

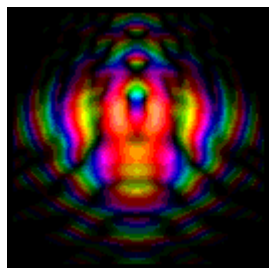
FACULTATEA DE FIZICĂ

Str. Atomiștilor, nr. 405 | 077125, Măgurele, Ilfov, ROMÂNIA

Tel./Fax: (+4) 021 457 45 21; (+4) 021 457 44 18

E-mail: [secretariat@fizica.unibuc.ro](mailto:secretariat@fizica.unibuc.ro) | Website: [www.fizica.unibuc.ro](http://www.fizica.unibuc.ro)

# Departamentul de Fizică Teoretică, Matematici, Optică, Plasmă, Laseri

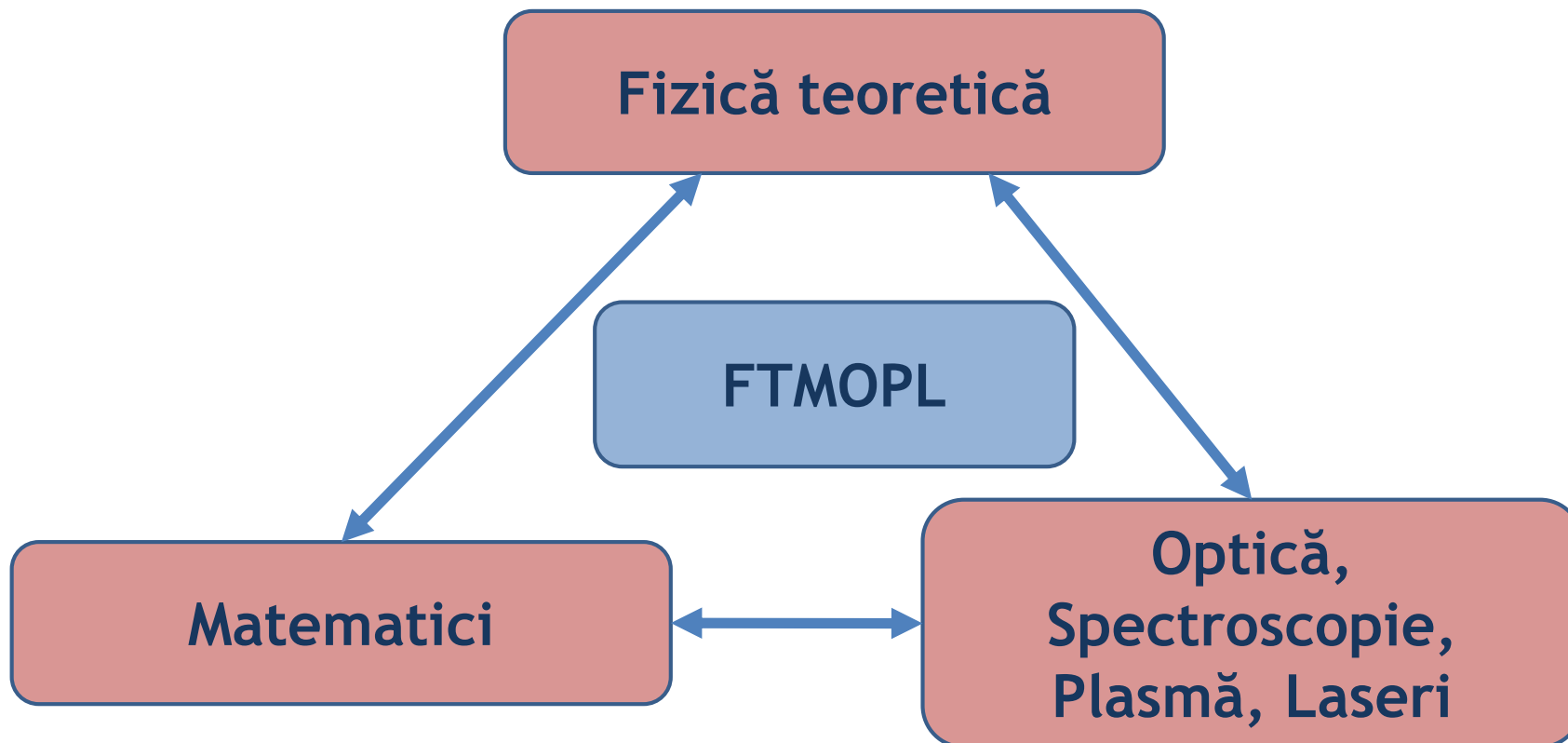


**Grupul de fizică teoretică și matematici**

**Centrul de cercetare: Fizică Teoretică**

**Centrul de cercetare: Fizică Cuantică Avansată**

# Departamentul de Fizică Teoretică, Matematici, Optică, Plasmă, Laseri (FTMOPL) - **Structură**

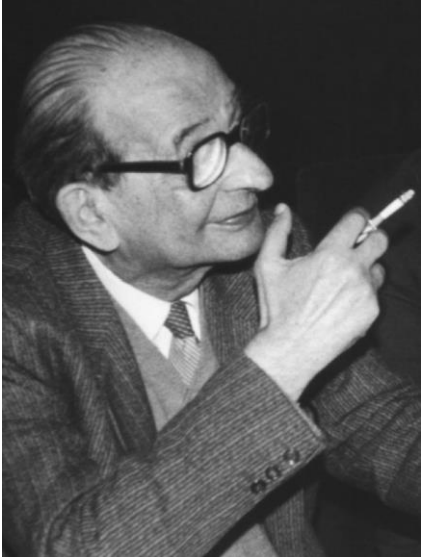


## Fizică teoretică și computațională, Matematici:

- ▶ Fizică teoretică - **repere istorice**
- ▶ Fizică teoretică și computațională, Matematici
  - ▶ **licență, masterat, doctorat**
- ▶ Fizică teoretică și computațională, Matematici
  - ▶ **cercetare**

# Fizică teoretică - repere istorice

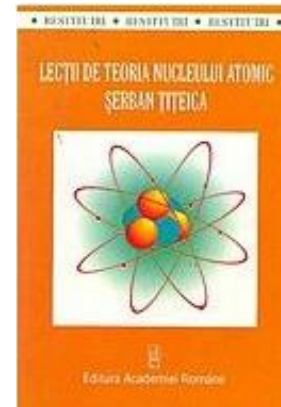
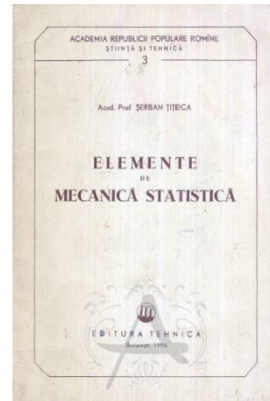
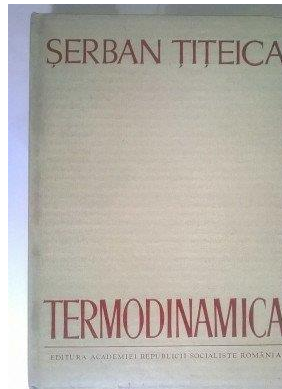
## Șerban Țițeica: founder of Romanian Theoretical Physics School



**Courses on:**  
Thermodynamics,  
Statistical Physics,  
Atomic Physics,  
Quantum Physics

### Acad. Șerban Țițeica (1908-1985)

- Founder of the Romanian School of Theoretical Physics
- PhD student of the Nobel Prize winner Werner Heisenberg; thesis entitled *Über die Widerstandsänderung von Metallen im Magnetfeld*, published in *Annalen der Physik* (Leipzig)
- *Articole Științifice* collected by T.A. Marian, published in 2008 at the Publishing House of the Romanian Academy

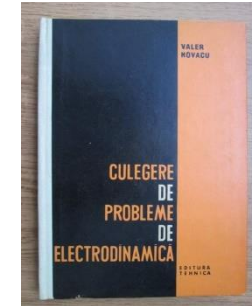
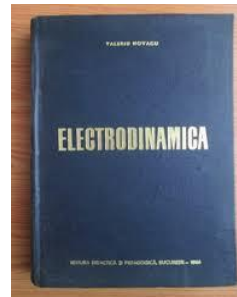


# Fizică teoretică - repere istorice



## Professor Valeriu Novacu (1909-1992)

- Corresponding Member of the Romanian Academy in 1948
- numerous courses cover quantum mechanics, electrodynamics, elementary particle physics, etc.



## Professor Mihai Gavrilă

- Corresponding Member of the Romanian Academy since 1974
- PhD student of Șerban Țițeica; thesis on *The Relativistic Theory of the Photoelectric Effect* published in Phys. Rev. 113, 514 (1959); this is the first article published by a Romanian author in this prestigious scientific journal.
- Mihai Gavrilă's academic career was impressive, as he quickly passed from Assistant Professor (in 1956) to Professor (in 1968).

# Fizică teoretică - repere istorice



## Academician Ioan-Ioan Popescu

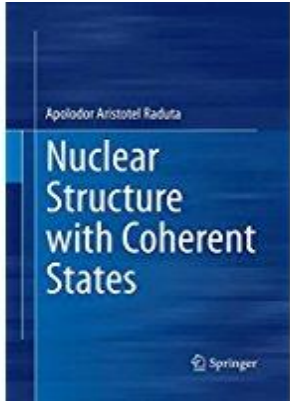
- Member of the Romanian Academy
- Rector of the University of Bucharest (1981-1989)
- Scientific contributions from plasma physics and laser spectroscopy to linguistics
- S. Olariu and I.I. Popescu, *The quantum effects of electromagnetic fluxes*, Reviews of Modern Physics **57**, 2, 339-436 (1985)



## Professor Gheorghe Nenciu

- Corresponding Member of the Romanian Academy since 2015
- Outstanding theoretical physicist with contributions in statistical mechanics, spectral theory for Schrödinger and Dirac operators, adiabatic invariants in classical and quantum mechanics,
- G. Nenciu, *Dynamics of band electrons in electric and magnetic fields...*, Reviews of Modern Physics **63**, 1, 91-128 (1991).

# Fizică teoretică - repere istorice



## Professor Apolodor Răduță

- Universally acknowledged internationally for his research on nuclear structure using the theory of coherent states
- Widely recognized for his mentorship of several generations of nuclear scientists that he prepared for scientific research

## Professor Viorica Florescu

- Well known for her work on photon scattering, in particular the elastic scattering of photons by electrons at high energies and nonlinear Compton scattering with laser pulses

## Professor Tudor Marian

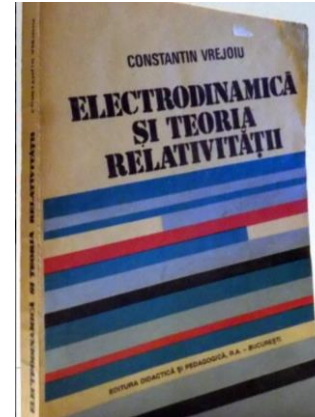
- outstanding results devoted to quantum information and technology which had a major impact on the international scientific community.



# Fizică teoretică - repere istorice

## Professor Constantin Vrejoiu

- Distinguished theoretical physicist who mentored numerous students
- Contributions on electromagnetic multipoles



## Professor Adrian Costescu

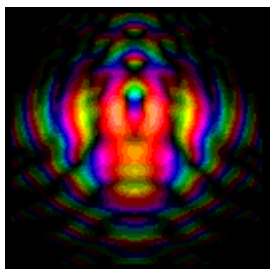
- Accomplished professor and mentor, well known for work on retardation and multipole effects in Rayleigh scattering by hydrogen-like ions at low and X-ray photon energies and

## Professor Lucian Burlacu

- Accomplished professor and mentor, well known for work on new analytic forms for the classical Bremsstrahlung angular distribution in the Coulomb case.



# Fizică teoretică și Matematici



## Fizică teoretică

Prof. univ. dr. Virgil BĂRAN  
Conf. univ. dr. Mihai DONDERA  
Conf. univ. dr. Iulia GHIU  
Conf. univ. dr. Mădălina BOCA  
Conf. univ. dr. Alexandru NICOLIN  
Lect. univ.dr. Cristian STOICA  
Lect. univ. dr. Roxana ZUS  
Lect. univ.dr. Victor DINU  
Lect. univ.dr. Mihai MARCIU  
Lect. univ.dr. Dragoș PALADE

## Matematici

Prof. univ. dr. Claudia TIMOFTE  
Conf. univ. dr. Ion ȘANDRU  
Conf. univ. dr. Radu SLOBODEANU  
Lect. univ. dr. Crina DĂSCĂLESCU  
Lect. univ. dr. Adrian STOICA

## Profesori emeriti, consultanți, colaboratori

Prof. univ. dr. Ion ARMEANU, Prof. univ. dr. Nicolae COTFAS, Prof. univ. dr. Doru ȘTEFANESCU,  
Conf. univ. dr. Francisc D. AARON, Conf. univ. dr. Radu-Paul LUNGU, Asist. univ. drd. Dorin DAVID,  
Dr. Adriana PALFFY, Dr. Zoltan GAGYI-PALFFY, Drd. Andreea CROITORU, Drd. Cristian IORGA,  
Drd. Sebastian Micluță-Câmpeanu, Drd. Ștefan GHINESCU + mulți alții

# Matematică, Fizică teoretică și computațională - studii de licență -

Real and Complex Analysis/  
Analiză reală și complexă

Algebra, Geometry, and Differential  
Equations Algebră, Geometrie și  
Ecuatii diferențiale

Equations of Mathematical Physics/  
Ecuatiile Fizicii matematice

Limbaje de programare

Processing of Physical Data and  
Numerical Methods /  
Prelucrarea datelor fizice și  
metode numerice

Methods and techniques of  
presenting the results in  
physics/ Metodeși tehnici  
de prezentare a  
rezultatelor în Fizică

Simulation methods in physics /  
Metode de simulare în Fizică

# Fizică teoretică - studii de licență -

Analytical Mechanics /  
Mecanică analitică

Quantum Mechanics/  
Mecanică cuantică

Electrodynamics and Theory of Relativity/  
Electrodinamică și teoria relativității

Thermodynamics and Statistical Physics/  
Termodinamică și Fizică statistică

Numerical methods in quantum mechanics/  
Metode numerice în mecanica cuantică

History of Physics/  
Istoria Fizicii

# Theoretical and Computational Physics/ Fizică teoretică și computațională - studii de masterat -

Quantum  
Statistical  
Physics

Simulation methods in  
theoretical physics

Interaction of laser  
radiation with matter

Quantum information and  
communication

Introduction to quantum  
theory of identical  
particles

Theory of nuclear systems  
and photonuclear reactions

Relativistic quantum  
mechanics and Quantum  
electrodynamics (QED)

# Theoretical and Computational Physics/ Fizică teoretică și computațională - studii de masterat -

Nonlinear dynamics, chaos,  
physics of complex systems

Introduction to gravity  
theory and cosmology

Introduction to quantum  
theory of fields (QFT)

