliot-Curie, Lew Kowarski (1907 -1979)** și **Hans von Halban (1908 –1964)**, demonstrează că fenomenul fisiunii nucleelor de uraniu este însoțit de o intensă degajare de căldură și de emisia a doi sau trei neutroni care pot provoca la rândul lor fisiuni, cu condiția ca neutronii să fie încetiniți de către un “moderator”- mecanismul *reacției de fisiune în lanț* - iar *apa grea* ( $D_2O$ ) constituie unul dintre cei mai buni moderatori prin faptul că nu absoarbe neutroni.



# 1942

- Prima reacție nucleară în lanț artificială, autoîntreținută a fost inițiată la Metallurgical Laboratory, condus de Enrico Fermi și Leo Szilard, sub peluza stadionului Universității din Chicago, pe 2 Decembrie 1942, în cadrul Proiectului Manhattan.
- **E. Fermi** alege varianta unui *reactor nuclear* cu uraniu natural (*pila Fermi*), moderat cu grafit și funcționând în aer la o putere slabă. *Pila Fermi*, cu o putere de 0.5 Watt, a fost construită din 400 tone de grafit, sub forma unor cărămizi suprapuse cu o latură de 7 m, din 6 tone de uraniu metalic și din 34 tone de oxid de uraniu. Pentru declanșarea și controlul reacției în lanț, au fost folosite bare de cadmiu, a căror proprietate este de a absorbi neutroni.



## 1951

- În SUA, a fost generat pentru prima dată curent electric folosind putere nucleară la Experimental Breeder Reactor-I (EBR-1).
- 20 Decembrie 1951, a produs suficientă energie electrică pentru a ilumina patru becuri de 200 de wați.



## 1954

- La Obninsk (Rusia), a fost pusă în funcțiune a doua centrală nucleară cu o putere de 5 MW.



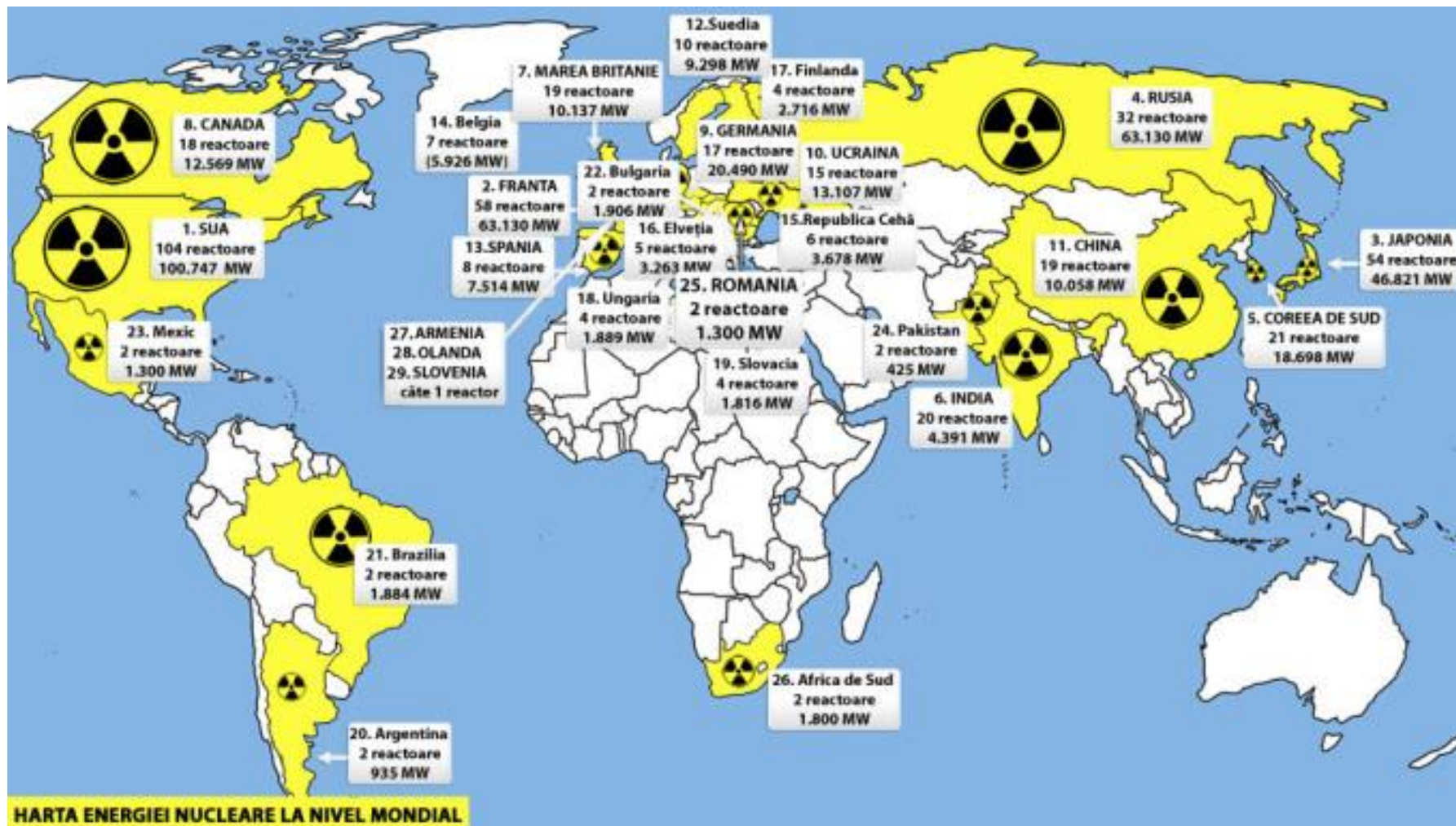
## 1956

- Prima centrală nucleară de tip comercial din lume a început să funcționeze în 1956, la Calder Hall, Anglia.



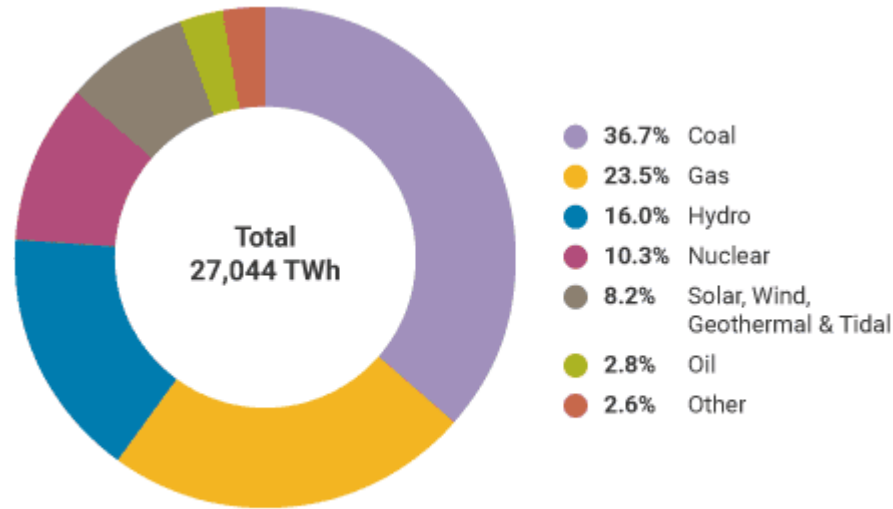
➤ În prezent sunt:

- ✓ 442 de reactoare nucleare de fisiune în 29 de țări (capacitate 392 GWe in 2019)
- ✓ 65 sunt în construcție în 16 țări



