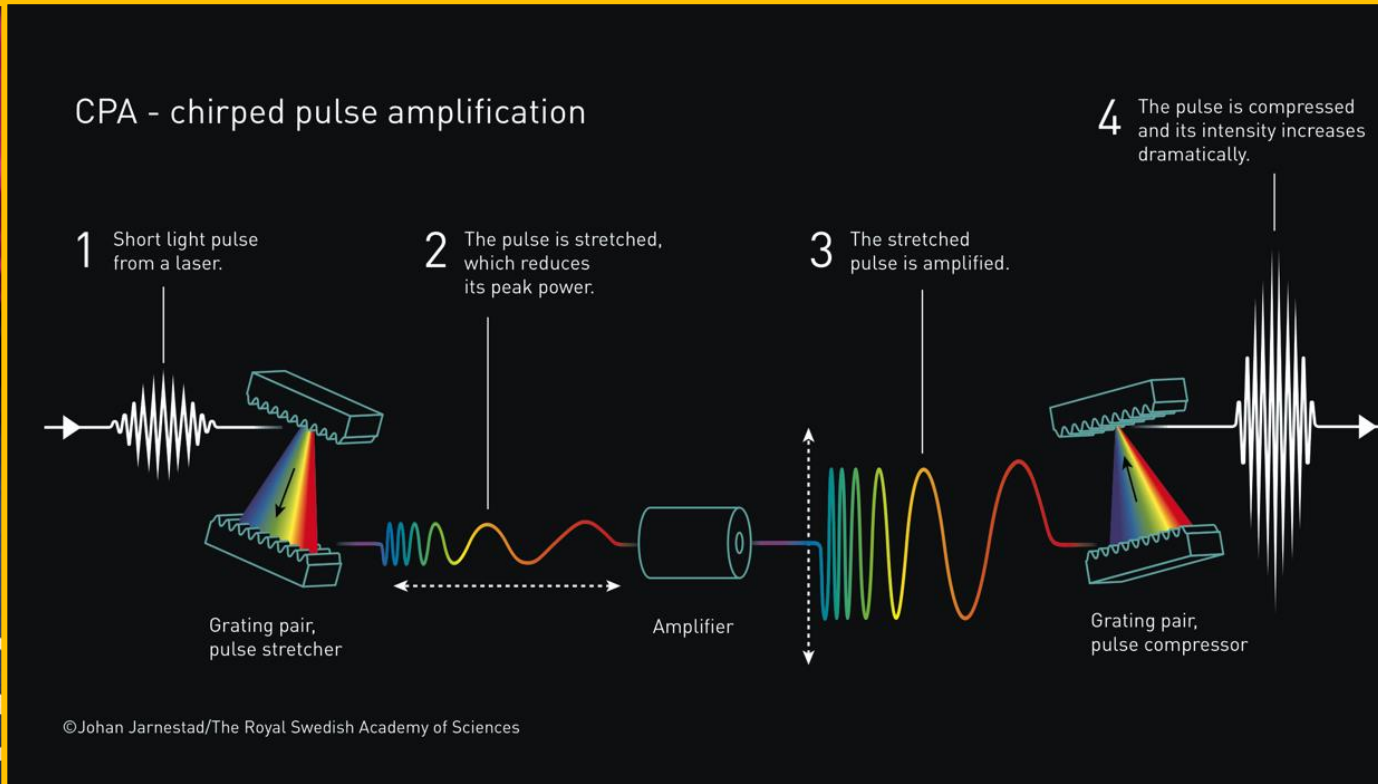


INTALNIRILE DE SÂMBĂTA CU FIZICA DE LA ELI-NP

Cine nu este la masă este în meniu

Acces gratuit cu înscriere prealabilă la
<https://indico.eli-np.ro/event/74/registrations/12/>



Premiul Nobel pentru Fizică 2018



În 2018, Premiul Nobel pentru Fizică a fost împărțit între Gérard Mourou (École Polytechnique, Franța), Donna Strickland (Universitatea din Waterloo, Canada) și Arthur Ashkin (Bell Laboratories, SUA). Lucrarea primilor doi câștigători, cărora li sa acordat jumătate din premiu, a constat în invenția tehnicii de Chirped Pulse Amplification (CPA) de la mijlocul anilor 1980, care a permis creșterea puterii laserilor la niveluri neatinse până atunci.