Theory of hadronic matter  
in extreme conditions and  
quark-gluon plasma

Computational methods in  
modern/ high-energy physics

Non-abelian gauge theories  
and standard model (SM) of  
elementary particles

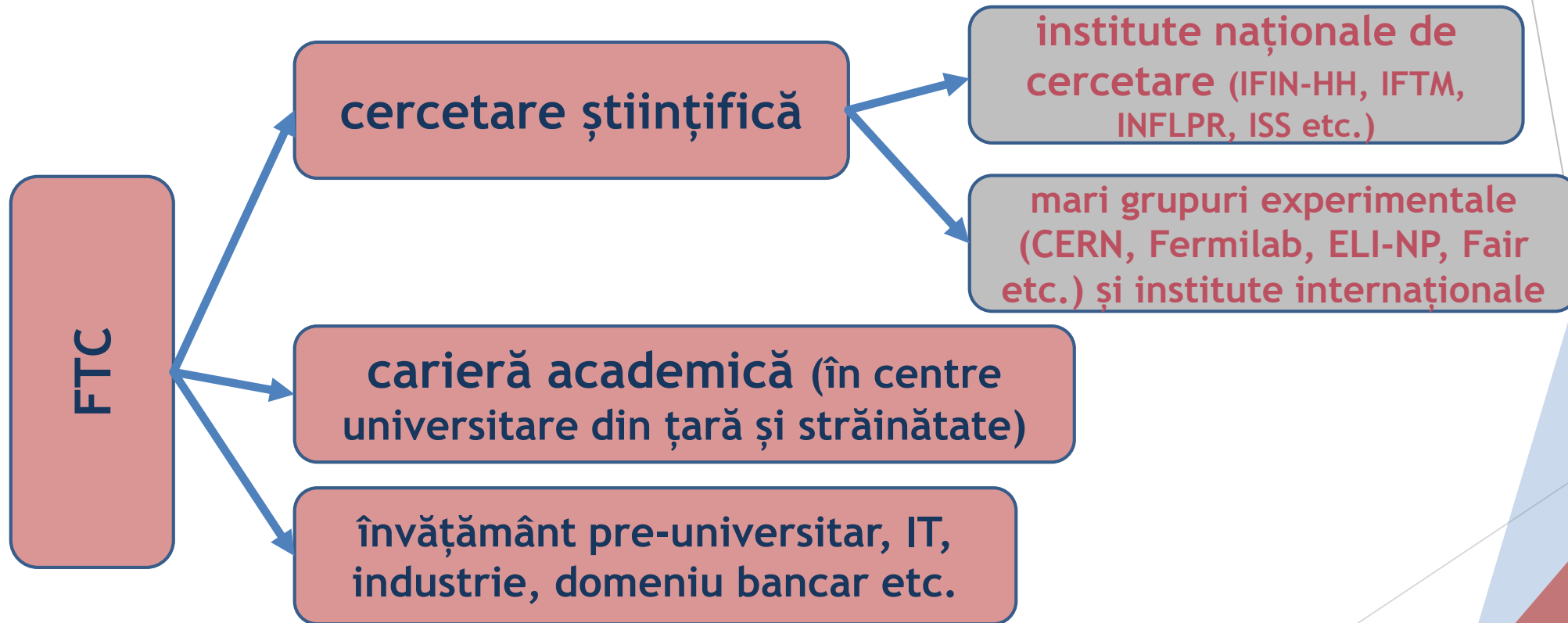
# Theoretical and Computational Physics/ Fizică teoretică și computațională - studii de doctorat -

**Peste 20 de doctoranzi**

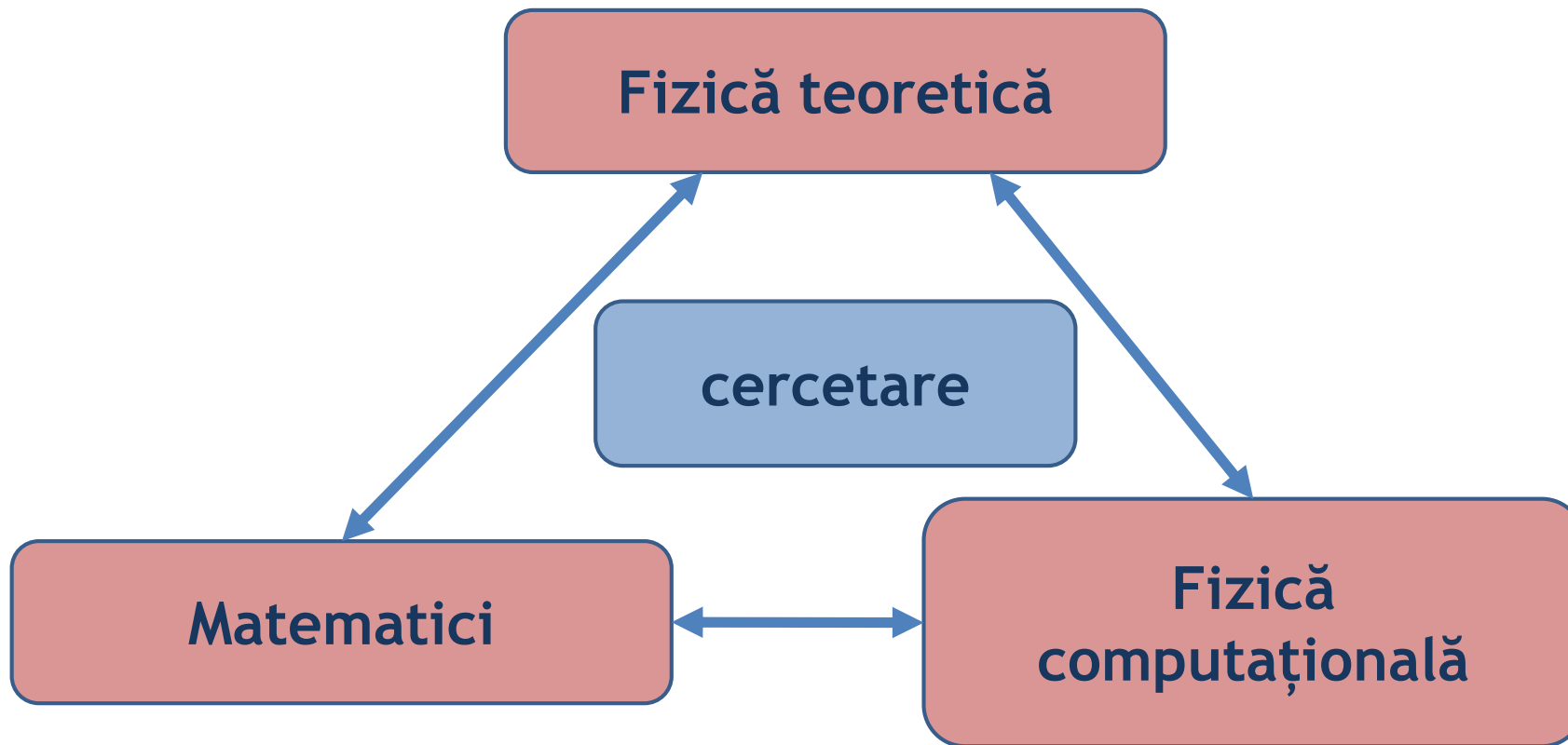
- Teze de doctorat - fizică teoretică și computațională
- Teze de doctorat în domenii emergente (e.g., informație cuantică, calculatoare cuantice)
- Teze de doctorat inter- și transdisciplinare (e.g., high performance computing, statistica cutremurelor din Vrancea, fonostatistica limbii Române)
- Teze de doctorat în colaborare cu marile grupuri experimentale (e.g., CERN)
- Access la infrastructură de calcul științific avansat de ultimă generație
- Teze de doctorat în co-tutelă cu cercetătorii de la Institutele de Fizică de pe Platforma Măgurele

# Fizică teoretică și computațională (FTC)

- oportunități în carieră -



# Grupul de Fizică teoretică și matematici - CERCETARE -

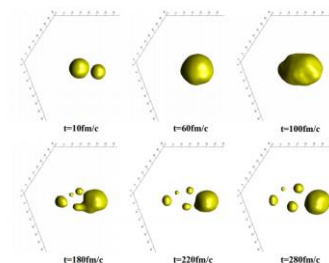




# Fizică teoretică și matematici - cercetare

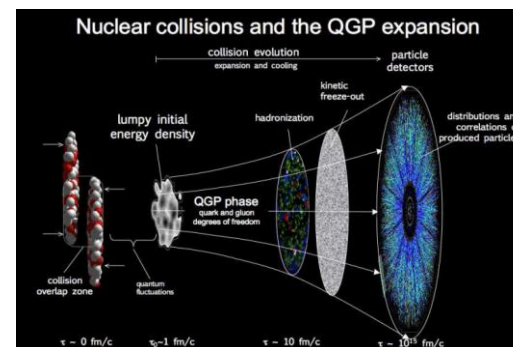
## Modelarea interacției luminii cu materia (subiecte de interes la ELI-NP)

- Studiul sistemelor atomice în câmpuri intense laser, electrodinamică cuantică
- Descrierea folosind modele de transport performante a luminii laser cu plasma
- (*high performance computing și metoda Particle-in-Cell, ecuații Vlasov*)
- Proprietăți ale luminii helicoidale, interacție cu clusteri metalici, plasmă și nuclee



## Modelarea sistemelor nucleare și subnucleare (subiecte de interes la ELI-NP, CERN și FAIR)

- Stări colective în sisteme cuantice, rezonanțe pigmeu și gigant dipolare la ELI-NP
- Descrierea fuziunii și fragmentării nucleelor în modele cinetice de neechilibru
- Dinamica expansiunii de cuarci și gluoni, ruperi spontane de simetrii



# Fizică teoretică și matematici - cercetare

## Sisteme cuantice în interacție

- Analiza corelațiilor și informației cuantice
- Dinamica gazelor cuantice ultra-rece, mișcări colective, condensarea Bose-Einstein
- Fenomene de pairing și clustering în sisteme mezoscopice și tranziții de fază

## Cosmologie și gravitație

- Modelarea dinamicii universului în prezența materiei și energiei întunecate
- Fluide clasice și relativiste

## Dinamică neliniară, haos și fizica sistemelor complexe

- Haos în sisteme clasice și cuantice
- Proprietăți statistice ale cutremurelor
- Proprietățile statistice ale structurilor muzicale
- Fonostatistica limbii române



# Grupul de Fizică teoretică și matematici - colaborări internaționale (selecție) -

University of Pittsburgh

Justus-Liebig-  
Universität Gießen

Université de  
Montpellier

University of Catania

Max-Planck-Institut für  
Kernphysik Heidelberg

Johannes Gutenberg-  
Universität Mainz

Universitatea  
Sapienza din Roma

Université de  
Lorraine-Metz

Universitatea  
Complutense din Madrid

...

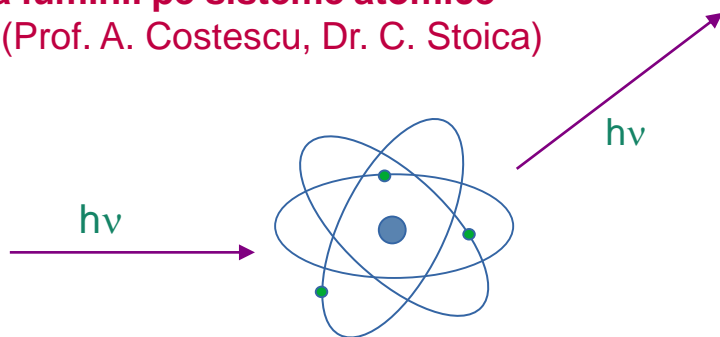
...

# Interactia câmpului electromagnetic cu sisteme atomice și subatomice

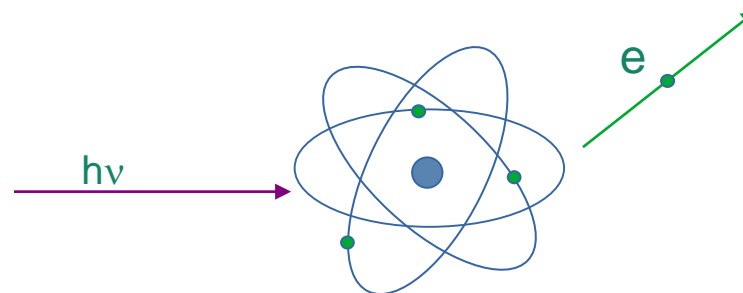
Se continua astfel cercetari stiintifice incepute inca de la sfarsitul anilor '50, prin seria de articole si studii fundamentale datorate Profesorilor M. Gavrilă, V. Florescu si A. Costescu.

In prezent, sunt abordate o serie de teme stiintifice, obtinandu-se rezultate originale deosebit de valoroase care au fost publicate in reviste stiintifice internationale si care se bucura de o larga apreciere cum ar fi

**Imprastierea Rayleigh (elastica) a luminii pe sisteme atomice**  
(Prof. A. Costescu, Dr. C. Stoica)



**Efectul fotoelectric (ionizarea unui atom prin absorbtia de radiatie)**  
(Prof. A. Costescu, Dr. C. Stoica)

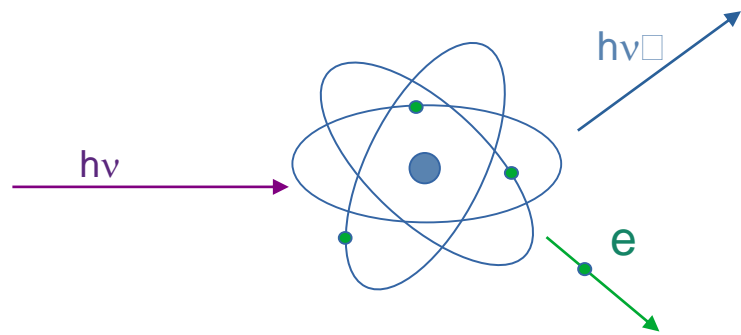


Tratare perturbativa (probabilitatea ca starea sistemului sa se schimbe in urma interactiei cu radiatia incidenta este mica, proportionala cu intensitatea acesteia).

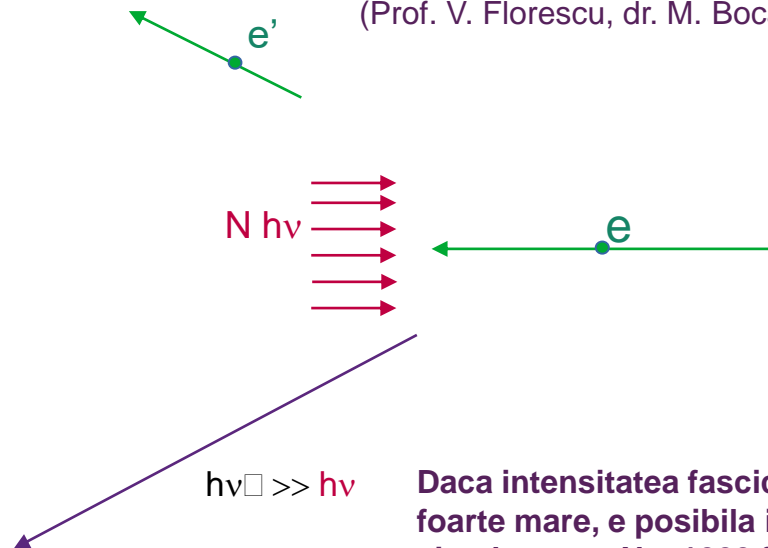
**Formalism valabil pentru intensitati mici.**

# Interactia câmpului electromagnetic cu sisteme atomice și subatomice

**Imprastierea Compton (inelastica) radiatiei de intensitate joasa pe atomi**  
(Prof. V. Florescu)



**Imprastierea inelastica a fotonilor pe electroni relativisti – efect Compton invers.**  
(Prof. V. Florescu, dr. M. Boca)



**Daca intensitatea fasciculului incident e foarte mare, e posibila interactia simultana cu  $N \sim 1000$  fotoni. Proces nelinear, tratamentul perturbativ nu mai e posibil**

**Cursurile si seminariile de Mecanica Cuantica Relativista, Electrodinamica Cuantica si Teoria Ciocnirilor de la Masteratul de Fizica Teoretica si Computationala sustin din punct de vedere didactic pregatirea viitorilor cercetatori pentru abordarea subiectelor deenumarate mai sus, precum si a altora, izvorite din necesitatea descrierii fenomenelor cele mai noi aparute in fizica contemporana.**

# Împrăștierea radiației laser intense pe electroni legați și liberi

Activități legate de procesul studiat:

- descrierea analitică a împrăștierii radiației, în cadrul teoriei cuantice nerelativiste, cu tratarea “exactă” a interacției electron – câmp laser incident
- dezvoltarea unor aproximații și modele simple și observarea valabilității lor
- investigații numerice (bazate pe expresia amplitudinii de tranziție) privitoare la distribuțiile spectrale și unghiulara ale fotonilor emiși.