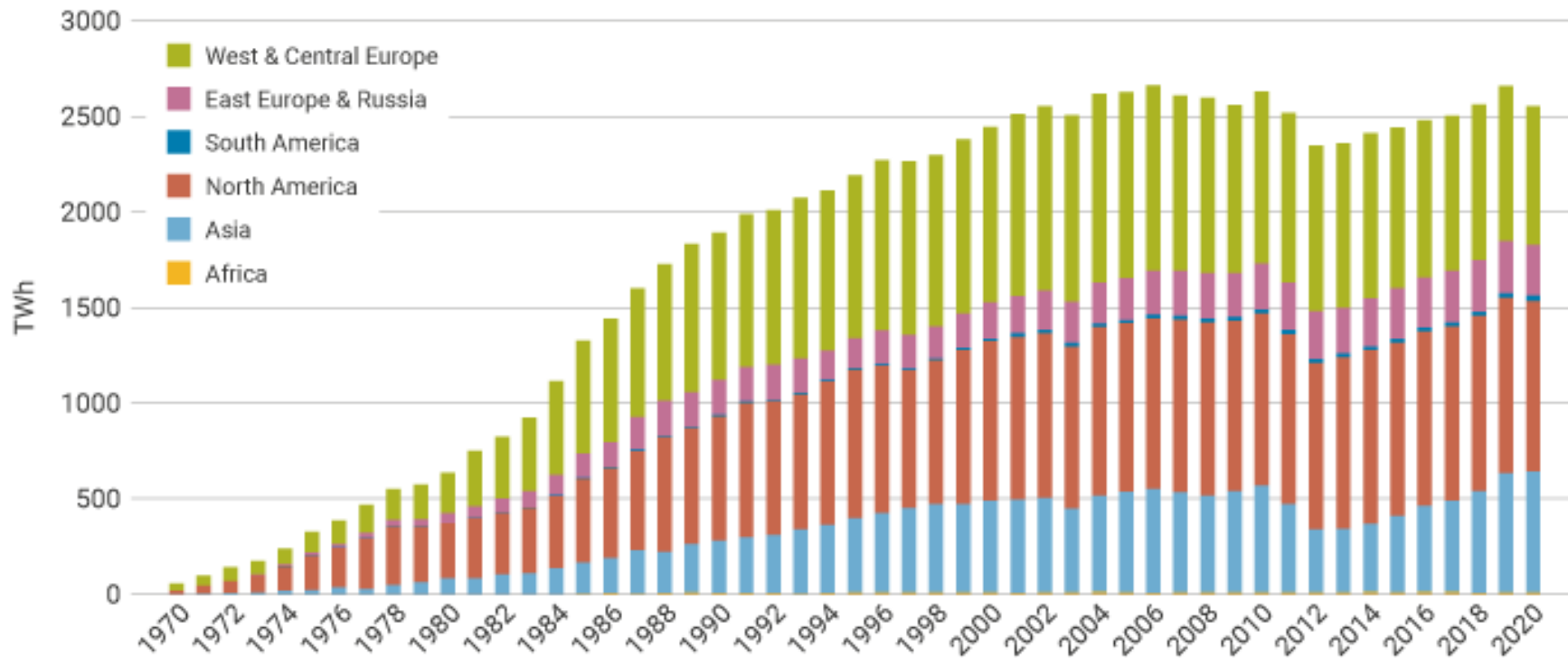
**În 2019**

- ✓ 6 noi reactoare au intrat în exploatare comercială
- ✓ 5 reactoare au intrat în faza de construcție
- ✓ 13 reactoare au fost închise



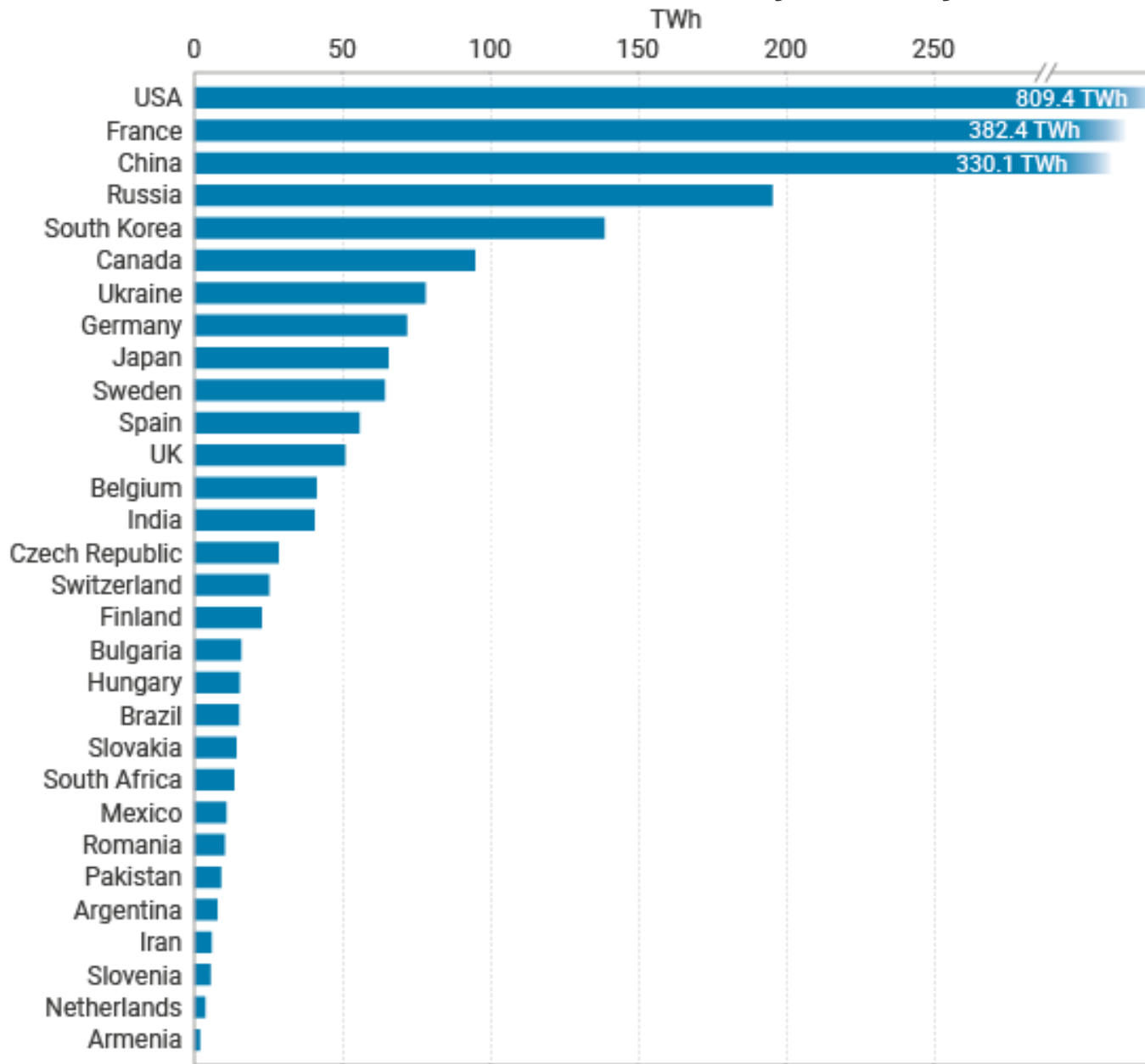
Source: IEA

*World electricity production by source 2019*



*Nuclear electricity production (source: World Nuclear Association, IAEA PRIS)*

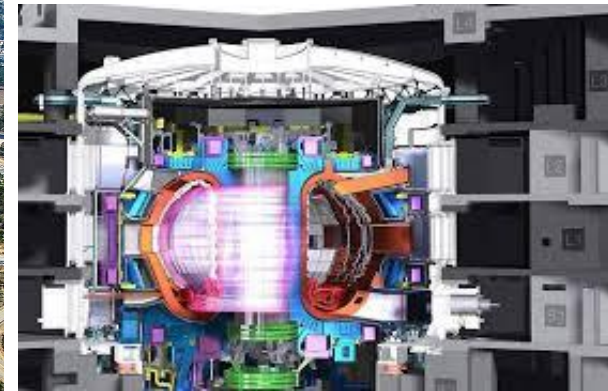
# Nuclear Power Generation by Country 2019





## Reactorul de fuziune ITER

- ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) este un megaproiect internațional de cercetare și inginerie a fuziunii nucleare, care construiește în prezent cel mai mare tokamak experimental al unui reactor de energie de fuziune (*Cadarache- sudul Franței*).
- Prevăzut ca începerea experimentelor cu deuterium-tritium în anul 2027. Proiectul ITER are drept scop tranziția mult-așteptată de la studii experimentale asupra plasmei în fizică, la producerea de electricitate la scară largă în centrale de energie de fuziune (produce 500 MW de energie finală în timp ce are nevoie doar de 50 MW).
- Costul total al proiectului este estimat la aproximativ 20 de miliarde de euro. Costul total al proiectului este estimat la aproximativ 20 de miliarde de euro.



# Direcții ale fizicii nucleare

**FIZICA NUCLEARĂ**

```
graph LR; A[FIZICA NUCLEARĂ] --- B[APLICATIVĂ]; A --- C[FUNDAMENTALĂ];
```

## **APLICATIVĂ**

dezvoltarea și perfecționarea tehnologiei nucleare cu aplicații în energetică, industrie și medicină

## **FUNDAMENTALĂ**

sondarea, înțelegerea și elaborarea modelelor structurii și interacțiunilor din nucleului atomic (fizica nucleară la energii înalte, particule elementare, etc.)

# FIZICA NUCLEARĂ ÎN ROMÂNIA

1949

- Înființarea Institutului de **Fizică al Academiei Române**
- Fondator și primul director **Horia Hulubei (1896-1972)**

Teza de doctorat, Paris, 1933

Conducător științific: Jean Perrin (laureat Nobel).

Președinte comisie doctorat: Marie Curie (laureat Nobel).



1956

- Înființarea Institutului de Fizica Atomică în comuna Măgurele (lângă București)
- Director Horia Hulubei (1956-1968)

1957

- Se inaugurează **reactorul nuclear de fisiune VVRS**
- Se inaugurează **Ciclotronul U120**



*Primul reactor nuclear*



*Ciclotronul U120*

## 1973

- Crearea **Platformei Măgurele** în forma actuală, incluzând și IFB și Facultatea de Fizica a Universității București. IFA se transformă în ICEFIZ – Institutul Central de Fizică.
- Institutul-pilot al noii structuri devine **IFIN – Institutul de Fizică și Inginerie Nucleară**, care preia astfel tradiția IFA.

## 1974

- IFIN achiziționează un **accelerator tandem** de fabricație americană și un centru de producție a radioizotopilor, de fabricație britanică.
- Se instalează o stație de tratare și depozitare a deșeurilor radioactive.



## 1990

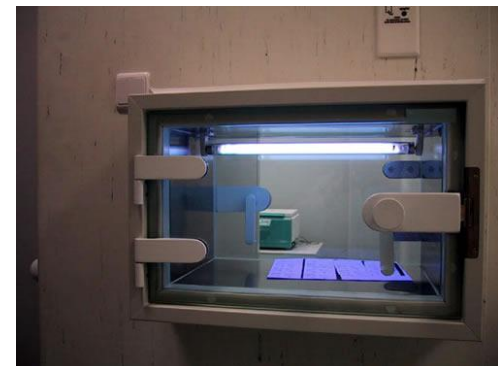
- ICEFIZ este desființat. Se revine la numele IFA, dar într-o nouă structură.