KUNGL. VETENSKAPS AKADEMIEN
THE NOBEL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2018



Gérard Mourou

- born 1944 in Albertville, France
- Ph.D. 1973
- Professor at École Polytechnique, Palaiseau, France and University of Michigan, Ann Arbor, USA

obelprize

THE NOBEL PRIZE

Gérard Mourou are merite remarcabile în inițierea proiectului de infrastructură ELI (Extreme Light Infrastructure) având trei piloni cu locații în România, Republica Cehă și Ungaria. Sub conducerea sa și cu supervizarea unui Comitet Internațional de Coordonare, a fost publicată la sfârșitul anului 2010 Cartea Albă <https://eli-laser.eu/media/1019/eli-whitebook.pdf>, cu o descriere cuprinzătoare a unui Technical Design precum și a tematicii științifice de la ELI.



How Much Pressure Does a PW Laser Exert?

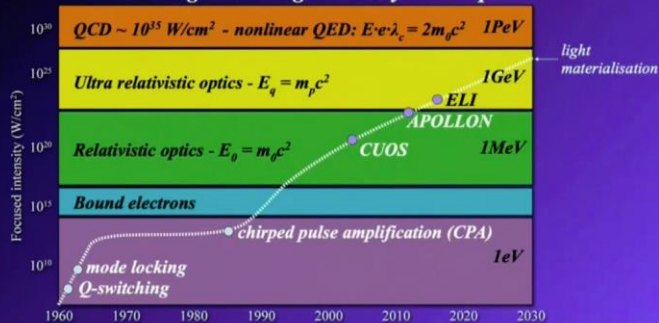
1 PW/ μm spot size corresponds to 10^{23} w/cm²

That is the equivalent of the pressure of 10 million Eiffel Towers on the tip of your finger!!

Seriously extremal!



Extreme light ultra high intensity roadmap



CPA: A Universal Source of High Energy Particles and Radiation



- 50 GeV – attainment of highest energies
- electron acceleration TeV
- proton and ion acceleration TeV
- X-rays, gamma rays MeV
- high field science, ultra-relativistic opti



Giant wakefield acceleration in gas and solid

Tajima et Dawson (1979)

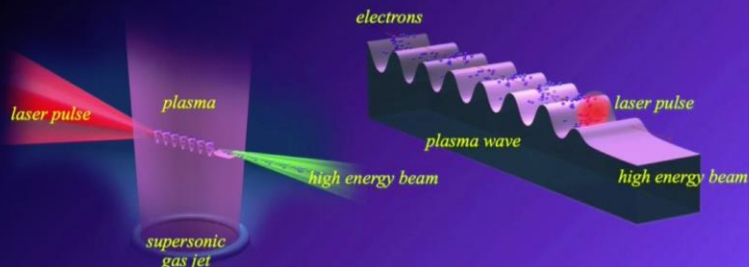


A surfer riding down the face of a wave is accelerated by energy of the wave



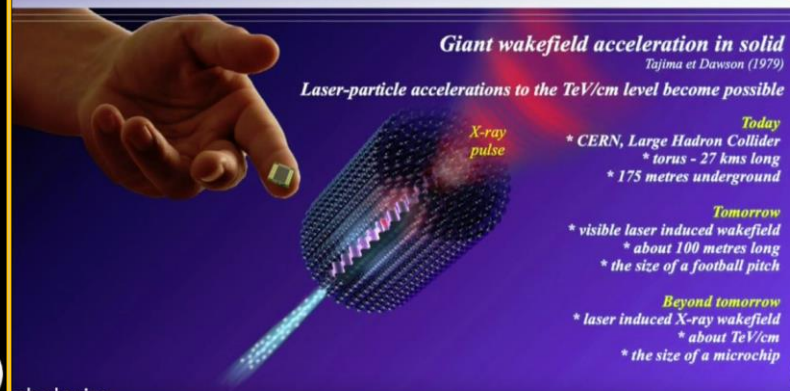
Giant wakefield acceleration

Tajima et Dawson (1979)



Giant wakefield acceleration in solid

Tajima et Dawson (1979)