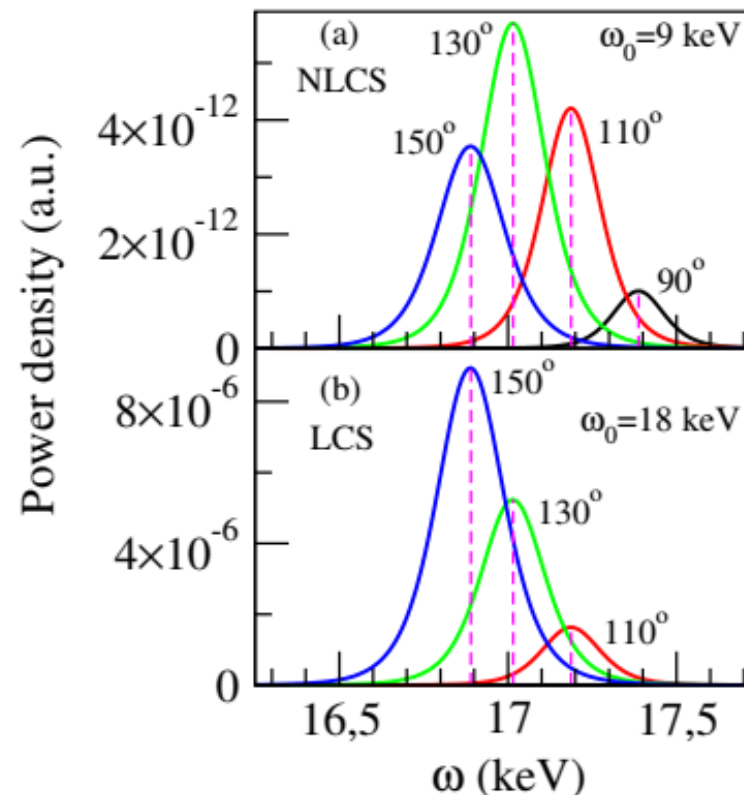


Figura: ilustrarea unor profile Compton pentru împrăștierea Compton **neliniară** (a) cu absorbția a doi fotoni, pe atom de Hidrogen, în aproximația impulsului. Comparatie cu împrăștierea Compton liniară (b) la frecvența laser dubla

# Fascicule laser “twisted” în interacție cu electroni

Radiatie “twisted” (helicoidala): radiatie electromagnetica avand proprietatea de a transporta **moment cinetic** pe directia de propagare

Interes dublu: fundamental, dar si aplicativ

Obiective principale ale temei:

- descrierea fasciculelor electromagnetice de tip twisted (Laguerre-Gauss, Bessel ...)
- studierea miscarilor electronilor liberi / legati in interactie cu fascicule elicoidale in functie de parametrii acestora (amplitudine, frecventa, durata)
- investigarea transferului de moment cinetic de la fascicule de tip twisted la sisteme mecanice, in regim clasic sau cuantic

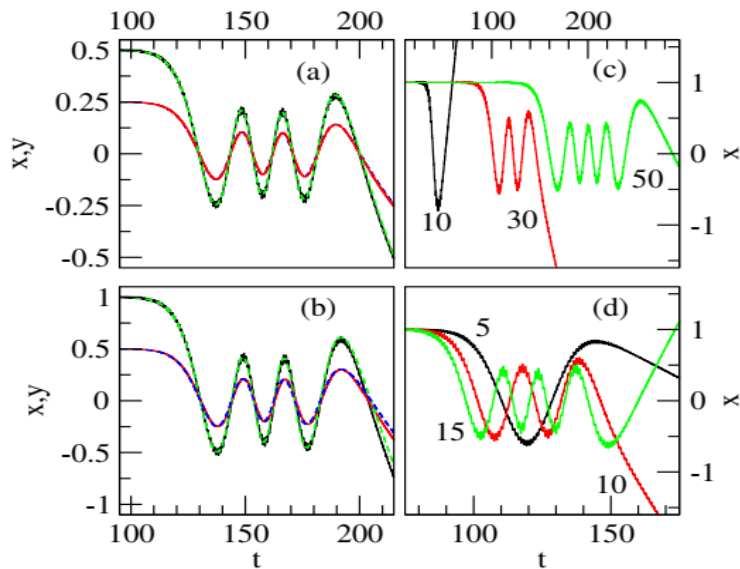
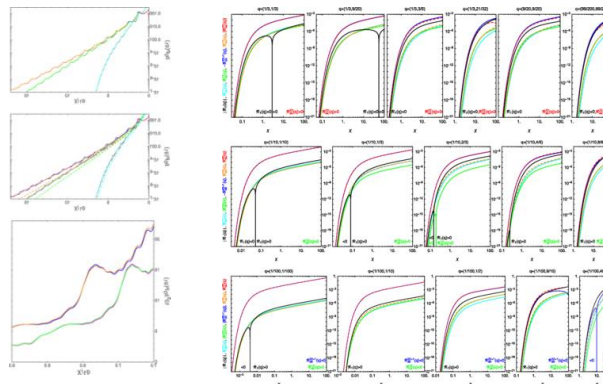
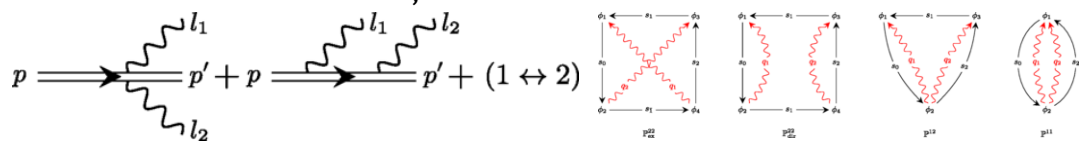


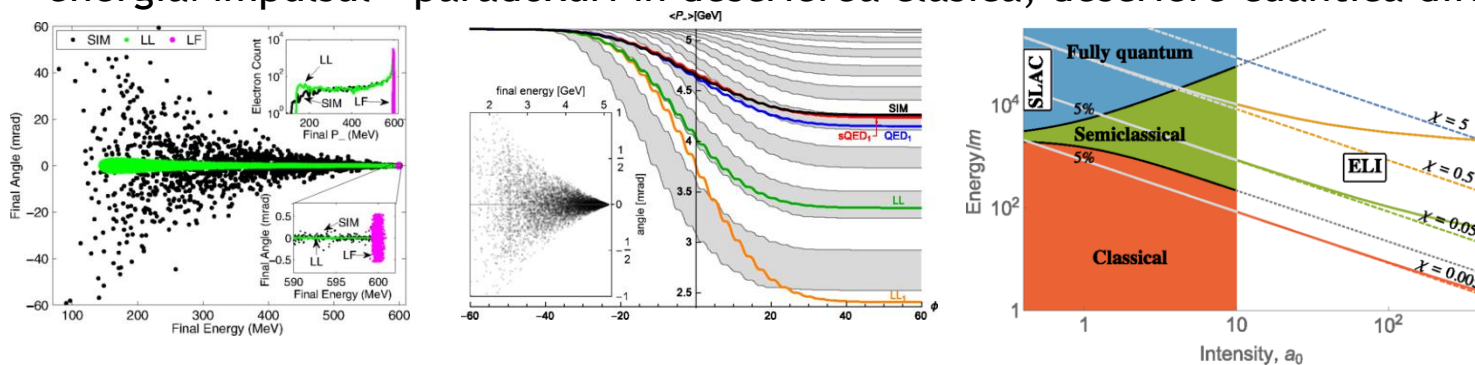
Figura: ilustreaza un efect de “capcana” dinamica, o particularitate interesanta a miscarilor clasice ale electronilor in planul transversal (coordonate  $x, y$ ) la directia de propagare a unui puls twisted - aici de tip Laguerre-Gauss (LG), avand polarizatie quasi-liniara in lungul axei  $Ox$ . Pe durata pulsului laser, peste oscilatia cu frecventa laser (vizibila in legea de miscare  $x(t)$ ) se suprapune o miscare de oscilatie a pozitiei medii a electronului in planul transversal.

# Electrodinamică cuantică nelineară\* în câmpuri ultraintense

Efectul Compton nelinear simplu și multiplu - emisia de fotoni de către o particulă încărcată ce trece printr-un câmp laser ultraintens - corecții instantanee și de schimb



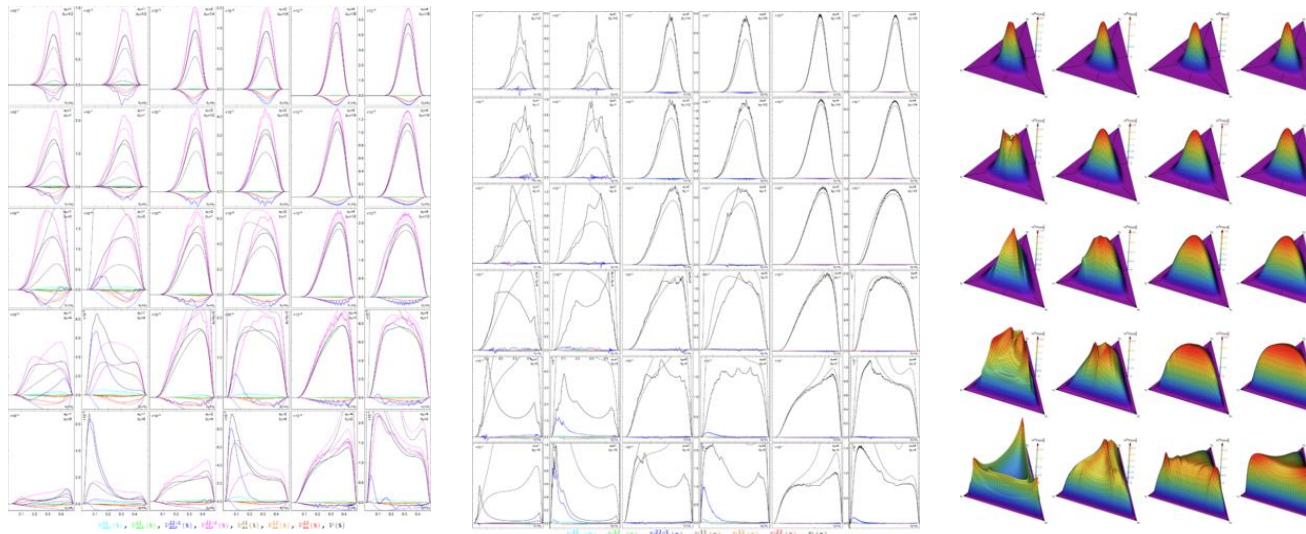
Reacția radiației - o particulă încărcată care emite radiație suferă un recul care îi modifică energia/impulsul - paradoxuri în descrierea clasică, descriere cuantică dificilă



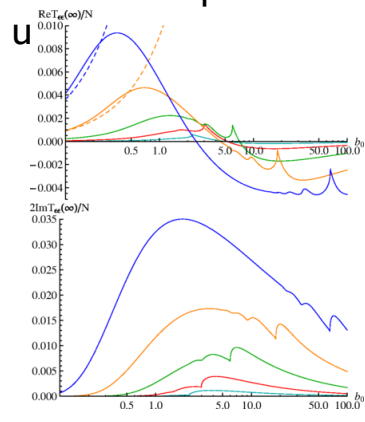
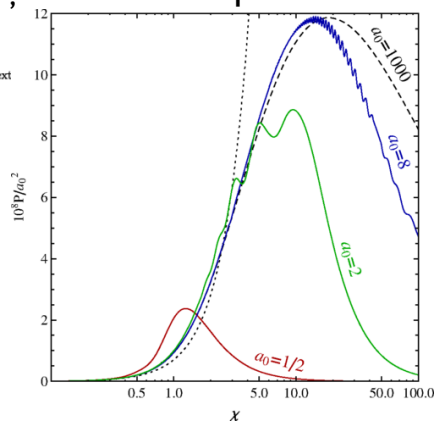
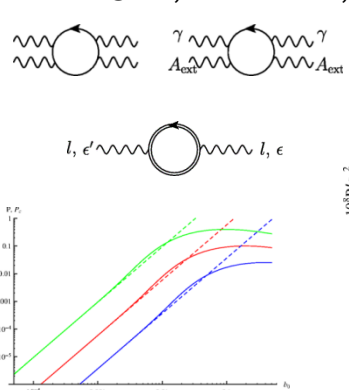


# Electrodinamică cuantică nelineară\* în câmpuri ultraintense

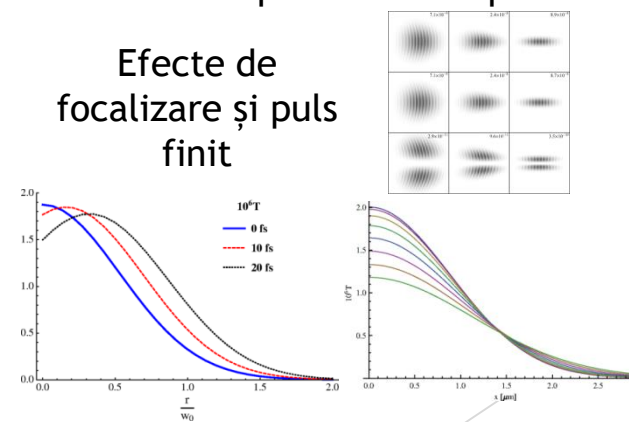
Efectul Trident- la trecerea printr-un câmp laser ultraintens, un electron produce o pereche electron-pozitron - corecții instantanee și de schimb importante pentru pulsuri scurte, pentru cele lungi doar la energii foarte mari



Birefrința vidului și crearea de perechi Breit-Wheeler apar la trecerea unui foton printr-un câmp laser



Efecte de focalizare și puls finit



# Teoria informației cuantice

- ▶ Teoria informației clasice + Mecanica cuantica = **Teoria Informației Cuantice**
- ▶ **Scopul:** sa studieze metode de transmitere, manipulare si stocare a informației într-un mod in care fizica clasica nu reuseste, folosind principiile mecanicii cuantice.
- ▶ **Domenii de cercetare** in Teoria Informației Cuantice:
  - ▶ Algoritmi cuantici;
  - ▶ Calculatoare cuantice;
  - ▶ Inseparabilitatea ca o resursa fizica;
  - ▶ Procese: codificarea superdensa, criptografia cuantica, teleportarea cuantica, transferul inseparabilitatii
- ▶ In **teoria clasica a informației** se foloseste notiunea de **bit**, care joaca rolul de unitate de informatie clasica. Acesta poate lua una dintre valorile 0 sau 1.
- ▶ Prin analogie cu bitul se introduce conceptul de **QUBIT**, adica quantum bit, ca unitate de informatie cuantica.