## 1996

- IFIN este recunoscut ca Institut National și la numele sau este adăugat cel al fondatorului IFA, Horia Hulubei; IFIN-HH

## 2000

- Inaugurarea iradiatorului gamma IRASM



Co-60

$10^6$  Ci

## 2001

- Proiectul IDRANAP – cercetare interdisciplinară și aplicații, bazate pe fizica atomică și nucleară – finanțate de Comisia Europeană

## 2002

- Stabilirea unei conexiuni de fibră optică cu RoEduNet, fapt ce a permis realizarea primei aplicații GRID din România (în cadrul colaborării cu CERN-Geneva).

## 2004

- Este inaugurat Laboratorul de Detectori, una dintre cele mai importante contribuții de până acum ale României la CERN

## 2005

- IFIN-HH (România) devine Membru Fondator al FAIR (Facilitatea pentru Cercetări asupra Antiprotonilor și Ionilor Grei)

## Principale domenii de cercetare

### 1. Cercetare fundamentală

- ✓ Fizică nucleară și astrofizică: structură nucleară; dezintegrări și fisiune nucleară
- ✓ Fizica particulelor elementare și teoria câmpurilor
- ✓ Fizică atomică și fizica materiei condensate
- ✓ Fizica vieții și a mediului: radiobiologie moleculară

### 2. Cercetare aplicativă

- ✓ Sisteme avansate de detecție
- ✓ Securitate nucleară, radioprotecție și produse radioactive
- ✓ Radioecologie și biomedicină nucleară
- ✓ Tehnici nucleare și aplicații: comportarea materialelor în câmp de radiații

## FIZICIENI ROMANI – cu contribuții notabile în fizica nucleară

### Dragomir Hurmuzescu (1865–1954)

- Inventatorul unui tip de electroscoap care îi poartă numele. Lucrări în domeniile electricității, razelor X. Colaborator al soților Curie.

### Ștefania Mărăcineanu (1882–1944)

- Doctorat la Sorbona(1924). A identificat fenomenul radioactivității artificiale - explicat fizic și matematic de Irène Joliot-Curie și Frederic Joliot-Curie. A descoperit procedeul de declanșare artificială a ploii, cu ajutorul unor săruri radioactive

### Horia Hulubei (1896-1972)

- Contribuții importante în fizica neutronilor, în studiul elementelor transuraniene, în studiul reacțiilor nucleare, interacțiile nucleare la energii joase, medii și înalte, dezintegrarea mezonilor

### Alexandru Proca (1897- 1955)

- Institutul de Radium din Paris (1926-1930), Institutul „H. Poincare” (1930); director din 1932. A demonstrat (independent de fizicianul nipon H. Yukava) existența mezonilor, particulelor elementare, mecanica cuantică, radioactivitatea, fizică relativistă

### Gheorghe Manu (1903-1961)

- Teza de doctorat sub îndrumarea Mariei Curie
- Cercetările asupra absorbției radiației *alfa* în materie
- Primul tratat de fizică nucleară din România



## Șerban Țițeica (1908-1985)

- Cercetări în domeniul termodinamicii, a fizicii statistice, mecanicii cuantice, fizicii atomice și în fizica particulelor elementare



## Valeriu Novacu (1909-1992)

- Contribuții în fizică particulelor elementare



## Victor Mercea (1924-1987)

- Lucrări în domeniile fizicii moleculare, mecanicii fluidelor.  
Contribuții la producerea apei grele



## Ioan Ursu (1928-2007)

- Studiul materialelor nucleare, interacțiunea radiațiilor nucleare cu solidul, combustibili nucleari, efectul de îmbogățire izotopică a uraniului (descoperire proprie), rezonanța magnetică



## Marin Ivașcu (1931-2013)

- Inițiază și dezvoltă cercetări de referință în domeniul mecanismelor de reacție



# Energetica nucleară în România

1971

- Este înființat ***Institutul pentru Tehnologii Nucleare (ITN)***-asigurarea suportului științific și tehnologic pentru Programul Nuclear

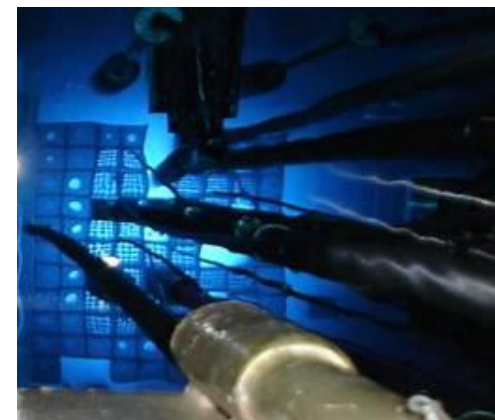
1977

- Sunt instalate și puse în funcțiune laboratoarele de cercetare la noul sediu, Mioveni. Responsabilitățile institutului sunt extinse prin implicarea în activitățile de proiectare a componentelor sistemelor nucleare. Totodată se schimbă denumirea în ***Institutul de Reactori Nucleari Energetici (IRNE)***



1979

- Punerea în funcțiune a reactoarelor nucleare TRIGA SSR (14MW) și TRIGA ACPR, de concepție americană, cu un înalt grad de securitate, destinate pentru cercetari, atât în regim staționar cât și în regim pulsant



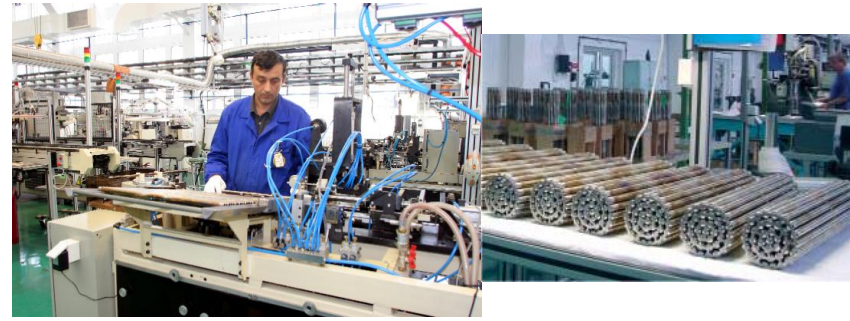


## 1980

- Este pusă în funcțiune stația Pilot de Fabricatie Elemente Combustibile tip CANDU

## 1985

- Începerea fabricației fasciculelor combustibile CANDU în Secția de Producție Elemente Combustibile (SPEC).



## 1983

- Punerea în funcțiune a Laboratorului de Examinare Post - Iradiere (LEPI).



## 1984

- Punerea în funcțiune a Standului de Testare Anduranța a fasciculelor combustibile din cadrul departamentului Testări în Afara Reactorului (TAR)

## 1984

- Punerea în funcțiune a Stației de Tratare a Deșeurilor Radioactive.



**1990**

- Institutul de Reactori Nucleari Energetici (IRNE) devine **Institutul de Cercetări Nucleare (ICN)**.

**1995**

- Punerea în funcțiune, la **Unitatea 1 - CNE Cernavodă** a sistemului de localizare a combustibilului defect (SLCD), proiectat și realizat în întregime în institut.



**2003-2005**

- Testarea și livrarea la Unitatea 2 - CNE Cernavoda a unor instalații și componente – (ex. mașina încărcat descărcat combustibil)



**2006**

- Finalizarea conversiei Reactorului TRIGA - SSR de la funcționarea pe combustibil HEU (High Enreach Uranium) la cea pe combustibil LEU Low Enreach Uranium)



# Centrala nuclearo-electrică Cernavodă

**1979**

- Încheierea contractului între ROMENERGO și AECL (Atomic Energy of Canada Ltd) pentru preluarea licenței sistemului CANDU (706 MW), proiectarea și procurarea echipamentelor specifice părții nucleare a Unității 1

**Decembrie 1989**

- Stadiul realizării investiției Unității 1 este de 45%

**17 Aprilie 1996**

- Prima criticitate a reactorului Unității 1

**11 Iulie 1996**

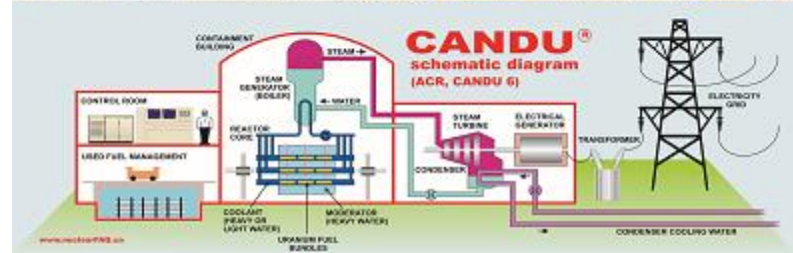
- Prima conectare la Sistemul Energetic National a Unității 1