Laser-particle accelerations to the TeV/cm level become possible

Today
* CERN, Large Hadron Collider
* torus - 27 kms long
* 175 metres underground

Tomorrow
* visible laser induced wakefield
* about 100 metres long
* the size of a football pitch

Beyond tomorrow
* laser induced X-ray wakefield
* about TeV/cm
* the size of a microchip



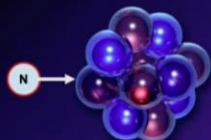
Changing the Future With CPA Extreme Light Infrastructure (ELI)



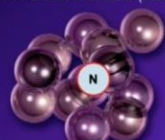
CPA Transmutation of Nuclear Waste

For example

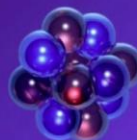
- * ⁹⁹Tc (Technetium) half-life of 200 000 years
- * ¹⁰⁰Tc has a half-life of 16 seconds
- * it decays to a stable ¹⁰⁰Ru (Ruthenium)



Isotope A
T = 200 000 years



Isotope B
T = 16 secs



Isotope C
no radiation



In conclusion extreme light is capable of generating the largest fields, largest accelerations, the largest temperatures and the largest pressures

It carries the best hopes and opportunities for the future of science and society



Sesiunea de Toamna

Prelegeri pe tematica de cercetare de la ”Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics,, (ELI-NP) (laserul de la Măgurele)

Scop	<p>A ajuta tinerii și elevii de liceu în îmbogățirea cunoștințelor, înțelegerea și aprecierea activității științifice și creșterea interesului de a urma o carieră în știință sau tehnologie.</p> <p>Vizează și persoane ce doresc să învețe și să cunoască problemele curente ale științei și cercetării științifice.</p>
Participare	<p>Programul, de nivel universitar, este deschis oricărei persoane cu cunoștințe de matematică și fizică de liceu, unor entuziaști și amatori de știință, elevi de liceu, studenți în știință sau tehnologie cu cunoștințe de bază STEM (știință, tehnologie, inginerie, matematică), dornici să învețe și să înțeleagă problemele actuale din cercetarea științifică mondială direct de la specialiști implicați în domeniu.</p> <p>De asemenea, pot participa și părinți sau profesori implicați în educația STEM a tinerilor.</p>
Inregistrarea Participanților	<p>Se realizează prin completare unui formular, online la https://indico.eli-np.ro/event/74/registrations/12/</p> <p>Pentru comunicări, este necesară furnizarea unei adrese unice de e-mail.</p> <p>Perioada de înscriere:</p> <ul style="list-style-type: none">• 10 iulie - 10 septembrie (pentru sesiunea de toamnă: 15 septembrie - 15 decembrie) și• 10 ianuarie și 10 martie (pentru sesiunea de primăvară: 15 martie - 15 iunie).