# Teoria informației cuantice

- Un **qubit** este un sistem cuantic pentru care dimensiunea spațiului starilor este egala cu doi:

$$|\Psi\rangle = a |0\rangle + b |1\rangle.$$

Exemple:

- (i) Particula cu **spinul 1/2**:  $|0\rangle = |\text{spin-up}\rangle$  și  $|1\rangle = |\text{spin-down}\rangle$ .
- (ii) Fotonul - **polarizarea**:  $|0\rangle = |\text{Horizontal}\rangle$  și  $|1\rangle = |\text{Vertical}\rangle$ .
- (iii) Atom cu **doua nivele**:  $|0\rangle = |\text{Ground}\rangle$  și  $|1\rangle = |\text{Excited}\rangle$ .

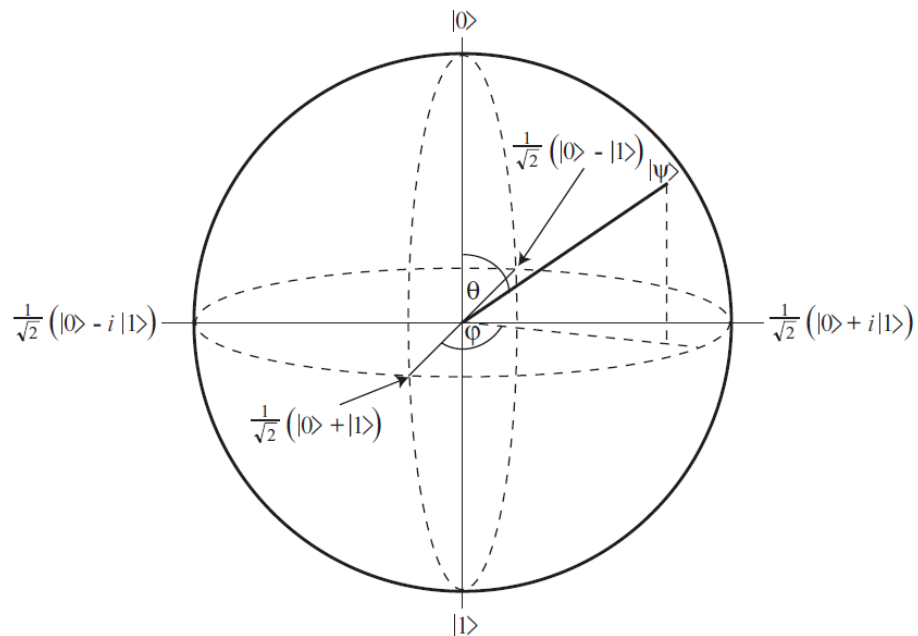
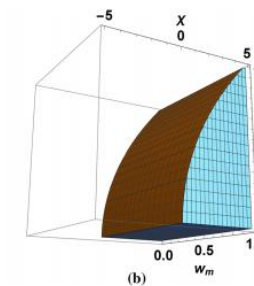
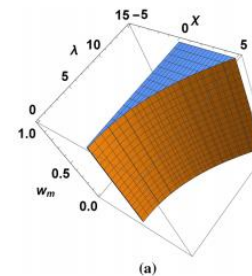
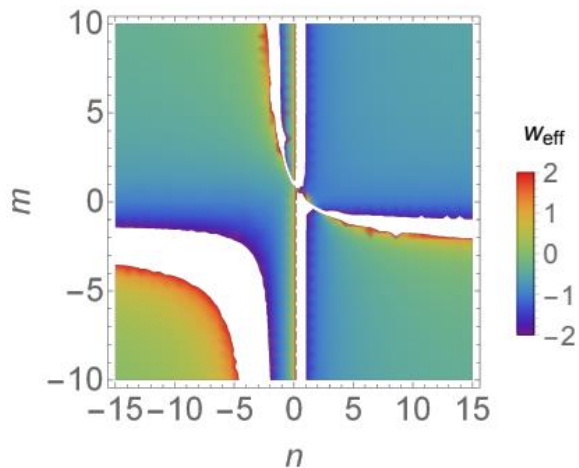
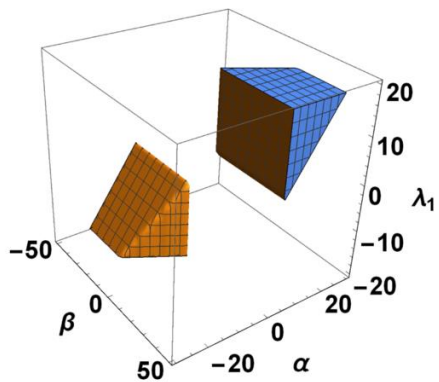
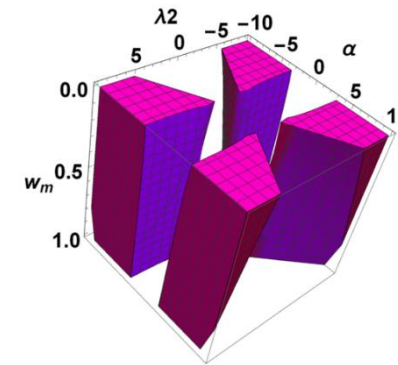


Fig. Orice qubit este reprezentat de un punct pe sfera Bloch.

# Directii de cercetare în teorii gravitaționale moderne

- Teoria gravitației
- Dinamica materiei obscure
- Dinamica energiei întunecate
- Teorii scalare  $F(R)$ ,  $F(P)$ ,  $F(G)$
- Cuantificarea gravitației



# Fluide clasice și relativiste

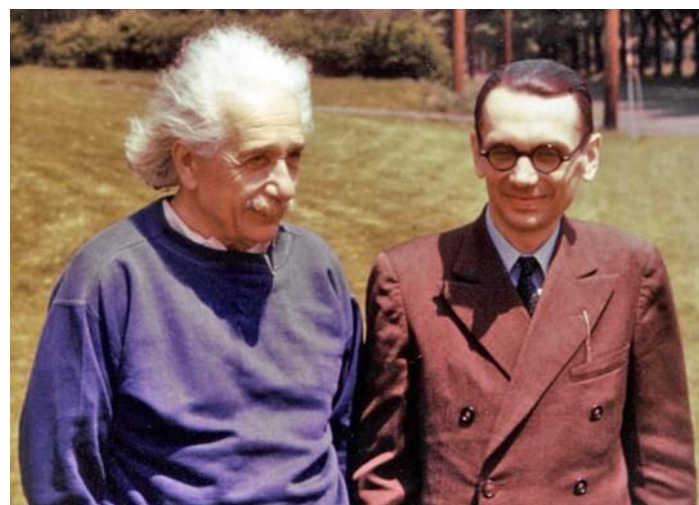
- ▶ Universul la scară mare poate fi descris ca un fluid (omogen și) izotrop guvernat de ecuațiile lui Einstein. Expansiunea volumică a acestui fluid este una accelerată și. În schimb, vorticitatea sa are o valoare măsurată extrem de mică. Se exclud reciproc expansiunea și vorticitatea (rotația) acestui fluid ca o consecință a ecuațiilor lui Einstein? Întrebarea a fost abordată pentru prima dată de Gödel (1950), iar astăzi încă nu cunoaștem decât răspunsuri parțiale (de ex. pentru o ecuație de stare liniară ce leagă presiunea  $p$  de densitatea de energie  $\mu$  a fluidului\*). Răspunsul definitiv rămâne o provocare teoretică în domeniul cosmologiei.

$$R_{ab} - \frac{1}{2}R g_{ab} = T_{ab},$$

$$T_{ab} = (\mu + p)u_a u_b + p g_{ab}.$$

§ Premiul Nobel 2011 - Perlmutter, Riess & Schmidt

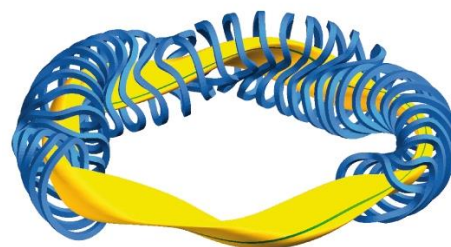
\* Slobodeanu, R. (2014). Shear-free perfect fluids with linear equation of state. *Classical and Quantum Gravity*, 31(12), 125012.



# Fluide clasice și relativiste

Soluțiile de echilibru magnetohidrostatic înțelese la ora actuală prezintă o formă sau alta de simetrie.

Simetria acestor soluții este o necesitate? Cu alte cuvinte, există soluții asimetrice ale ecuațiilor de mai jos, soluții ce ar putea descrie configurații de echilibru ale plasmă magnetizate cu proprietăți mai bune de *confinement*, utilizabile pentru crearea de reactoare de fuziune?

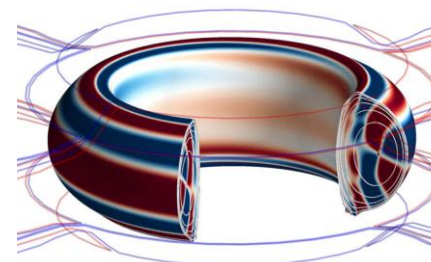


## Conjectura lui H. Grad, 1967

$$(\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} = \nabla p$$

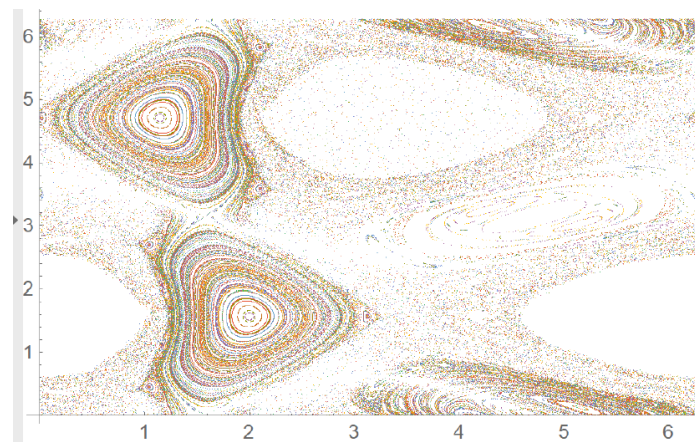
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0,$$

Alăturat schița unui tokamak, dispozitiv pentru obținerea de reacții controlate de fuziune nucleară, ce exploatează simetria axială a soluțiilor. Mai sus, un stelerator ce nu mai este rigid simetric, ci doar quasi-simetric



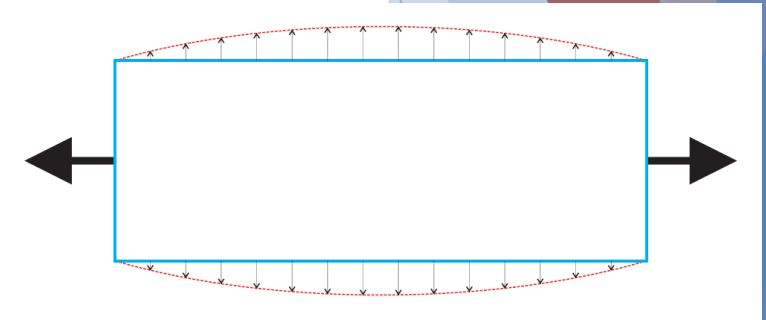
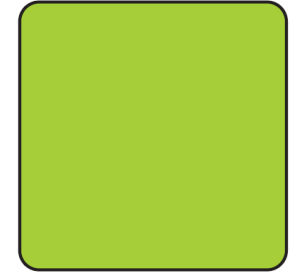
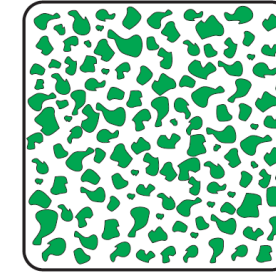
- Studiul dinamicii haotice în câmpuri Beltrami (soluții staționare particulare numite *force-free* pentru ecuațiile Euler de mai sus) ca prototip pentru fenomenul de turbulență.

Alăturat o secțiune Poincaré ce permite vizualizarea liniilor de curent ale unui astfel de câmp. Zonele cu densitate uniformă de puncte reprezintă traiectorii haotice. Celelalte puncte confirmă organizarea traiectoriilor pe toruri numite KAM.



# Teoria omogenizării și aplicații (materiale compozite, medii poroase, biologie)

- Homogenization theory is concerned with the study of partial differential equations with rapidly oscillating coefficients. It is a **rigorous version of averaging in P.D.E.'s** and represents an essential tool for understanding the macroscopic properties of systems having a very complicated microscopic structure. Homogenization can be sought of being the study of the relationships between the local structure of a highly heterogeneous medium and its macroscopic behavior (a homogeneous medium).
- **Applications** to: composite materials, elasticity problems, diffusion processes in porous media, physical and biological sciences. Homogenization can justify both known and, also, **new models** arising as effective limits of complex microscopic problems.
- **I. Negative Poisson ratio materials.** Common materials compress vertically when elongated horizontally (they have positive Poisson ratio). Homogenization theory **predicted** materials with negative Poisson ratio, i.e. materials which fatten vertically when one stretches them horizontally.
- **Examples** of practical applications: the **cork of a wine bottle** or **auxetic materials** that can be used in the design of transducers.

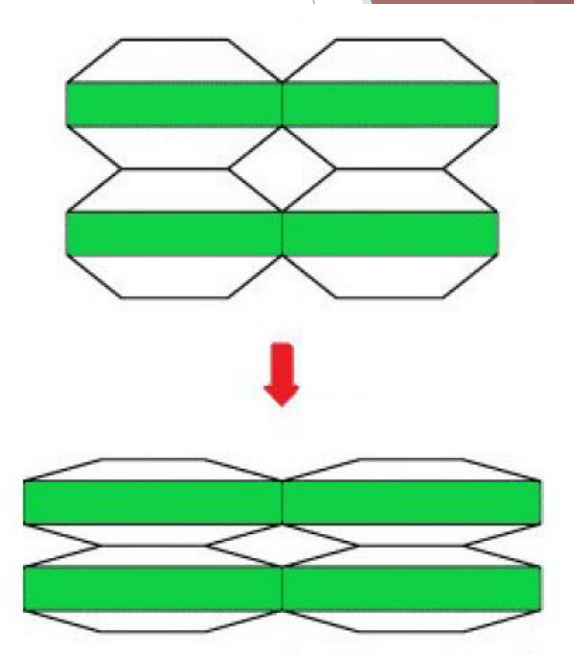


# Teoria omogenizării și aplicații (materiale compozite, medii poroase, biologice)

**II. Negative effective thermal expansion materials** (the material shrinks when heated). Such a material was obtained for **laminated structures**, made up of stratified materials whose elastic and thermoelastic properties are very different and vary only in one direction. A **proper choice of the thickness of the alternating layers** leads to the **contractile deformations of the composite in the cross-layer direction when heated**.

**Applications:** designing materials with controlled thermal expansion properties. For instance, one can design special dental fillings made of a mixture of materials with positive and negative thermal expansion, such that the overall expansion is tailored to that of tooth enamel. This phenomenon occurs also in complex metal oxides, polymers, and zeolites.

- One can mix a negative thermal expansion material with a normal one which expands when heated. It is possible to design a **zero expansion composite material**.