**2 Decembrie 1996**

- Începerea exploatării comerciale a Unitatii 1

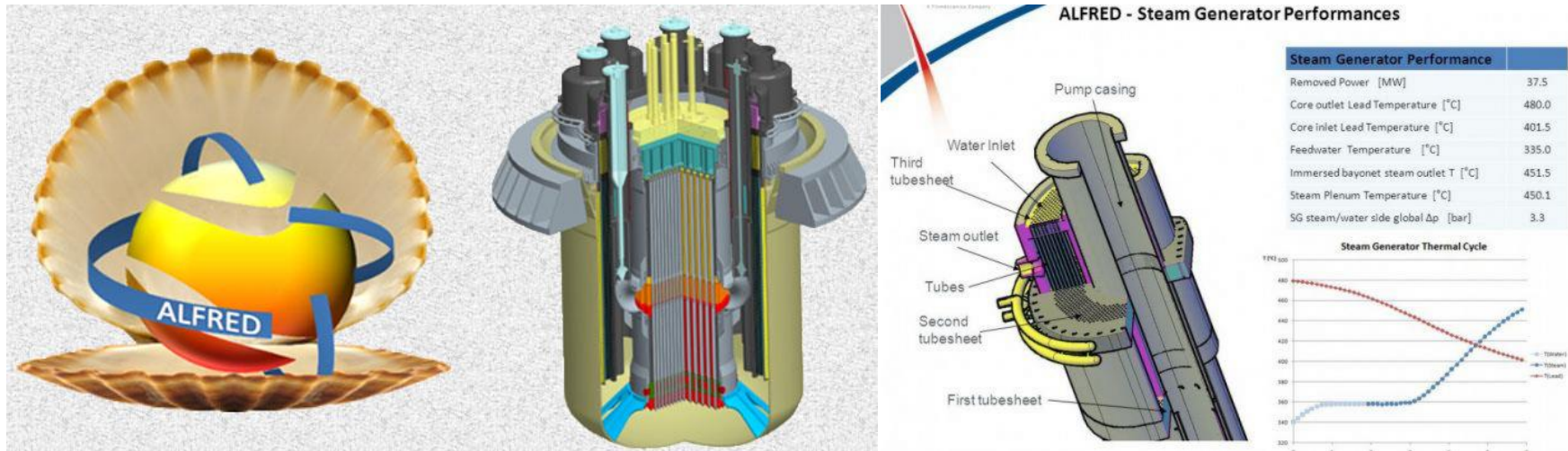
**7 Agust 2007**

- Prima conectare a Unității 2 la Sistemul Energetic National



~20% din producția de electricitate totală a României

# ALFRED (Advanced Lead Fast Reactor Demonstrator)



- Proiectul ALFRED (Advanced Lead Fast Reactor Demonstrator) are ca obiectiv construirea, până în 2030, a unui demonstrator european de reactor cu neutroni rapizi, sistem de răcire cu plumb (LFR, Lead Fast Reactors) generația IV, de 300 MWth, la Institutul de Cercetări Nucleare Pitești, pe platforma de la Mioveni (investiție estimată la aproximativ un miliard de euro până în 2030)

## Tipuri de reactori de generația IV

- Gas-cooled Fast Reactor (GFR)
- Lead-cooled Fast Reactor (LFR)
- Molten Salt Reactor (MSR)
- Supercritical Water-cooled Reactor (SCWR)
- Sodium-cooled Fast Reactor (SFR)
- Very High Temperature Reactor (VHTR).

## Scop:

- minimizarea cantităților de deșuri radioactive produse;
- utilizarea mult mai eficientă a resurselor de uraniu;
- obținerea unei eficiențe economice crescute;
- creșterea siguranței în funcționare.

## Institute de cercetări și obiective economice în domeniul nuclear

- **Institutul de Fizică Atomică** – București – Măgurele
- **Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară - „Horia Hulubei” (IFIN-HH)** – București - Măgurele
- **Institutul National de Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației (INFLPR)** – București Măgurele
- **Institutul de Științe Spațiale** – Filiala INFLPR- București – Măgurele
- **Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Metale și Resurse Radioactive** – ICPMRR București
- **Regia Autonomă Tehnologii pentru Energia Nucleară (RATEN)–**
  - ✓ *Institutul de Cercetări Nucleare* – Pitești
  - ✓ *Centrul de Inginerie Tehnologică pentru Obiective Nucleare (SITON)-* București-Măgurele
- **SN "Nuclearelectrica" SA**
  - ✓ *Centrala Nuclearoelectrică (CNE) - Cernavodă*
  - ✓ *Fabrica de Combustibil Nuclear (FCN) - Pitești*
- **Societatea Romană de Medicină Nucleară și Imagistică Moleculară**
- **Comisia Națională pentru Controlul Activităților Nucleare (CNCAN)**

# Institutul de Fizică Atomică

Bucuresti - Magurele

<http://www.ifa-mg.ro>



## Scop

- Elaborarea și implementarea unei politici coerente și stimulative a cercetării științifice și dezvoltării tehnologice în fizica atomică și subatomică, de întărire a potențialului românesc, în vederea creșterii impactului științific și socio-economic precum și a vizibilității internaționale.

## Obiective

- Evaluarea potențialului științific național în domeniu și elaborarea unei strategii de dezvoltare adecvate;
- Promovarea parteneriatului științific și reprezentarea internațională a domeniului (EURATOM, CERN, proiecte de mari infrastructuri de cercetare precum ITER, ELI, etc.);
- Inițiere și conducere de programe de cercetare-dezvoltare naționale și internaționale;
- Facilitarea transferului de cunoștințe pentru creșterea și valorificarea potențialului național de cercetare în domeniul fizicii.

# Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară - „Horia Hulubei” (IFIN-HH)



Bucuresti - Magurele

<http://www.nipne.ro>

## Cercetare fundamentală și aplicativă

- **Fizică teoretică:**

*fizică nucleară, fizica particulelor elementare și teoria câmpurilor, fizica materiei condensate, fenomene neliniare, fizică matematică și fizică computațională;*

- **Fizică nucleară:**

*structură și mecanisme de reacție, materie hadronică, analiza fasciculelor de ioni, difracție cu neutroni, date nucleare și atomice, astrofizică nucleară, sisteme avansate de detecție*

- **Fizica particulelor:**

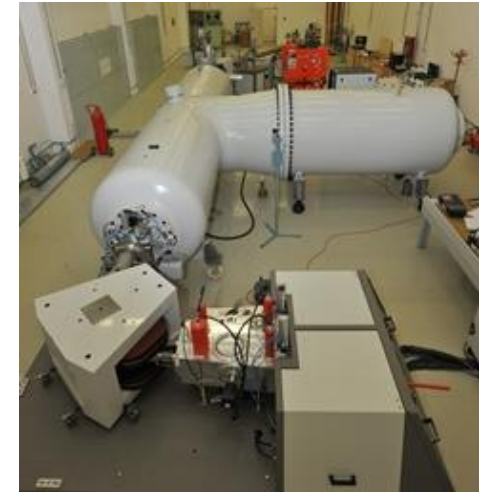
*calorimetrie, simulări Monte Carlo, software dedicat, analiza datelor statistice, fenomenologie;*

- **Fizica Vieții și a Mediului:**

*radiobiologie în câmp scăzut de radiații, risc nuclear, migrare geofizică, controlul eroziunii solului, dozimetria și metrologia radiațiilor.*

## Facilități

- **Accelerator Tandem Van der Graaf (HVEC) – 9MV** -  
(*accelerează cca. 28 tipuri de ioni*)
  - ✓ *structura nucleului sau a interacției dintre nuclee*
  - ✓ *cercetări multidisciplinare și aplicații ale fasciculelor de ioni (fizica stării solide, mediu, medicină, arheologie, etc.)*
  
- **Accelerator Tandetron Cockcroft–Walton(HVEE)-3 MV**
  - ✓ Metode nucleare de analiză:
    - *Ion Beam Analysis (IBA)*
    - *Micro Particle Induced X-ray Emission ( $\mu$ PIXE)*
    - *Particle Induces Gamma Ray Emission (PIGE)*
    - *Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA)*
    - *Rutherford Backscattering (RBS)*
  
- **Accelerator Tandetron Cockcroft–Walton(HVEE) -1MV**
  - *Spectrometrie de masa cu ioni accelerati (AMS-  
accelerator mass spectrometry )*
  - *Datare cu  $^{14}\text{C}$*





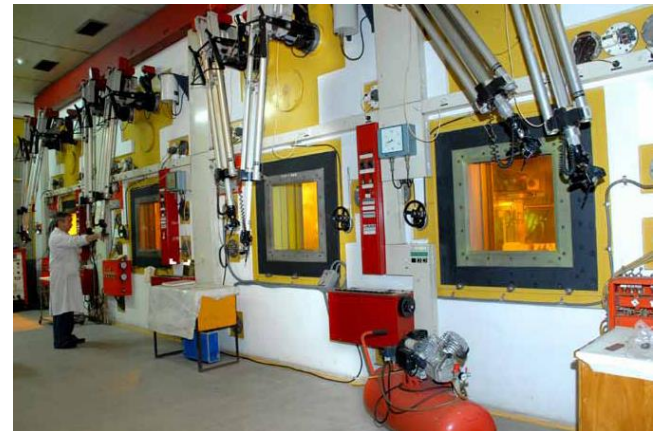
## ➤ **Ciclotronul**

- ✓ Accelerare de protoni, deuteroni și particule alfa (maximum 13MeV/amu la intensități de maxim 50μA) (indirect - câmpuri intense de neutroni rapizi)
  - *analiza structurala: RBS, PIXE and CPA*
  - *iradierii cu neutroni rapizi*