Sesiunea de Toamna

Participanți și prezentarea lecțiilor

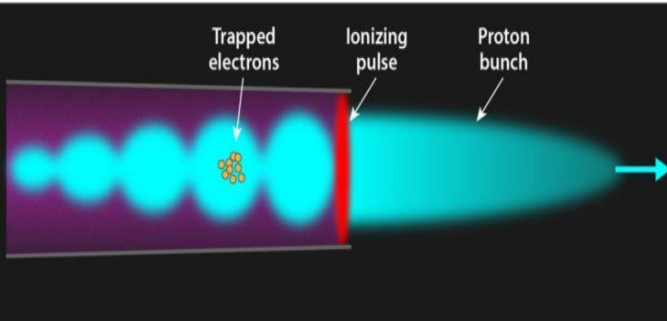
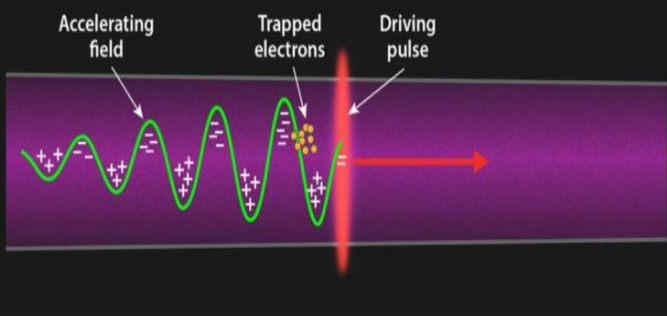
Calendar	<p>10 iulie: Deschidere înscrieri (online)</p> <p>10 septembrie: Notificarea participanților acceptați, transmisă prin e-mail la adresa specificată la înscriere.</p> <p>15 septembrie: începere sesiune de toamnă</p>
Locația	<p>Lecțiile se desfășoară în Amfiteatrul R3 din cadrul Facultății de Chimie (Bulevardul Regina Elisabeta 4-12, București)</p>
Informații program	<p>Prelegerile sunt ținute sâmbăta dimineața de la ora 10:00 și durează două ore, cu o pauză de 10 minute, timp de douăsprezece săptămâni consecutive.</p> <p>Sesiunea de toamnă începe pe 21 septembrie.</p> <p>Fiecare sesiune de douăsprezece săptămâni acoperă de regulă aceleași subiecte generale.</p>
Lectori	<p>Cercetători și ingineri de la ELI-NP și IFIN-HH ca instructori voluntari.</p> <p>De asemenea vor fi invitați și diverși oameni de știință din România sau străinătate cu ocazia unor evenimente științifice deosebite.</p>
Inregistrări audio-video	<p>Prelegerile vor fi înregistrate sistematic și vor fi postate pe pagina web a programului “Intâlnirilor de Sâmbătă cu Fizica de la ELI-NP” precum și pe canalul Youtube și Facebook.</p>
Certificare	<p>Participanții care frecventează complet prelegerile de douăsprezece săptămâni vor primi un certificat de absolvire.</p> <p>Certificatul este înmănat la ceremonia de închidere.</p> <p>Certificatul nu poate fi folosit ca document de absolvire profesională, dar unele facultăți pot acorda credite pentru cei care au participat la aceste prelegeri.</p>

Program lecții

	Tema	Lector	Afilieri
1.	Introducere în fizica de la ELI	Dr. Daniel Ursescu	ELI-NP
2.	Lumina - undă electromagnetică (ecuațiile luminii)	Dr. Mircea Penția	IFIN-HH
3.	Teoria Relativității specială	Dr. Mircea Penția	IFIN-HH
4.	Mecanica cuantică - teoria proceselor subatomice	Dr. Mircea Penția	IFIN-HH
5.	Câmpuri de particule	Dr. Mircea Penția	IFIN-HH
6.	Câmpul electromagnetic și cuantificarea câmpului	Dr. Mircea Penția	IFIN-HH
7.	Simetrie și Antimaterie	Dr. Adriana Răduță	IFIN-HH
8.	Cărămizile Universului și Forțele fundamentale de interacție	Dr. Mircea Penția	IFIN-HH
9.	Laserele Luminii Extreme: Lasere Ultra-Intense cu Pulsuri de Femtosecunde	Dr. Răzvan Dabu	ELI-NP
10.	Experimentele de la ELI-NP cu Sisteme Laser de Putere Inaltă	Dr. Andi Cucoaneș Dr. Ștefan Ataman	ELI-NP ELI-NP
11.	Experimente de Spectroscopie Nucleară și Astrofizică cu fascicule γ	Dr. Cătălin Matei Dr. Paul Constantin	ELI-NP ELI-NP
12.	Aplicații și Dezvoltări Industriale Relevante la ELI-NP	Dr. Dan Stutman Dr. Violeta Iancu	ELI-NP ELI-NP

1. Introducere în fizica ELI

„Extreme Light Infrastructure” (ELI) este dedicată cercetării interacțiilor lumină-materie cu laser de intensitate ridicată și durate foarte scurte de timp. Primul laser operațional, construit în 1960 la Hughes Research Laboratory, a fost capabil să emită flash-uri neregulate la fiecare puls de pompare. Laserele au parcurs un drum lung de atunci. Metoda Chirped Pulse Amplification (CPA) dezvoltată pe la mijlocul anilor 80 a reușit să realizeze laseri cu puteri de la terawatt la petawatt (D. Strickland & G. Mourou *Opt. Commun.* **56**, 219-221, 1985). Azi avem o serie de facilități în întreaga lume ce dispun de asemenea lasere de putere: laserul Petawatt Aquitaine Laser (PETAL) de la Laser Megajoule din Franța (1,2 PW, <http://go.nature.com/TufsxS>) și Laser for Fast Ignition Experiments (LFEX) de la Universitatea Osaka din Japonia (cu putere 2 PW și pulsuri de picosecunde, <http://go.nature.com/Pvy1dn>). Cu toate acestea, majoritatea instalațiilor actuale au doar câțiva petawați, cu rate de repetare - cu câteva excepții - mult sub 1 Hz. Proiectul ELI se așteaptă să împingă aceste limite mult peste aceste valori.