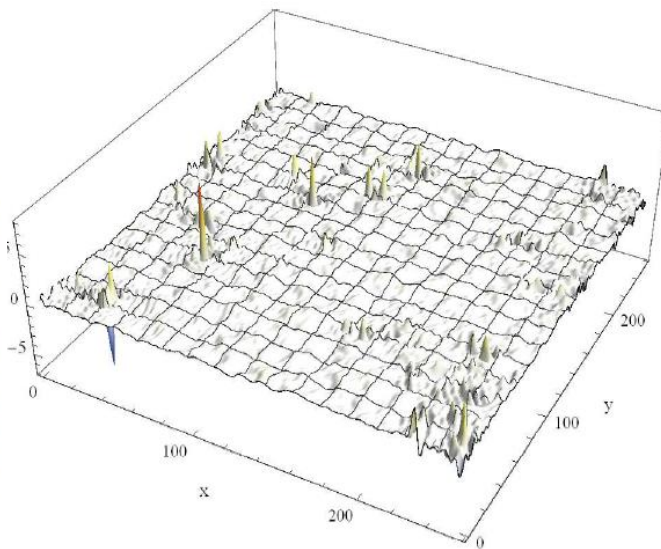
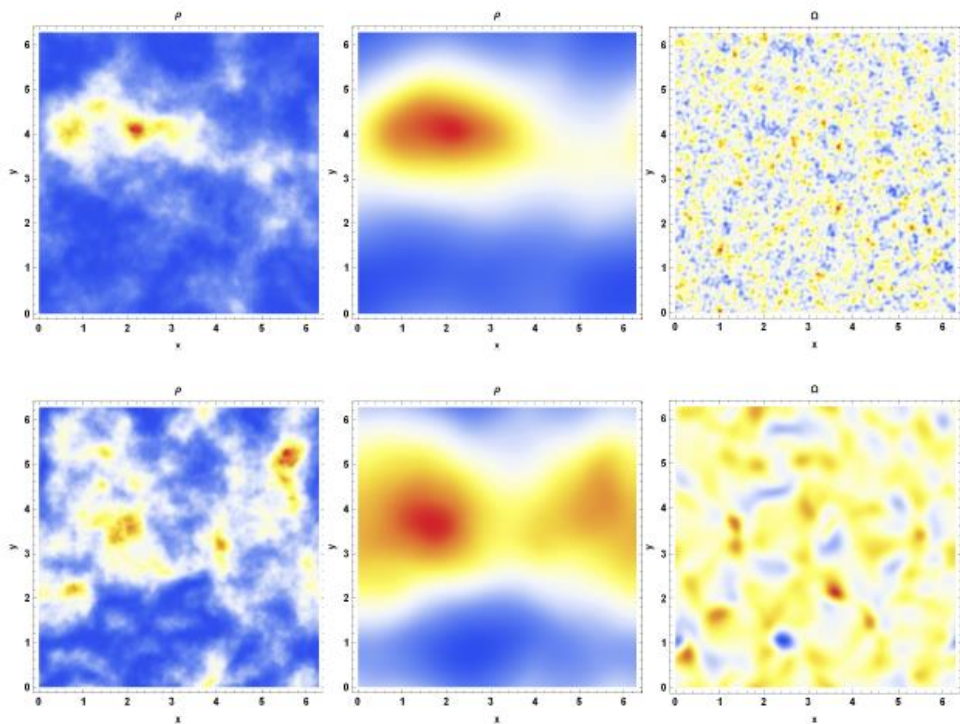




# Fenomene de transport în studiul plasmelor cuantice

$$iH\partial_t\psi = \frac{(iH\nabla + \mathbf{A})^2}{2}\psi + (\varphi + g)\psi$$

$$\nabla^2\varphi = |\psi|^2 - 1$$

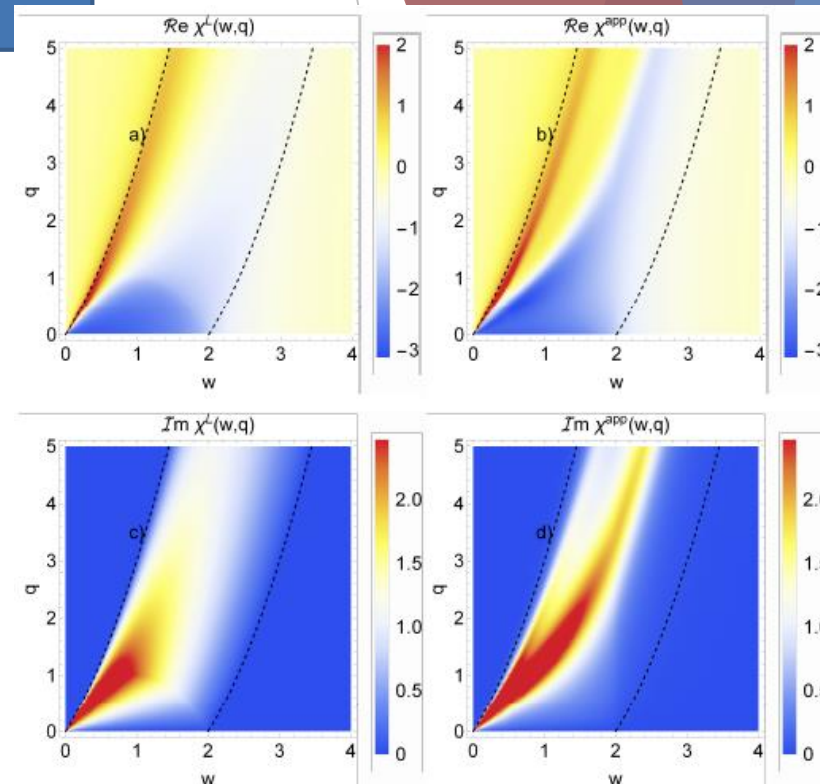


Quantum vorticity

$$\partial_t n + \nabla \cdot \mathbf{j} = 0$$

$$\partial_t \mathbf{j} + \nabla \cdot \left( \frac{\mathbf{j} \otimes \mathbf{j}}{n} \right) + \frac{n}{m} \nabla v_{eff} + \nabla \cdot \hat{\Pi} = 0.$$

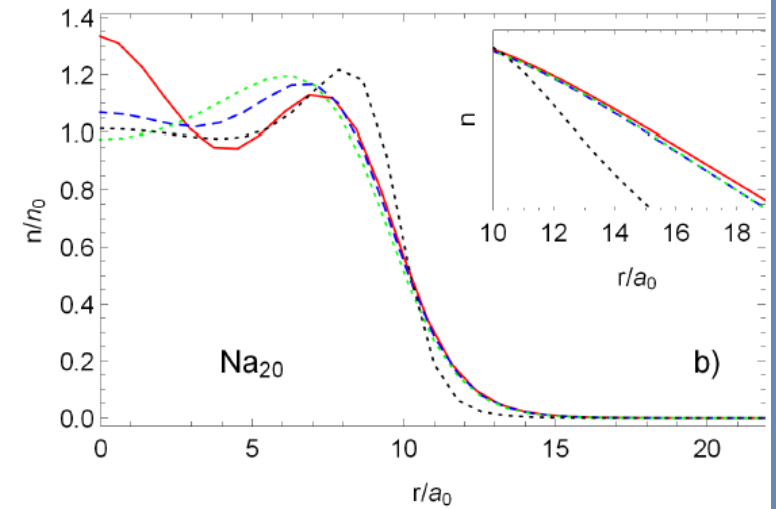
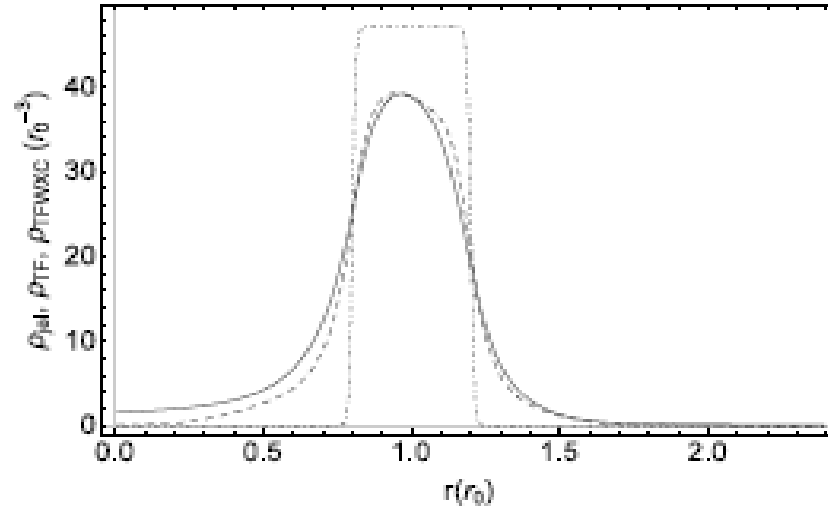
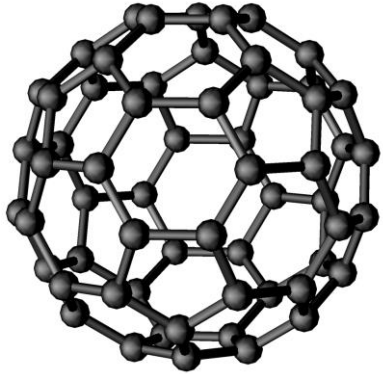
Quantum hydrodynamic Models



Approximations of Linhard function

# Fenomene de transport în studiul plasmelor cuantice

C60 fullerene



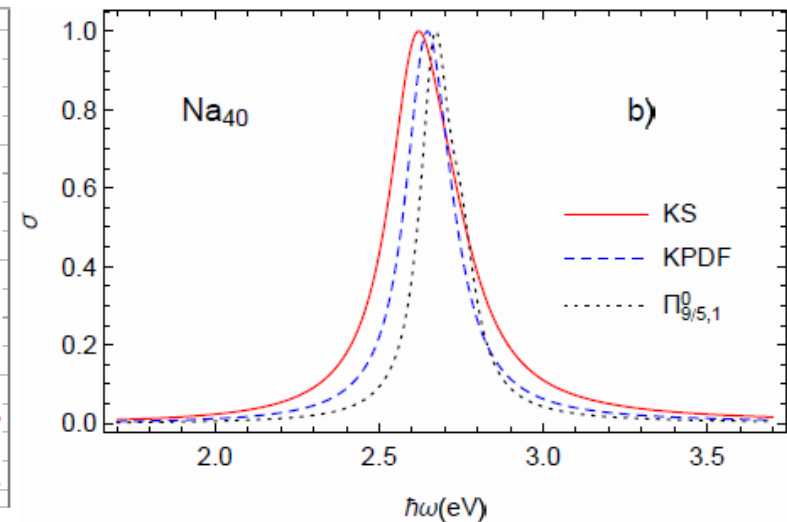
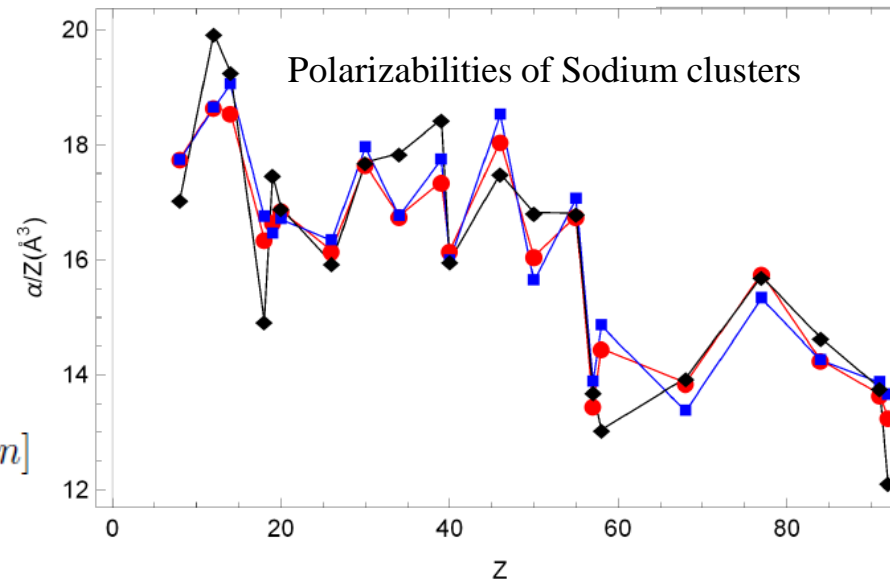
$$\hat{h} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V_{KS}(\mathbf{r}),$$

$$V_{KS}(\mathbf{r}) = V_{ion}(\mathbf{r}) + V_H(\mathbf{r}) + V_{xc}(\mathbf{r}).$$

Density Functional Theory

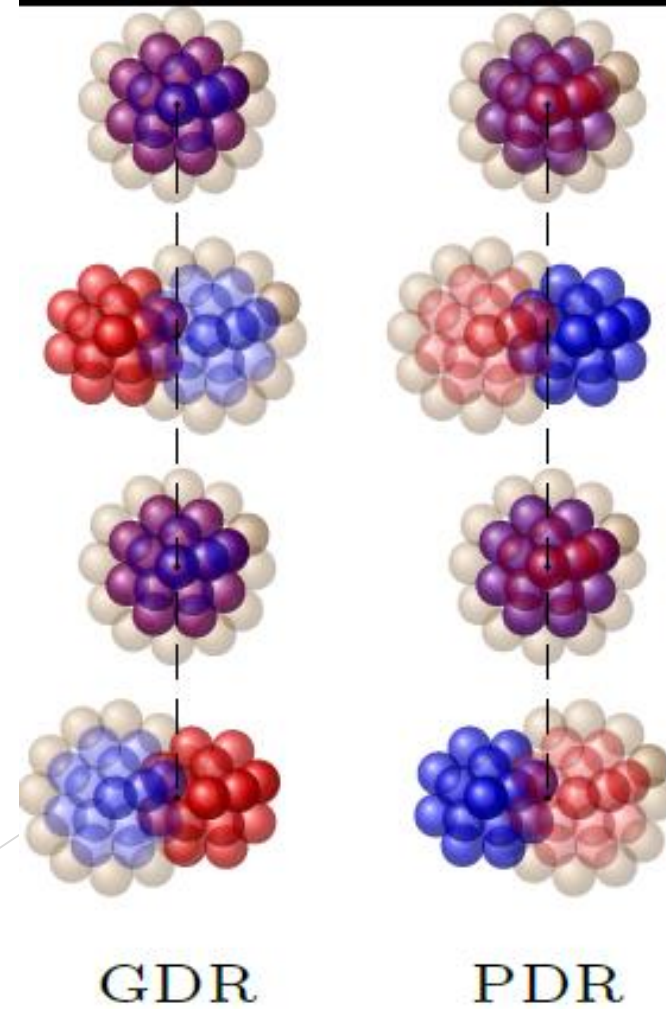
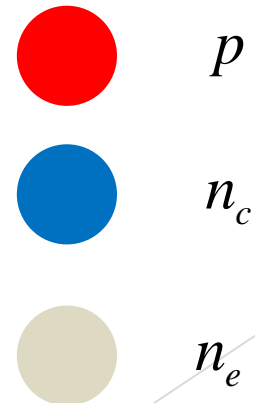
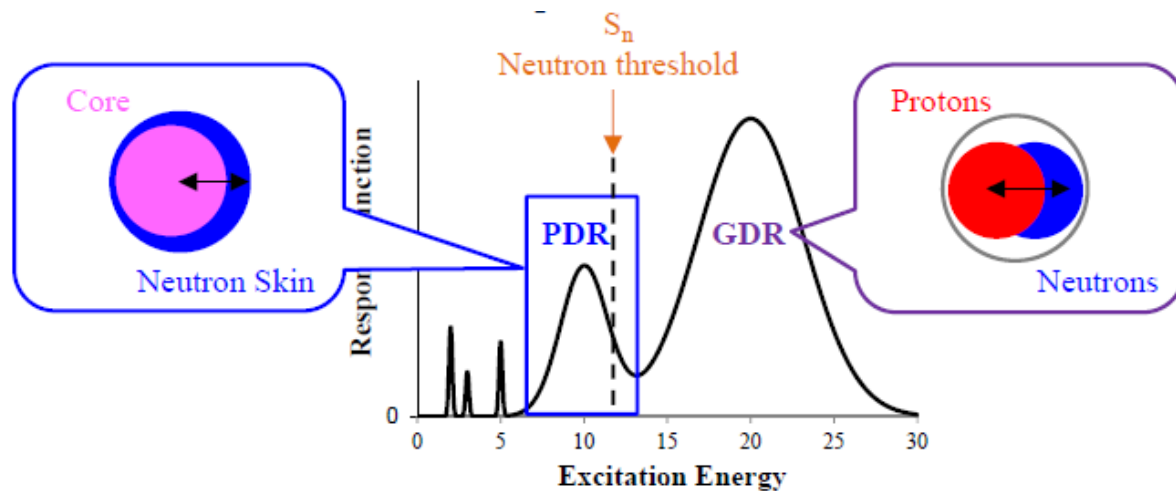
Orbital Free DFT

$$\hat{\Pi}[n] = -\frac{\hbar^2}{4m^2} n \nabla \otimes \nabla \ln n + P_{TF}[n] \hat{1} + \hat{\Pi}_{NL}[n]$$