## ➤ **Camere fierbinți**

- ✓ Ecranate și prevăzute cu telemanipulatori; incinte etanșe protejate pentru lucrări de radiochimie și producere de izotopi radioactivi
  - *Radioiodură (<sup>131</sup>I) de sodiu capsule și soluție*
  - *Surse radioactive închise de <sup>192</sup>Ir*
  - *Surse radioactive închise: <sup>60</sup>Co; <sup>137</sup>Cs, etc.*
  - *Transvazări de surse radioactive*



## ➤ **Instalația de Iradiere -IRASIM**

- *Sterilizare: dispozitive medicale, de laborator, ambalaje farmaceutice;*
- *Control microbial: materii prime farmaceutice, cosmetice, suplimente alimentare*
- *Validarea sterilizării prin iradiere;*
- *Teste microbiologice, dozimetrice, fizicochimice și de identificare a alimentelor iradiate.*



# Departamentul de Management al Deșeurilor Radioactive (DMDR)

- Gestionarea la nivel național a deșeurilor radioactive instituționale provenite din aplicațiile tehnicilor și tehnologiilor nucleare
- **Stația de Tratare a Deșeurilor Radioactive (STDR)**
  - *preluarea și transportul din teritoriu a deșeurilor radioactive*
  - *confinarea-condiționarea, stocarea și depozitarea finală a deșeurilor radioactive;*
  - *caracterizarea gamaspectrometrică a deșeurilor radioactive*



- **Depozitul Național de Deșeuri Radioactive (DNDR) Băița, Bihor**

- ✓ *Destinat exclusiv depozitării definitive a deșeurilor radioactive instituționale slab și mediu active care provin din activități de cercetare, de producere radioizotopi, din aplicații ale radioizotopilor în medicină și în industrie*



# Institutul National de Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației (INFLPR)



Adresa

Str. Atomistilor, Nr. 409, Magurele-Bucuresti

<http://www.inflpr.ro>

- Cercetare fundamentală și aplicativă în domeniul laserilor, interacției luminii cu materia, plasmei și acceleratoarelor de electroni.

## ➤ Domenii de cercetare:

- *Lasere de mare putere si aplicatii*
- *Bio/nano fotonica si nanomateriale*
- *Plasma de fuziune si tehnologii bazate pe plasma*

## Institutul de Științe Spațiale – Filiala INFLPR

- *Fizică Teoretică și Fizică matematică*
- *Fizica energiilor inalte și astrofizică*
- *Fizica astroparticulelor și Cosmologie*
- *Microgravitație, dinamica spațiului și microsateleți*
- *Aplicații ale tehnologiilor spațiale și de comunicare*



# Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Metale și Resurse Radioactive – ICPMRR



Adresa  
Bd. Carol I nr.70, București  
<http://www.incdmrr.ro>



- Cercetare, dezvoltare tehnologică și inginerie în domeniul metalelor rare și prețioase și resurselor radioactive.



Laboratorul Măgurele  
str. Șoseaua de Centură 48, București-Măgurele

- *Analize de radionuclizi naturali (U, Ra, Th, K) din probe solide*
- *Analiza radionuclizilor din materialele de construcții*
- *Determinări ale Radonului (Rn) în aer, apă, sol;*
- *Determinări ale descendenților Rn în aer*
- *Determinarea contaminării de suprafață;*
- *Analiza metalelor și nemetalelor și a izotopilor acestora*

# Institutul de Cercetări Nucleare – Pitești



Adresa

Str. Câmpului Nr. 1, Mioveni, Argeș

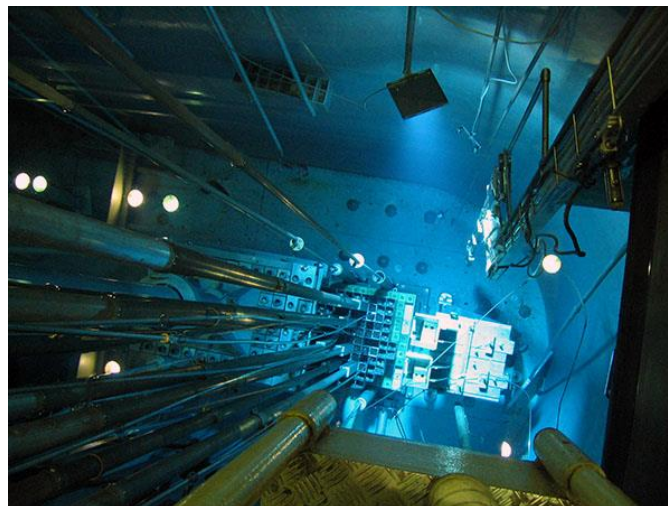
<http://www.nuclear.ro>

## ➤ Principalele domenii de activitate

- *Fizica reactorilor și Securitate nucleară;*
- *Testări la iradiere;*
- *Examinări post-iradiere a materialelor și combustibilului nuclear;*
- *Tehnologii de iradiere și radioizotopi;*
- *Materiale nucleare și coroziune;*
- *Evaluare performanțe combustibil nuclear;*
- *Testări înafara reactorului;*
- *Caracterizarea și tratarea deșeurilor radioactive*
- *Electronica, instrumentație și control;*
- *Teste și încercări aparatură, componente și echipamente nucleare;*
- *Proiectare echipamente, prototipuri nucleare;*

## ➤ Reactori de cercetare:

- reactorul staționar TRIGA SSR (14MW)
- reactorul pulsant TRIGA ACPR



## Sucursala de Inginerie Tehnologică pentru Obiective Nucleare (SITON)



Bucuresti-Magurele  
<http://www.citon.ro>

- Activități de proiectare și inginerie, asistență tehnică și suportul ingineresc pentru lucrări de construcții-instalații, punere în funcțiune, exploatare și întreținere pentru centrale nucleare și alte obiective nucleare

# SN "Nuclearelectrica" SA



Bucuresti, sector 1  
<http://www.nuclearelectrica.ro>



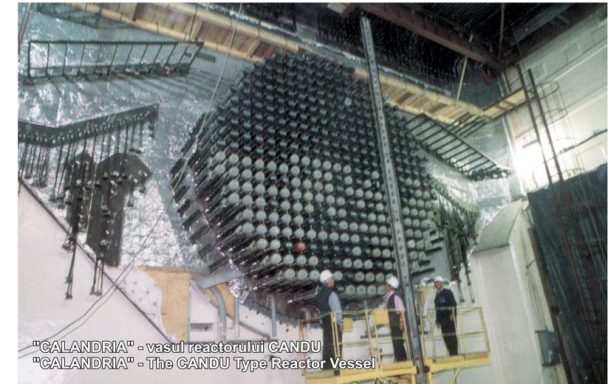
## ➤ **Sucursale**

- *Centrala Nuclearoelectrica (CNE) - Cernavodă*
  - *Fabrica de Combustibil Nuclear (FCN) - Pitești*
- 
- producerea de energie electrică, termică și de combustibil nuclear
  - coordonarea lucrărilor de investiții-dezvoltare în energia nuclearo-electrică
  - activitățile de formare și perfecționarea resurselor umane din domeniu.

# Centrala Nuclearoelectrică (CNE) - Cernavodă

- **Reactor CANDU (CANada Deuterium Uranium )**
  - ✓ combustibil U natural (0.7%  $^{235}\text{U}$ )
  - ✓ moderator apa grea
  - ✓ puterea electrică instalată de 705,6 MW
  
- Costurile de producție de energie electrică prin diverse tehnologii energetice sunt cuprinse între următoarele valori:

✓ Hidro	10-20 USD/ MWh
✓ <b>Nuclear</b>	<b>21-48 USD/ MWh</b>
✓ Carbune	23-58 USD/ MWh
✓ Gaze	38-60 USD/ MWh
✓ Eolian	35-90 USD/ MWh





# Fabrica de Combustibil Nuclear (FCN) - Pitești

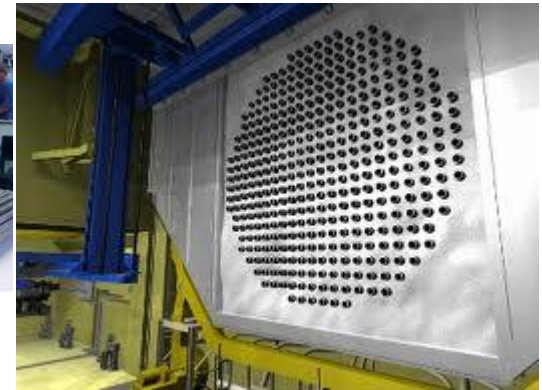
www.fcn.ro

1980

- Este pusă în funcțiune statia Pilot de Fabricatie Elemente Combustibile tip CANDU iar din 1985 – Începerea fabricației fasciculelor combustibile CANDU în Secția de Producție Elemente Combustibile (SPEC).



- ✓ 4560 fascicule de combustibil
- ✓ 380 de tuburi din aliaj de zirconiu (canale de combustibil)
- ✓ 100 tone combustibil



- Inițiată în anul 1992 prin separarea Secției de Producție Elemente Combustibile (SPEC) din Structura IRNE, fabrica este autorizată de AECL Canada ca furnizor de combustibil nuclear de tip CANDU 6
- În prezent asigură necesarul de combustibil pentru Unitatile 1 și 2 de la centrala nuclearelectrică Cernavodă (aprox. 11.000 fascicule combustibile).
- Un fascicule de combustibil CANDU 6 generează o cantitate de 1.115 MWh pe durata unui an (timpul mediu de viață a unui fascicul)

## Societatea Romană de Medicină Nucleară și Imagistică Moleculară

- Scopul - îmbunătățirea asistentei medicale (diagnostic și tratament) în rețeaua de medicină nucleară din România, precum și sprijinirea cercetării științifice și a învățământului în domeniul medicinei nucleare și al imagisticii moleculare.