Proiectul ELI se compune din patru facilități laser mari, fiecare vizând o zonă diferită de cercetare.

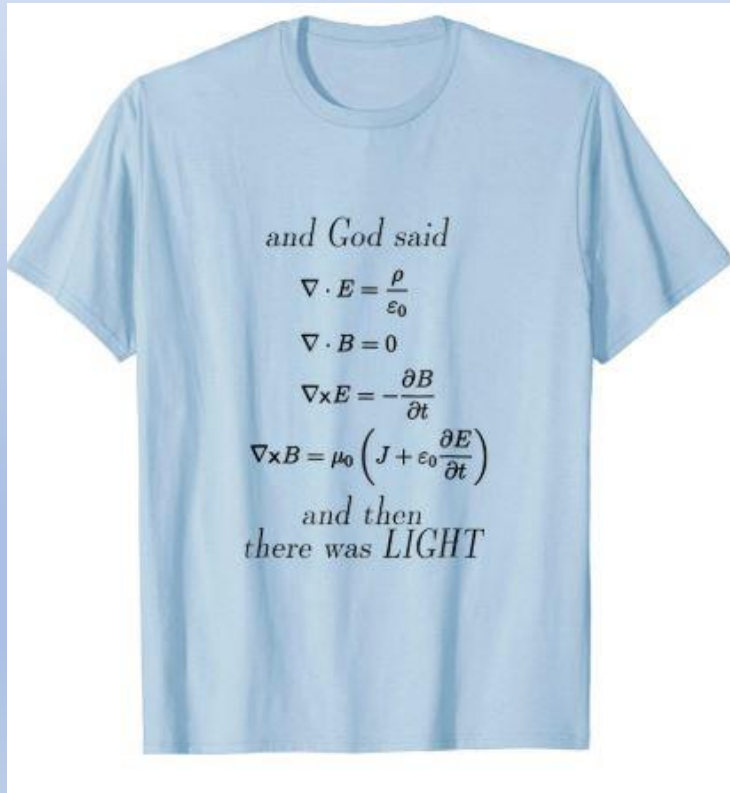
- Facilitatea ELI Beamlines, construită în Republica Cehă (<http://go.nature.com/MZq7ar>), va furniza impulsuri laser ultrascurte cu o durată de câteva femtosecunde (10^{-15} s) și putere de până la 10 PW.
- Laserele din cel de-al doilea pilon vor produce impulsuri de lumină mai scurte, de ordinal atto-secunde (10^{-18} s). ELI-Attosecond Light Pulse Source (ELI-ALPS <http://www.eli-hu.hu/>) se construiește într-o fostă bază militară sovietică din Ungaria, iar obiectivul său central va fi studiul dinamicii electronilor ultra-rapizi în atomi, molecule, plasmă și solide.
- A treia facilitate se va concentra pe fizica nucleară. Realizată în România, instalația ELI-NP va folosi două lasere a câte 10 PW fiecare, adăugate în mod coerent pentru a furniza intensități de ordinul 10^{23} - 10^{24} W cm⁻² și o sursă intensă de radiații gamma (www.eli-np.ro). Va aborda lucrări de interacții foto-nucleare. De asemenea, se preconizează că va avea o serie de aplicații cu impact semnificativ asupra procesării deșeurilor nucleare, producției de radio-medicamente și izotopi.
- În cele din urmă, Facilitatea de Câmpuri Înalte va fi dedicată studiului fizicii relativiste și se preconizează că va fi cea mai scumpă și mai dificilă instalație, oferind cea mai mare putere laser (100 PW) și intensități peste 10^{25} W cm⁻². Astfel se ating valori de intensitate peste pragul Schwinger, deasupra căruia vidul de particule virtuale se materializează în perechi particulă - antiparticulă (<http://go.nature.com/Wdpocq>). Aceste lasere ultra-intense nu numai că vor furniza câmpuri electromagnetice înalte, dar vor face posibilă și producerea de fascicule de particule și radiații cu energii înalte de ordinul TeV.