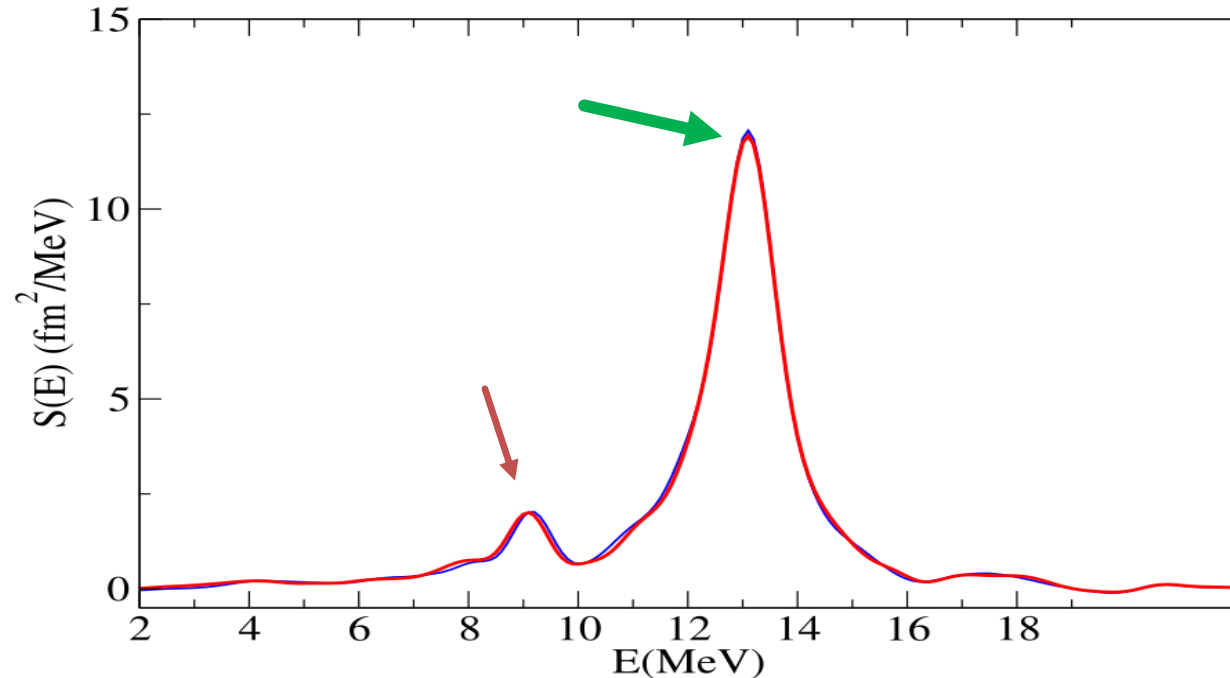
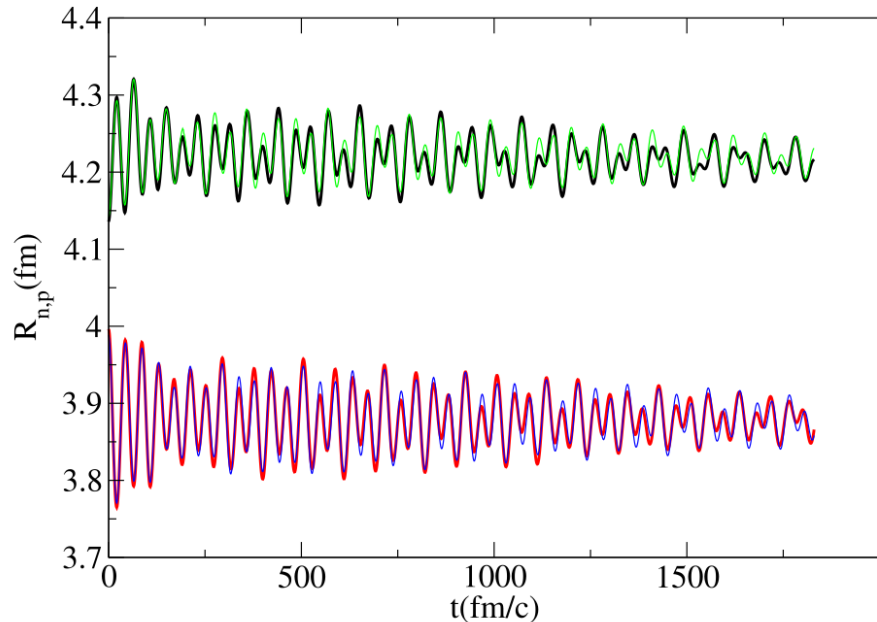


# Rezonanțe pigmeu și gigant dipolare

- Proprietățile acestor moduri, în special energia de excitare, sunt de maxim interes experimental la ELI-NP
- Studiul numeric al acestor moduri s-a realizat folosind metode particulei test pentru ecuația Vlasov, atingând 8000 de particule test pentru fiecare nucleon. Acestea sunt *cele mai precise rezultate numerice existente cu cele mai multe particule test*



# Rezonanțe pigmeu și gigant dipolare

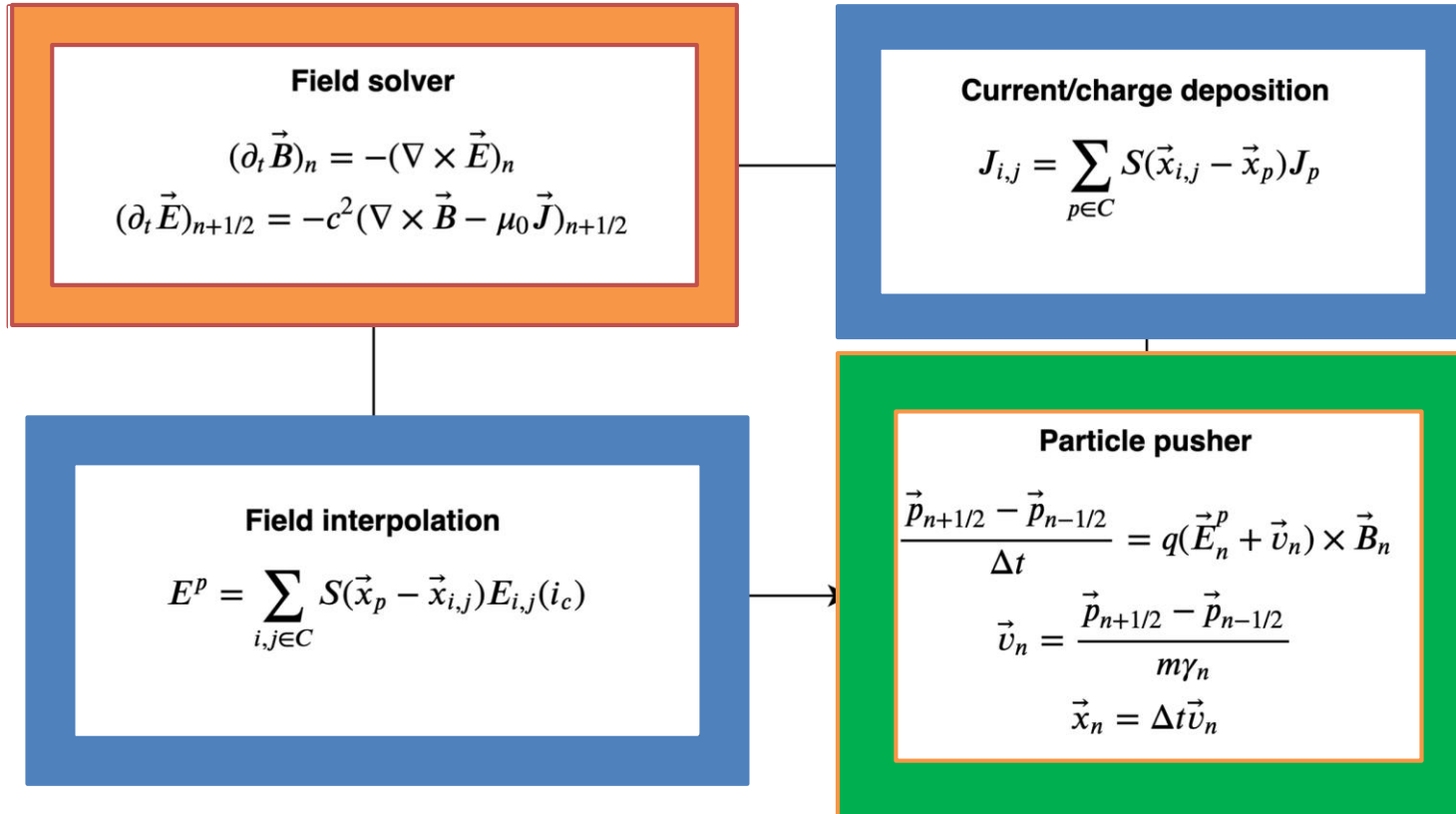


- Verificarea stabilității metodei numerice prin monitorizarea razei medii a sferelor de neutroni și protoni

Departamentul de Fizica teoretică, Matematici, Optică, Plasmă, Laseri

- Funcția de răspuns a sistemului prezintă două maxime ce corespund *pygmy dipole resonance* și *giant dipole resonance*
- Am verificat numeric că funcția de răspuns are aceste două maxime vizibile pentru o serie largă de nuclee atomice ( $^{68}\text{Ni}$ ,  $^{78}\text{Ni}$ )

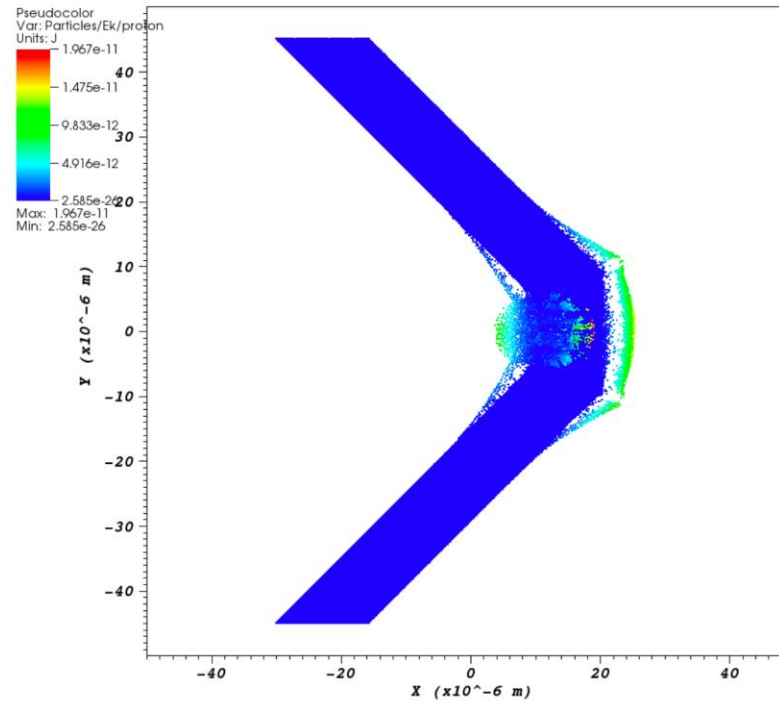
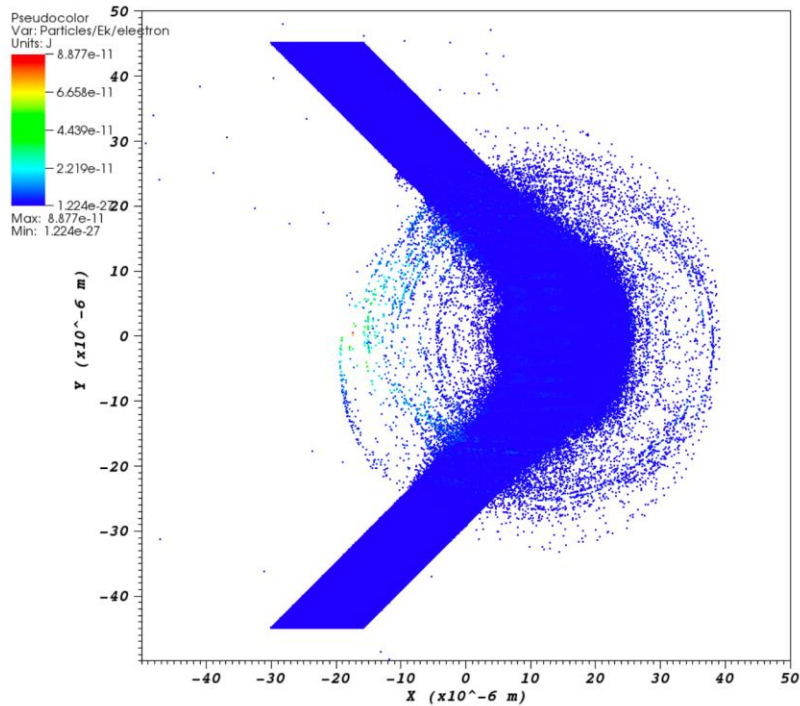
# Simulări de tip Particle-in-Cell



Simulările de tip *particle-in-cell* se bazează pe

- rezolvarea ecuațiilor ce descriu ansambluri de particule fizice, privite ca particule individuale
- rezolvarea ecuațiilor de câmp (ecuații de tip Maxwell)
- o manieră selfconsistentă de a cupla dinamica particulelor de ecuațiile de câmp