### București

- Laborator Medicină Nucleară Institutului Oncologic “Prof. Dr. Al. Trestioreanu”
- Laborator Medicină Nucleară Spitalul Universitar de Urgență Militar Central "Dr. Carol Davila"
- Laborator Medicină Nucleară Institutul Clinic Fundeni
- Compartimentul Medicină Nucleară Spitalul Universitar de Urgență
- Neolife Medical Center
- Mate-Fin Medical
- Centrul de radioterapie Amethyst
- Laborator Medicină Nucleară Institutul Național de Endocrinologie "C.I. Parhon"

### Brașov

- Departamentul de Medicină Nucleară Hiperdia Brașov

### Tîrgu Mureș

- Laborator Medicină Nucleară Spitalul Clinic Județean de Urgență

### Oradea

- PET Pozitron - Centru de Diagnostic

### Cluj-Napoca

- Laborator Medicină Nucleară; Spitalul Clinic Județean de Urgență
- Laborator de angiocardiografie nucleară; Institutul Inimii "Nicolae Stancioiu"
- Departamentul de Medicină Nucleară și Endocrinologie Institutul Oncologic “Prof. Dr. Ion Chiricuță”
- Gamma Medical
- CT Clinic PET-CT
- Gammamed Laboratorul de Medicina Nucleara / Scintigrafie – IRGH
- Laboratorul de Radiologie și Imagistică Medicală Institutul Regional de Gastroenterologie și Hepatologie „Prof. Dr. Octavian Fodor” Centrul de radioterapie Amethyst
- Medisprof: Spital de Oncologie & Clinică Privată

### Iași

- Laborator Medicină Nucleară Institutul Regional de Oncologie Iași
- Laborator Medicină Nucleară I - Radioizotopi Spitalul Clinic Județean de Urgență "Sf. Spiridon"
- Neolife Medical Center

### Timișoara

- Laborator Medicină Nucleară Spitalul Clinic Județean de Urgență „Pius Brînzeu”

# Comisia Nationala pentru Controlul Activitatilor Nucleare (CNCAN)



- *Autoritatea nationala in domeniul reglementarii, autorizarii si al controlului activităților nucleare din Romania*
  
- **Atribuții principale**
  - *Legislația și reglementările în domeniul desfășurării în siguranță a activităților nucleare*
  - *Securitatea nucleară*
  - *Protecția la radiații*
  - *Protecția fizică a obiectivelor și a instalațiilor nucleare*
  - *Transportul materialelor radioactive, materialelor nucleare și/sau de interes nuclear, surselor și generatoarelor de radiații ionizante*
  - *Gospodărirea deșeurilor radioactive*
  - *Autorizarea personalului operator*
  - *Importul/exportul materialelor radioactive, materialelor nucleare și/sau de interes nuclear, surselor și generatoarelor de radiații ionizante*

## IUCN-Dubna



- Institutului Unificat pentru Cercetare Nucleară (IUCN) Dubna (120 km nord de Moscova), Rusia
  - centru de cercetare internațional pentru științele nucleare.
  - S-a stabilit prin Convenția semnată la 26 martie 1956 la Moscova de către statele fondatoare, cu scopul de a uni potențialul lor științific și materiale pentru a studia proprietățile fundamentale ale materiei. 18 state membre: Republica Armenia, Republica Azerbaidjan, Republica Belarus, Republica Bulgaria, Republica Cuba, Republica Cehă, Georgia, Republica Kazahstan, Republica Populară Democrată Coreeană, Republica Moldova, Mongolia, Republica Polonia, [România](#), Federația Rusă, Republica Slovacă, Ucraina, Republica Uzbekistan , Republica Socialistă Vietnam.
- Laboratoare si Centrul Universitar (comparabile cu institute de cercetare):
    - ✓ Laboratorul de Fizica teoretica
    - ✓ Laboratorul de Fizica energiilor înalte
    - ✓ Laboratorul de Probleme nucleare
    - ✓ Laboratorul de Reacții nucleare
    - ✓ Laboratorul de Fizica neutronilor
    - ✓ Laboratorul de Tehnologia Informatiei
    - ✓ Laboratorul de Biologie radiatiilor
    - ✓ Centrul Universitar

## Students and postgraduates

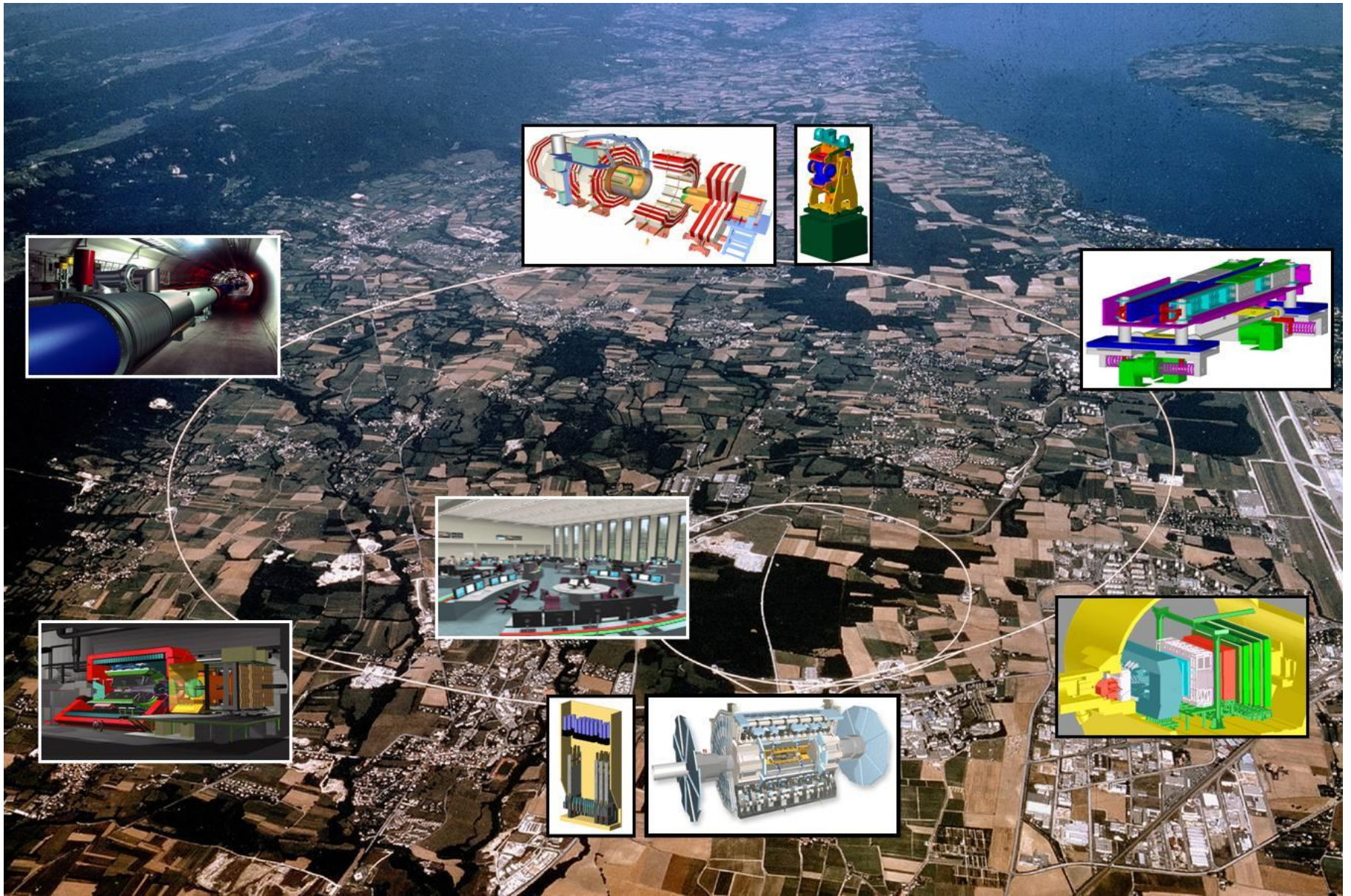
- Being an international scientific research organisation, JINR has a great potential for education and training in the disciplines coinciding with the Institute's main directions of research. While providing a formal education, like that of a university, is not a purpose of the Institute, graduate and postgraduate students from the Member States are offered a wide range of educational opportunities:
  - practical training in the JINR laboratories
  - preparation of bachelor, master and PhD theses
  - International Student Practices
  - Student Programme
  - International remote student training (INTEREST)
  - Engineering and Physics Training
  - Conferences and schools for young scientists
  - Visits to JINR
  - 3D tours of the JINR laboratories.
- This is a unique opportunity to join diverse research teams of the JINR Laboratories to be trained under the guidance of the leading experts to work in the field of physics, engineering, computer science, etc., to immerse into the scientific life of the Institute and to establish valuable contacts with other students and scientists, to deepen the existing and acquire new knowledge and skills by using advanced equipment and technology, sipping information not only from textbooks and lectures, but, above all, from personal practical experience.
- Thus, the JINR University Centre promotes the implementation of an important tasks: to ensure efficient use of the Institute resources in order to train highly qualified scientists and engineers from the Member States.