Aceste facilități se așteaptă să aibe în principal impact semnificativ în:

- **fizica fundamentală**; Gérard Mourou, inițiatorul ELI și coordonatorul fazei pregătitoare, amintește că aceste facilități vor permite studierea **acelerației cosmice, a neliniarităților de vacuum, a materiei întunecate și energiei întunecate, a electrodinamicii cuantice (QED) și cromodinamicii cuantice (QCD) și a fizicii radiațiilor în domeniul de câmp EM nelinier Schwinger** (<http://go.nature.com/v7GyTg>). Pe lângă acestea, ELI se așteaptă să afecteze și alte discipline, inclusive
- **știința materialelor** (de exemplu, dinamica diverselor reacții, cum ar fi activitatea proteinelor, radioliza, studierea legăturilor chimice și a proceselor de cataliză, precum și investigarea producerii de defecte și îmbătrânirea materialelor în reactoarele nucleare) și
- **aplicații medicale** precum producția de noi izotopi medicali relevante în radioterapia și chimioterapia cancerului.

2. Lumina - undă electromagnetică (Ecuațiile luminii)

În ciuda progreselor teoretice și experimentale din prima jumătate a secolului al XIX-lea, ce au stabilit proprietățile ondulatorii ale luminii, totuși natura luminii încă nu a fost determinată - identitatea undelor a rămas un mister. Situația însă s-a schimbat dramatic în anii 1860, când fizicianul scoțian James Clerk Maxwell, printr-o tratare teoretică genială a unificat electricitatea, magnetismul și optica. În formularea sa, un câmp magnetic variabil produce un câmp electric variabil, și invers, un câmp electric variabil ar trebui să producă un câmp magnetic variabil, aserțiuni teoretice confirmate apoi experimental. Ca urmare, câmpurile electrice și magnetice variabile ar trebui să se înlănțuie, să se condiționeze reciproc. Mai mult, ecuațiile Maxwell arată că această propagare de câmpuri variabile trebuie să se deplaseze cu viteza luminii. Deci, Maxwell descrie lumina ca unde electromagnetice, de câmpuri electrice și magnetice înlănțuite.



Pentru a înțelege lumina, trebuie mai întâi să înțelegem:

- Câmpurile electrice și câmpurile magnetice.
- Undele electromagnetice
 - Ecuația de propagare a undelor
- Descrierea matematică a câmpurilor:
 - scalari, vectori, tensori
 - operatori de câmp: gradient, divergență, rotor
 - 4-vectori covarianți și contravarianți
- Câmpurile electrice și magnetice variabile:
 - Ecuațiile Maxwell pentru câmpuri și potențiale
 - Proprietățile undelor electromagnetice
- Ecuațiile Maxwell covariante

3. Teoria relativității speciale

Relativitatea specială este o teorie fizică general acceptată și perfect confirmată experimental, ce exprimă legătura dintre coordonatele spațiale și temporale ale evenimentelor fizice. În tratarea inițială a lui Albert Einstein, teoria se bazează pe două postulate:

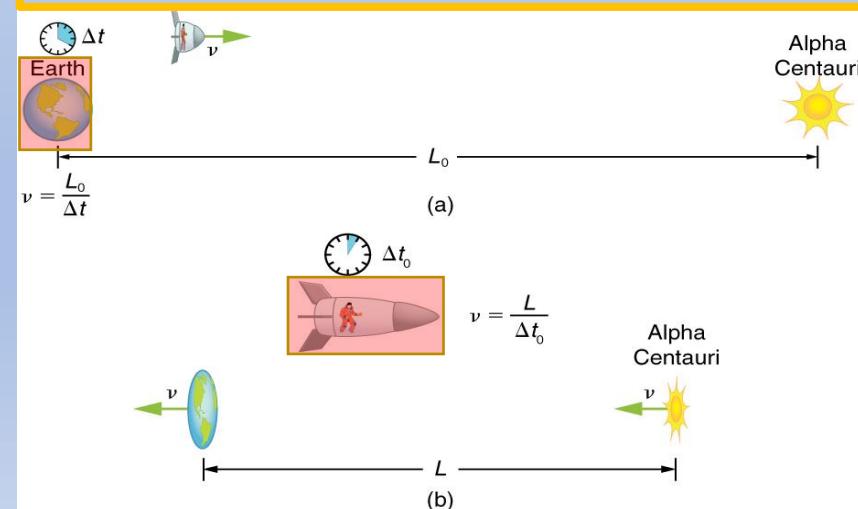
- legile fizicii sunt identice în toate sistemele inerțiale (adică sisteme de referință non-accelerate); și
- viteza luminii în vid este aceeași pentru toți observatorii, indiferent de mișcarea sursei de lumină.