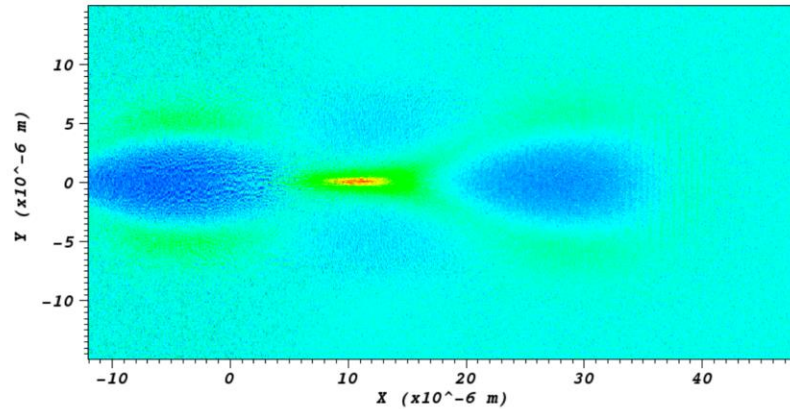
# Rezultate simulări *particle-in-cell*. Ținte solide



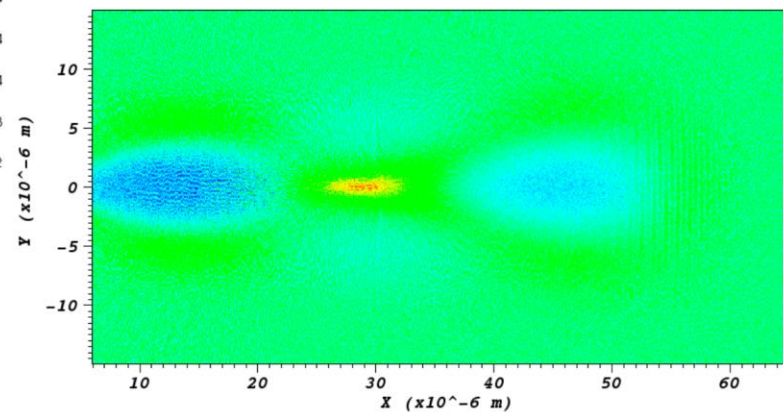
- Energia cinetică a electronilor (stânga) și protonilor (dreapta) după interacția unui puls laser cu profil gaussian, de durată 25 fs, lungime de undă 800 nm și intensitate  $10^{22}$  W/cm<sup>2</sup>, cu o țintă solidă (plastic,  $n=40n_c$ ).
- Simulările sunt bidimensionale și au fost efectuate cu EPOCH
- Simulările au fost făcute pe un domeniu de  $2750 \times 2750$  celule

# Rezultate simulări *particle-in-cell*. Ținte gazoase

Pseudocolor  
Var: Derived/Number\_Density/electron  
Units: 1/m^3  
3.717e+24  
2.797e+24  
1.877e+24  
9.568e+23  
3.682e+22  
Max: 3.717e+24  
Min: 3.682e+22



Pseudocolor  
Var: Derived/Number\_Density/electron  
Units: 1/m^3  
2.627e+24  
1.991e+24  
1.354e+24  
7.182e+23  
8.200e+22  
Max: 2.627e+24  
Min: 8.200e+22



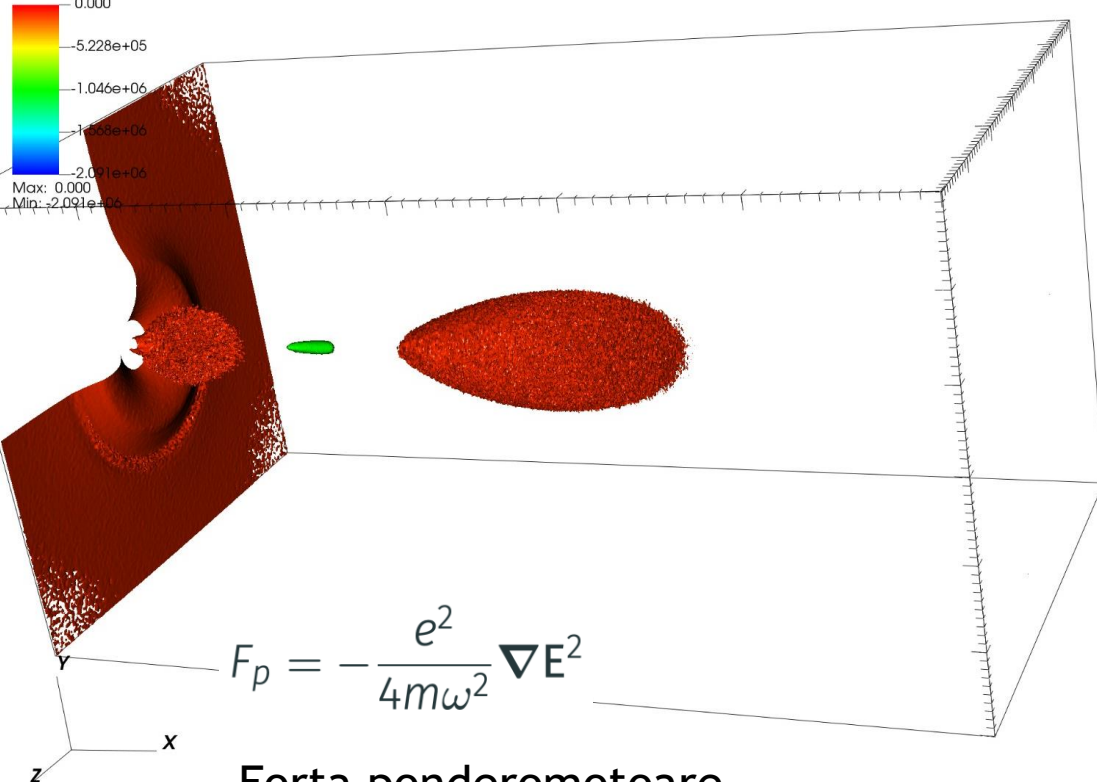
$$F_p = -\frac{e^2}{4m\omega^2} \nabla E^2$$

- Densitatea electronilor dintr-o țintă gazoasă ( $n=10^{-3}n_c$ ) la două momente de timp după interacția unui puls laser cu profil gaussian, de durată 25 fs, lungime de undă 800 nm și intensitate  $10^{18}$  W/cm<sup>2</sup>
- Ținta gazoasă este o plasmă de He de densitate joasă, într-un domeniu dreptunghiular de 60 μm × 30 μm, de tip *moving window*
- Protonii sunt mult mai grei, dinamica lor e neglijabilă
- În dreptunghiul de marcaj se observă apariția jetului de electroni accelerați care se deplasează prin plasmă
- Simulările sunt bidimensionale și au fost efectuate cu EPOCH
- Simulările au fost făcute pe un domeniu de 1500 × 300 celule

# Rezultate simulări *particle-in-cell*. Ținte gazoase

DB: 0017.sdf  
Cycle: 1541 Time: 1.70012e-13

Pseudocolor  
Var: Derived/Charge\_Density/electron  
Units: C/m<sup>3</sup>



$$F_p = -\frac{e^2}{4m\omega^2} \nabla E^2$$

Forța ponderomotoare

- Densitatea de sarcină dintr-o țintă gazoasă
- Ținta gazoasă este o plasmă de He de densitate joasă, într-un domeniu dreptunghiular de 60 μm × 30 μm × 30 μm, de tip *moving window*
- Protonii sunt mult mai grei, dinamica lor e neglijabilă
- În dreptunghiul de marcaj se observă apariția jetului de electroni accelerați care se deplasează prin plasmă
- Simulările sunt tridimensionale și au fost efectuate cu EPOCH
- Simulările au fost făcute pe un domeniu de 1500 × 300 × 300 celule



# Haos cuantic și clasic

## Classical

$$H_{cl} = \frac{A}{2}(p_0^2 + p_2^2) + \frac{A}{2}(q_0^2 + q_2^2) + \frac{B}{\sqrt{2}}q_0(3q_2^2 - q_0^2) + \frac{D}{4}(q_0^2 + q_2^2)^2$$

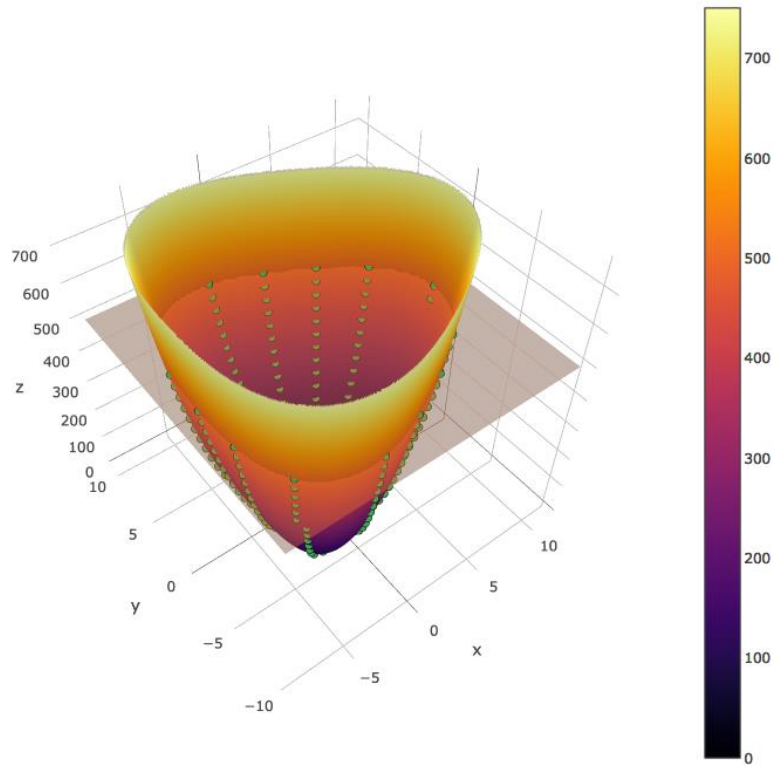
## Quantum Hamiltonian

$$\begin{aligned} H_B = & A \left( a_0^\dagger a_0 + a_2^\dagger a_2 \right) + \frac{B}{4} \left[ \left( 3a_0^\dagger a_2^{\dagger 2} + 3a_0 a_2^2 - a_0^{\dagger 3} - a_0^3 \right) \right. \\ & \left. + 3 \left( a_0 a_2^{\dagger 2} + a_0^\dagger a_2^2 - a_0^\dagger a_0^2 - a_0^{\dagger 2} a_0 + 2a_0 a_2^\dagger a_2 + 2a_0^\dagger a_2^\dagger a_2 \right) \right] \\ & + \frac{D}{16} \left[ 6 \left( a_0^{\dagger 2} a_0^2 + a_2^{\dagger 2} a_2^2 \right) + 2 \left( a_0^2 a_2^{\dagger 2} + a_0^{\dagger 2} a_2^2 \right) + 8a_0^\dagger a_0 a_2^\dagger a_2 \right. \\ & + 4 \left( a_0^\dagger a_0^3 + a_0^{\dagger 3} a_0 + a_2^\dagger a_2^3 + a_2^{\dagger 3} a_2 + a_0^2 a_2^\dagger a_2 + a_0^{\dagger 2} a_2^\dagger a_2 + a_0^\dagger a_0 a_2^2 + a_0^\dagger a_0 a_2^{\dagger 2} \right) \\ & \left. + \left( a_0^{\dagger 4} + a_0^4 + a_2^{\dagger 4} + a_2^4 + 2a_0^{\dagger 2} a_2^{\dagger 2} + 2a_0^2 a_2^2 \right) \right]. \end{aligned}$$

(2)

The Hamiltonian describes the constrained motion of the vibrational quadrupole degrees of freedom of nuclear surface.

# Haos cuantic și clasic



The initial conditions generated on the constant energy surface.

All numerical simulations were done in Julia.

The ODE-solver was Verner9 which has good energy conservancy and is faster than symplectic integrators.

Lyapunov exponent is computed using DynamicalSystems.jl package written in Julia.

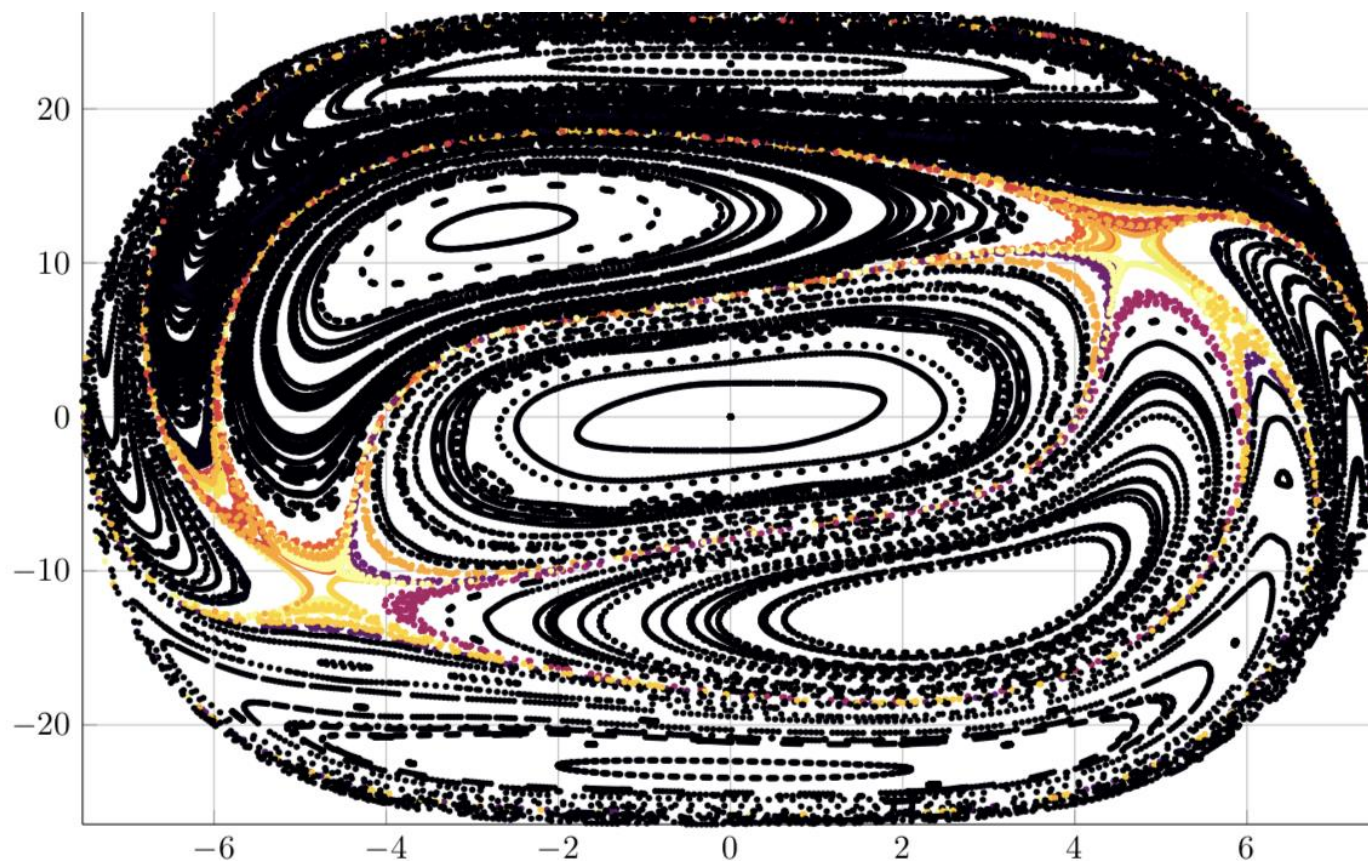
The codes are are publicly available at:

<https://github.com/SebastianM-C/Nuclear-surface-vibrations/releases/tag/v1.0>

Reference: S. Micluta-Campeanu, M.C. Raportaru, A.I. Nicolin, V. Baran, *Fingerprints of global classical phase-space structure in quantum spectra*, Rom. Rep. Phys. **70**, 105 (2018)

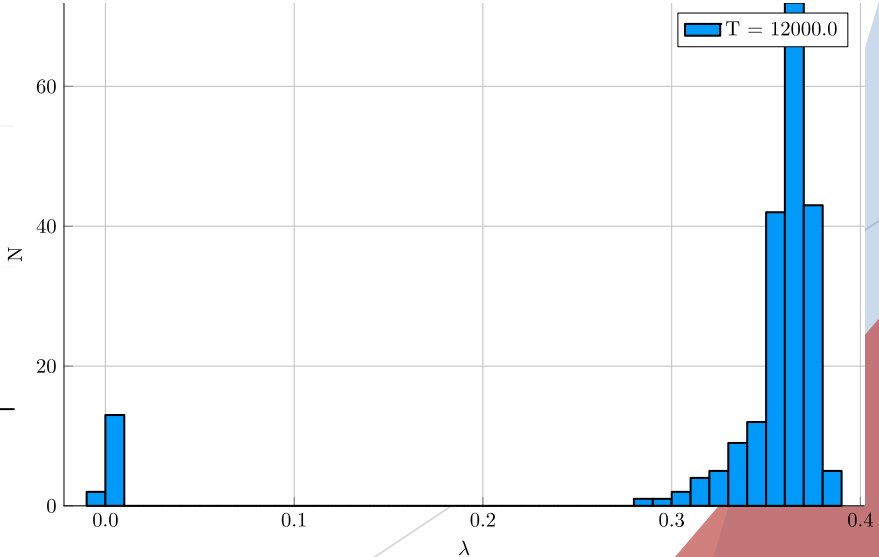
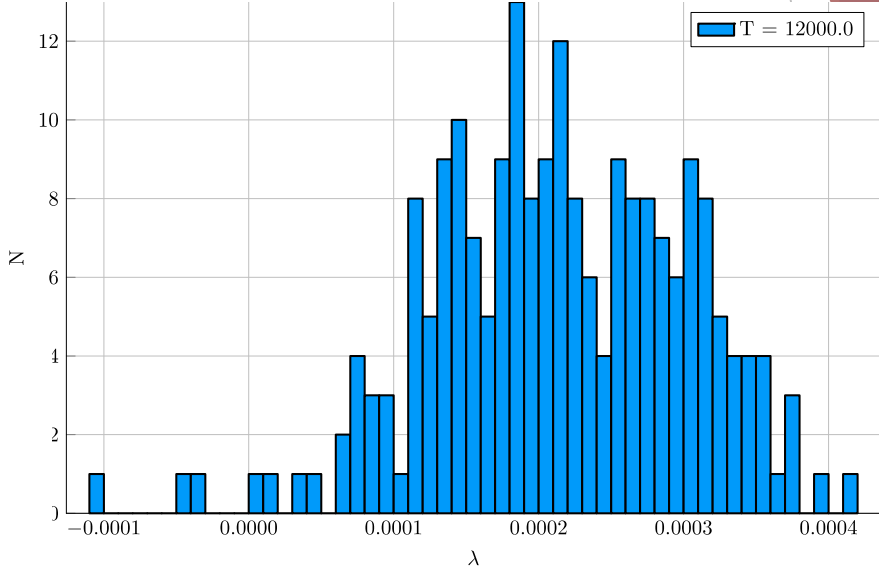
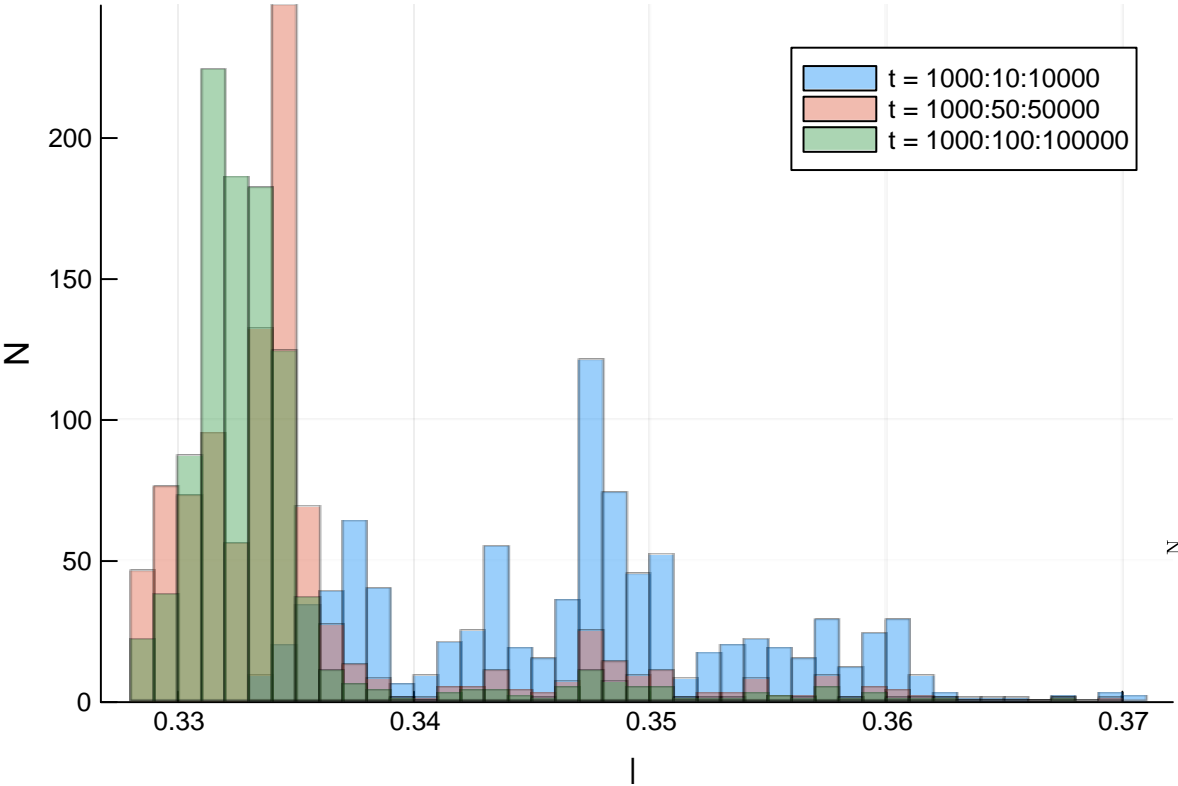
# Haos cuantic și clasic

Poincaré surface ( $B=0.55$ ,  $E=350$ )



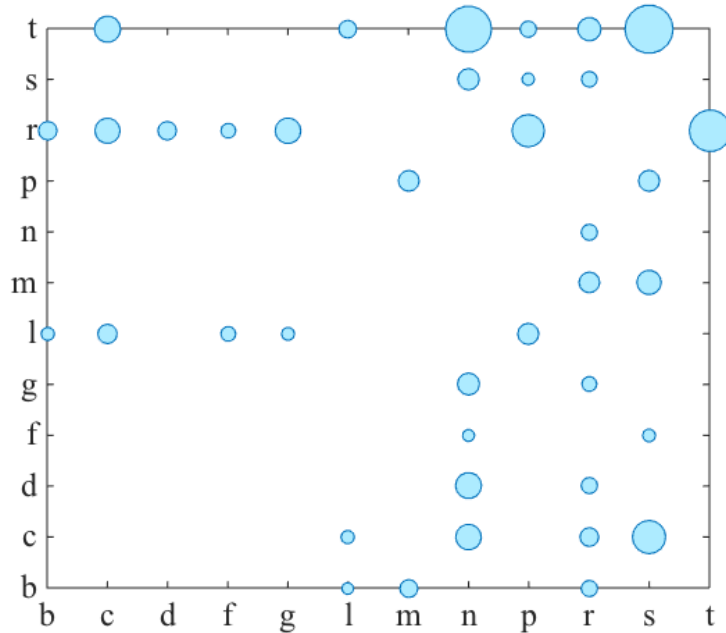
# Haos cuantic și clasic

Computationally troublesome to compute due to the long integration times



# Fonostatistica limbii române

- Frequency of consonant cluster of length two in the Romanian lexicon (90.000+ words); the larger the bubble, the higher the occurrence rate.
- There is a clear asymmetry with respect to the first diagonal, meaning that the frequency rates of a given cluster and its inverse are substantially different.

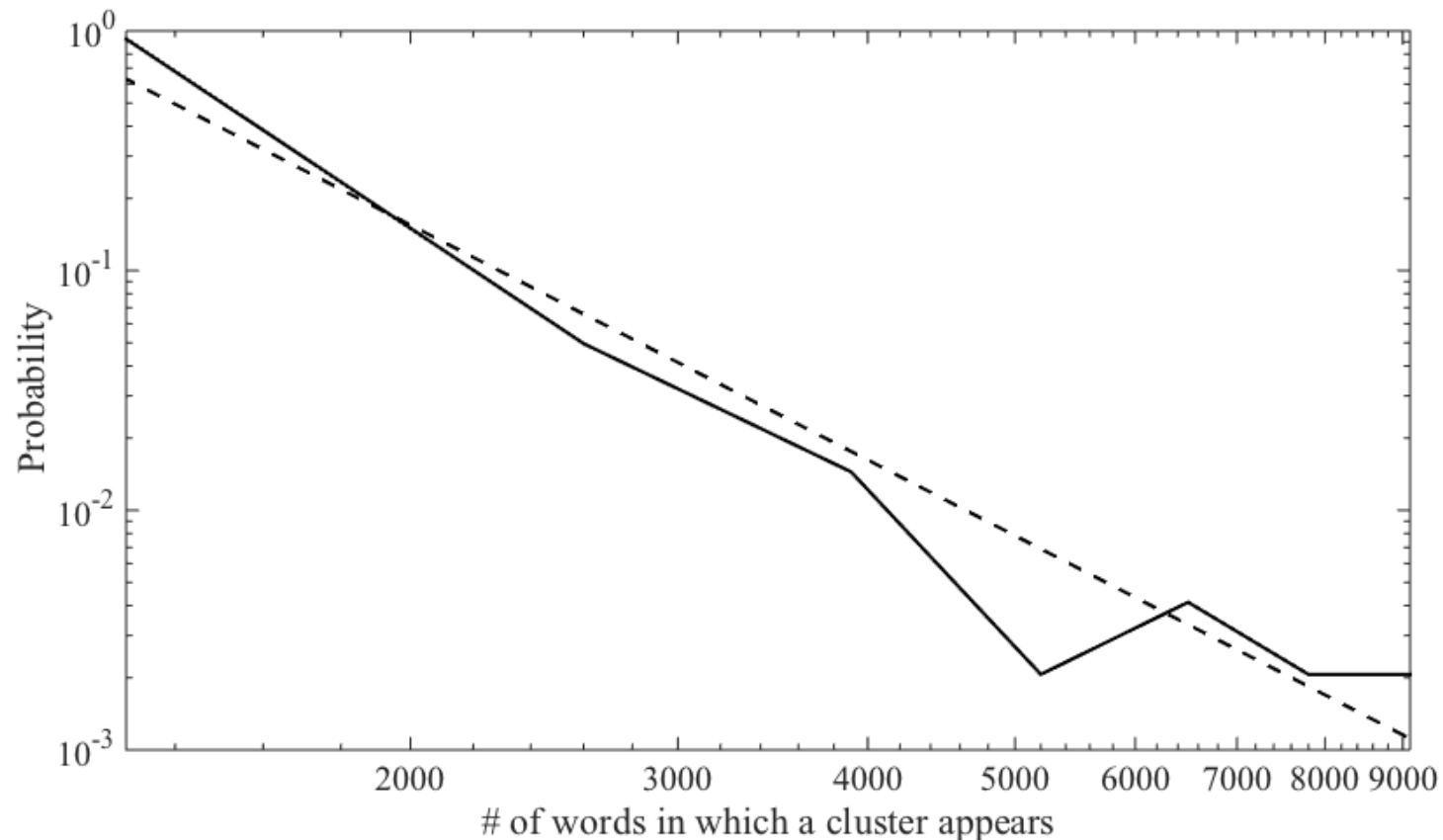


To understand this property let us look at the “tr” cluster which is more frequent than the “rt” cluster, or, more clearly at the “st” and “ts” ones. The first order of the consonants, “st”, corresponds to one of the most important Romanian cluster, while “ts” is inexistent.

# Fonostatistica limbii române

The distribution of the consonant clusters follows a scale-free-like distribution. Taking  $P(k)$  as the probability that a given cluster appears in  $k$  words, we observed that  $P(k)$  goes like  $k^{-\gamma}$  where  $\gamma \approx 3.2$ .

This statistical behavior shows a striking resemblance to the so-called Zipf law





# De ce să fii fizician azi?

## FIZICĂ TEORETICĂ MODERNĂ



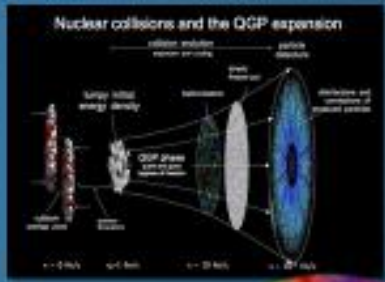
Ce este Tunelarea?

**MECANICĂ CUANTICĂ**

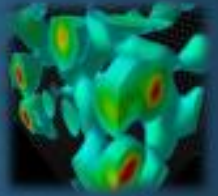
$Re^{-ikx}$     $e^{+ikx}$     $Te^{+ikx}$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V(x)\psi = E\psi$$

Ecuatia Schrödinger



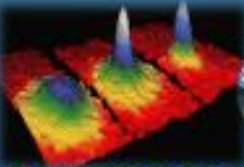
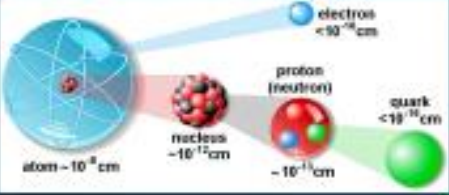
Care sunt interacțiile fundamentale în natură?



$$(i\gamma \cdot \partial - m)\psi = 0$$

Ecuatia Dirac

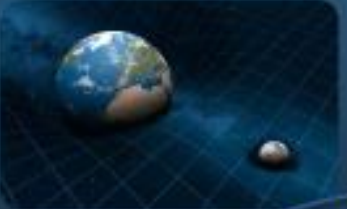
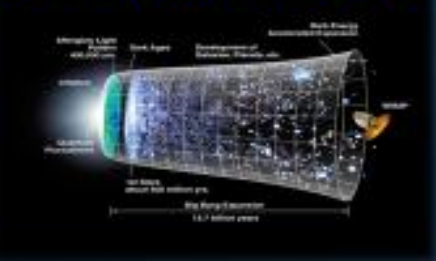
Care sunt constituenții ultimi ai materiei?



Ce sunt condensatele Bose-Einstein?



Cum a evoluat Universul?



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

Ecuatiile Einstein



Vom înțelege gravitația?