# Colaborarea României cu Organizația Europeană pentru Cercetare Nucleară

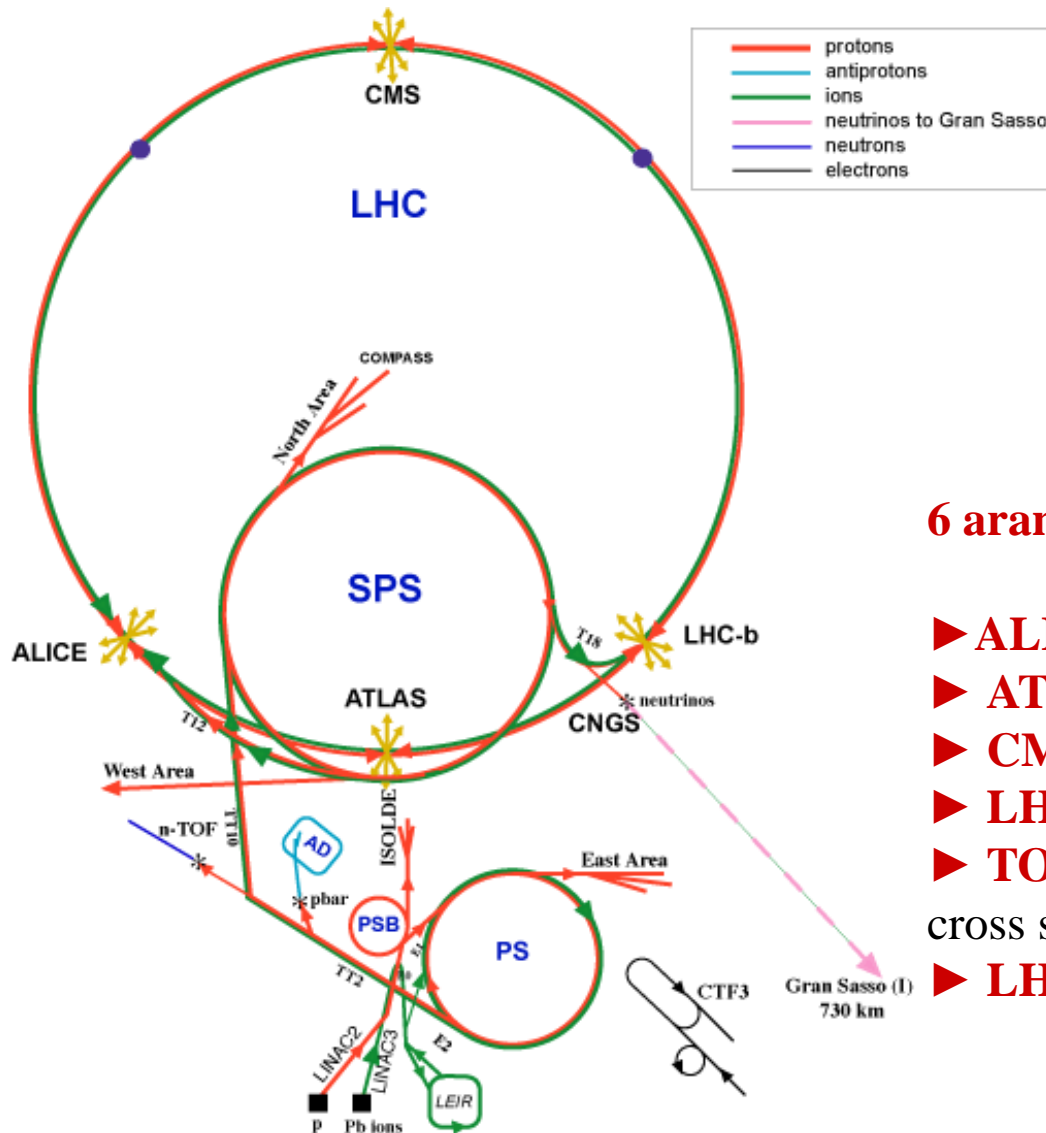
(CERN- Organisation européenne pour la recherche nucléaire)



- **2004** - înființarea Comitetului Național România – CERN, organ consultativ cu scopul dezvoltării colaborării dintre instituțiile de cercetare românești și CERN
- **2006**- a fost semnat Memorandumul de Înțelegere vizând colaborarea pentru desfășurarea și exploatarea Worldwide LHC Computing Grid, în cadrul căreia România participă cu un centru Tier 2
- **2010** - la data de 11 februarie 2010, la Geneva, Ministrul Educației, Cercetării, Tineretului și Sportului a semnat Acordul între România și CERN privind statutul de candidat pentru aderarea la CERN
- **2015** –18 iunie - România a devenit membru cu drepturi depline al CERN (Organizația Europeană pentru Cercetare Nucleară), prin votul unanim al membrilor Consiliului Organizației.
- Legea privind **aderarea României la CERN** a fost publicată în Monitorul Oficial al **României** nr. 383 din data de 19 mai **2016**
- Peste 300 cercetători români lucrează în cadrul proiectelor CERN.
- IFIN-HH participă în mod oficial la trei experimente LHC (ATLAS, ALICE and LHC-b), la construirea detectorilor și la pregătirea analizei datelor.
- **Proiectul RD50 - Radiation hard semiconductor devices for very high luminosity colliders-** colaborare de lungă durată



**CERN - LHC (Large Hadron Collider)**



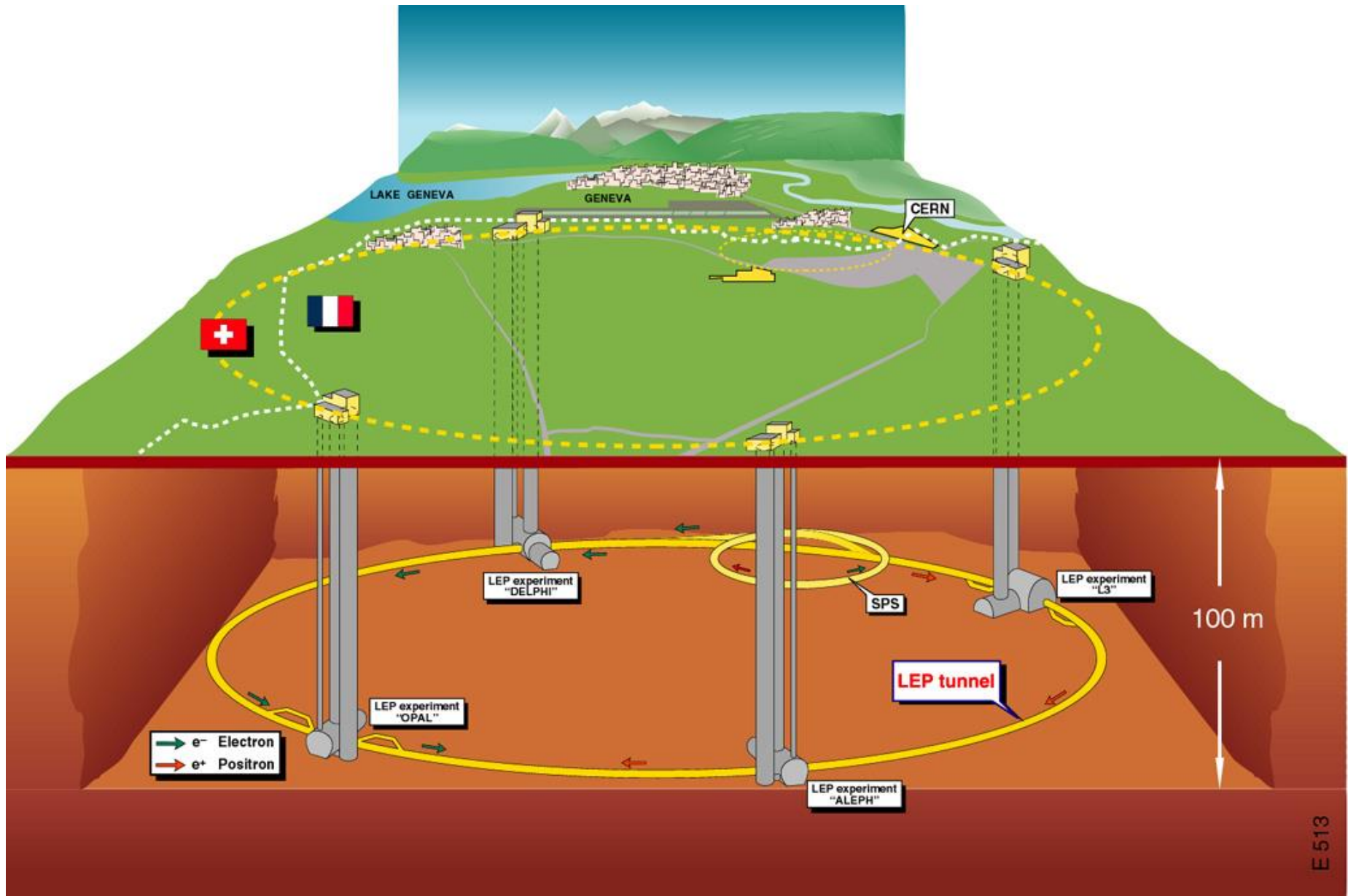
# LHC

## Large Hadron Collider

### 6 aranjamente experimentale

- ▶ **ALICE** (A Large Ion Collider Experiment),
- ▶ **ATLAS** (A Toroidal LHC ApparatuS),
- ▶ **CMS** (Compact Muon Solenoid),
- ▶ **LHCb** (Large Hadron Collider beauty)
- ▶ **TOTEM** (TOTAl Elastic and diffractive cross section Measurement)
- ▶ **LHCf** (Large Hadron Collider forward)





# Extreme Light Infrastructure (ELI)

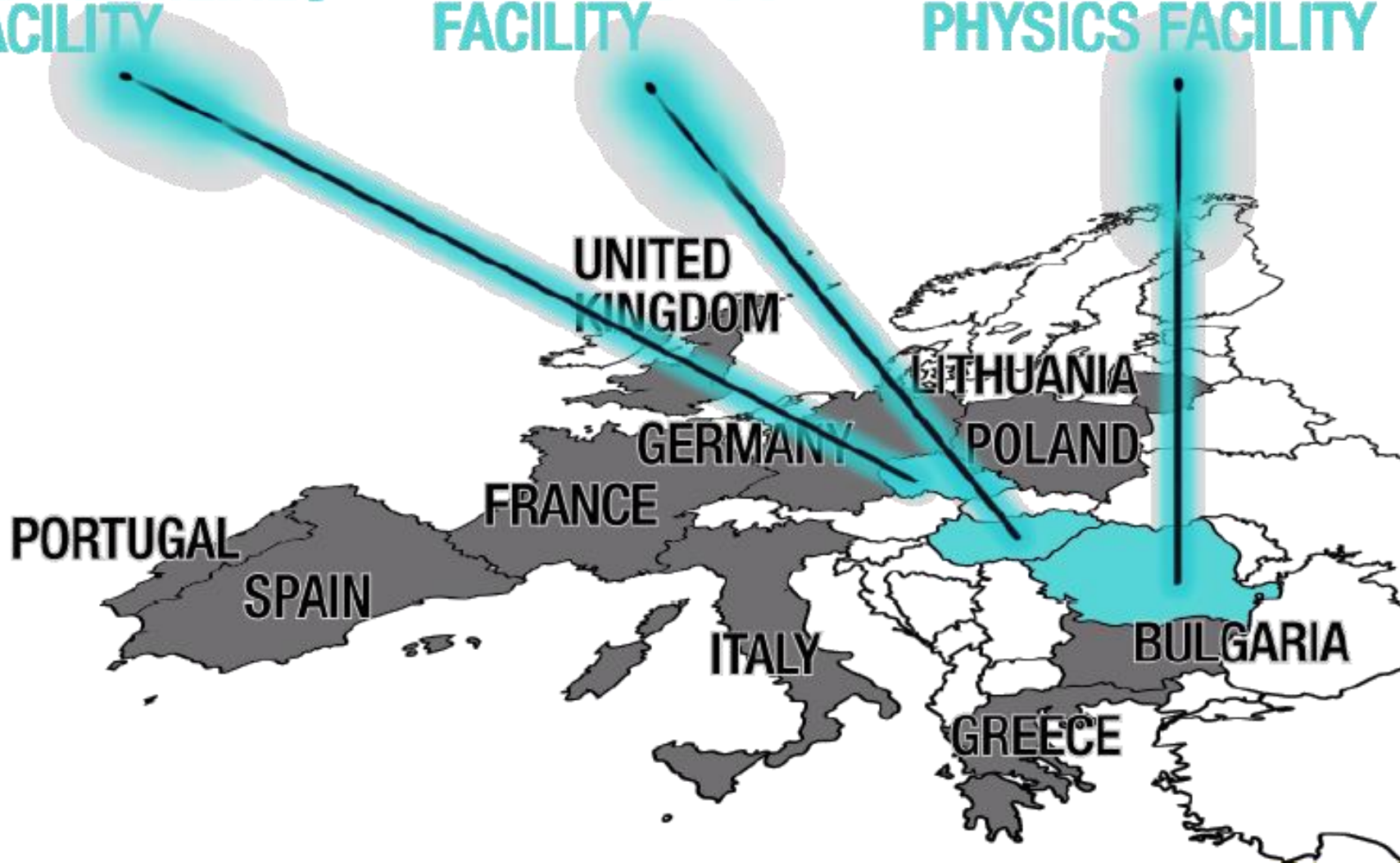
➤ **Centru european și internațional pentru cercetări de cel mai înalt nivel în domeniul laserilor de putere ultra înaltă, interacțiunii laser-materie și a surselor secundare de radiație**

- **High Energy Beam Science** (*Știința fasciculelor cu energie înaltă*) - dezvoltarea și utilizarea fasciculelor în pulsuri ultra scurte de radiații cu de mare intensitate și a particulelor care se apropie de viteza luminii (Praga - Republica Cehia)
- **Attosecond Laser Science** (*Știința laserilor la nivel de atosecunde*) - investigații temporale ale dinamicii electronilor din atomi, molecule, plasmă și solide la nivel de atosecunda ( $10^{-18}$  sec.) (Szeged - Ungaria)
- **Nuclear Physics** (*Fizica nucleară*) - fizica nucleară pe baza fasciculelor ultra-intense de radiații vizibile (laser) și invizibile (gama) (Măgurele – București România)
- **Ultra High Field Science** (*Știința câmpurilor de radiații ultra-intense*) - interacțiunea relativistă laser-materie într-o gamă de energie în cadrul căreia pot apărea fenomene absolut noi (*înca nu este stabilită locația*)

**CZECH REP.**  
ELI BEAMLINES  
FACILITY

**HUNGARY**  
ELI ATTOSECOND  
FACILITY

**ROMANIA**  
ELI NUCLEAR  
PHYSICS FACILITY



- *Premiul Nobel pentru fizică 2018 : Arthur Ashkin, Gérard Mourou și Donna Strickland.*
  - ✓ *Arthur Ashkin - „pentru pensetele optice și aplicația lor în sistemele biologice”*
  - ✓ *Gérard Mourou și Donna Strickland pentru „pentru metoda lor de generare a impulsurilor optice ultrascurte de intensitate mare*



- **Clădirile ELI-NP** au fost finalizate în anul 2016 și sunt funcționale; suprafață de peste 68.000 m<sup>2</sup> (subsol, parter și 5 etaje)
- **Sistemul laser de mare putere (HPLS)**; furnizorul –Thales Franța. Instalarea sistemului laser a început în septembrie 2016. HPLS se află în procedura de testare, atingându-se, în mai 2018, puterea intermediară de 3 PW și este prevăzut să funcționeze, în prima parte a anului 2019, la puterea nominală de 10 PW, cea mai mare putere din lume.
- **Ansamblurile experimentale ELI-NP-** sunt în curs de instalare și testare
- **Sistemul Fascicul Gamma**; asocierea dintre Institutul Național pentru Fizică și Inginerie Nucleară ”Horia Hulubei” (IFIN-HH) cu EuroGammaS (EGS)- *urmează să fie instalat*

## Echipamente principale:

- Doi laseri de mare putere ( $10^{15}$  W)
- O sursă foarte intensă de radiație gamma, cu energie reglabilă de până la 20MeV, obținută prin retroîmprăștierea fotonilor din radiația laser pe electroni accelerați, capabilă să producă impulsuri cu cea mai mare strălucire și cea mai bună rezoluție energetică existentă.

## Cercetare fundamentală

- înțelegerea mecanismului de accelerare cu ajutorul laserului;
- nuclee exotice și fotofisiune
- proprietățile vidului și crearea de particule în cadrul interacțiunilor dintre fasciculele laser și gamma;
- studii ale structurii nucleare și de astrofizică.

## Cercetare aplicativă

- materiale în condiții extreme de iradiere pentru științele spațiale;
- gestionarea deșeurilor nucleare;
- tomografie industrială;
- sursă strălucitoare de pozitroni pentru caracterizarea materialelor / proceselor;
- radioizotopi pentru aplicații medicale
- securitate nucleară

# Domenii de dezvoltare

## **Fizica nucleară cu laser.**

- Laserii de mare putere vor putea produce fotoni  $\gamma$  de energie înaltă, particule încărcate și neutroni, cu fluxuri maxime superioare celor posibile cu ajutorul acceleratoarelor clasice.
- Nuclee exotice grele bogate în neutron (elucidarea misterului formării elementelor cu număr atomic mare din Univers)
- Reacții nucleare în plasma fierbinte și densă care simulează în laborator condiții astrofizice

## **QED în câmpuri intense**

- Intensitățile laser extrem de mari vor crea câmpuri electrice și magnetice ultraînalte în centrul fasciculelor laser și vor permite explorarea electrodinamicii cuantice în regimuri noi.
- Studiul reacției radiației cuantice pe electronii fasciculului și a plasmii accelerate violent de câmpul laser
- Producerea de perechi abundente de electroni, pozitroni și radiație gama energetice în interacțiunea laserului cu electronii
- Producerea gamma-catalizată de înaltă energie, a perechilor de electroni și pozitroni din vid, în centrul laserului

## **Materiale în condiții de iradiere extreme**

- Studiul comportamentului materialelor în condiții de iradiere extremă
- degradarea materialelor structurale din generația următoare de acceleratoare de particule și reactoare de fuziune sau fisiune
- interacțiunea sistemelor biologice cu radiația reglabilă de multiple componente cu spectru vast al energiei,
- îmbunătățirea radioprotecției biologice în cadrul misiunilor spațiale și pentru radioterapia cancerului.