Relativitatea specială a fost inițial propusă de Albert Einstein într-o lucrare publicată la 26 septembrie 1905 intitulată "Despre electrodinamica corpurilor în mișcare".

Incompatibilitatea dintre mecanica newtoniană și ecuațiile Maxwell, precum și lipsa confirmării experimentale a existenței unui ipotetic eter luminifer (ca mediu de propagare a undelor electromagnetice) au dus la dezvoltarea relativității speciale. Aceasta corectează mecanica pentru a face față situațiilor care implică toate mișcările și mai ales cele cu viteze apropiate de viteza luminii (cunoscute ca viteze relativiste).

Relativitatea specială are o serie de consecințe, care au fost verificate experimental, inclusiv contracția lungimii, dilatarea timpului, masa relativistă, echivalența energetică a masei, o limită universală de viteză, viteza de propagare a cauzalității și relativitatea simultaneității. Teoria a înlocuit noțiunea convențională de timp universal absolut cu noțiunea de timp relativ dependentă de sistemul de referință și poziție. În loc de un interval invariant de timp între două evenimente, există un interval invariant de spațiu-timp. Împreună cu alte legi ale fizicii, cele două postulate ale relativității speciale prezic echivalența dintre masă și energie, exprimată în cunoscuta formulă de echivalență între energie și masă $E = mc^2$, unde c este viteza luminii în vid.

https://en.wikipedia.org/wiki/Special_relativity



Odată ce viteza rachetei crește:

- lungimea ei se micșorează,
- masa ei crește, iar
- timpul se scurge mai încet.

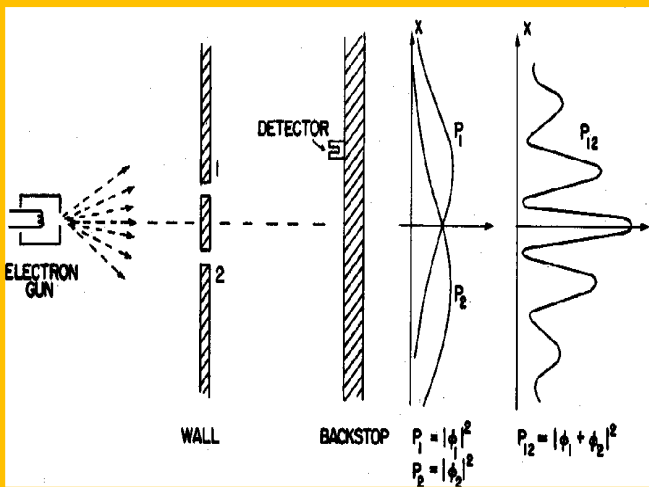
La viteza luminii:

- lungimea ei devine zero,
- masa sa devine infinită, iar
- timpul se oprește.

- Experimentul Michelson-Morley - viteza luminii constantă
- Dilatarea timpului
- Contracția lungimii
- Masa relativistă
- Transformările Lorentz de coordonate și timp
- Intervalul spațiu-timp - invariantei relativități
- Energia și impulsul relativiste: $E = mc^2$

4. Mecanica cuantică - teoria proceselor subatomice

Experimentul cu două fante



If nothing is impossible, then the possibility of something being impossible is possible



Mecanica cuantică diferă de fizica clasică prin faptul că:

- energia, impulsul, momentul unghiular și alte mărimi fizice ale unui sistem finit (legat) au valori discrete
- obiectele fizice au caracteristici atât de particulă, cât și de undă (dualitatea undă-corpusul);
- există limite ale preciziei cu care pot fi măsurate mărimile fizice (principiul incertitudinii).

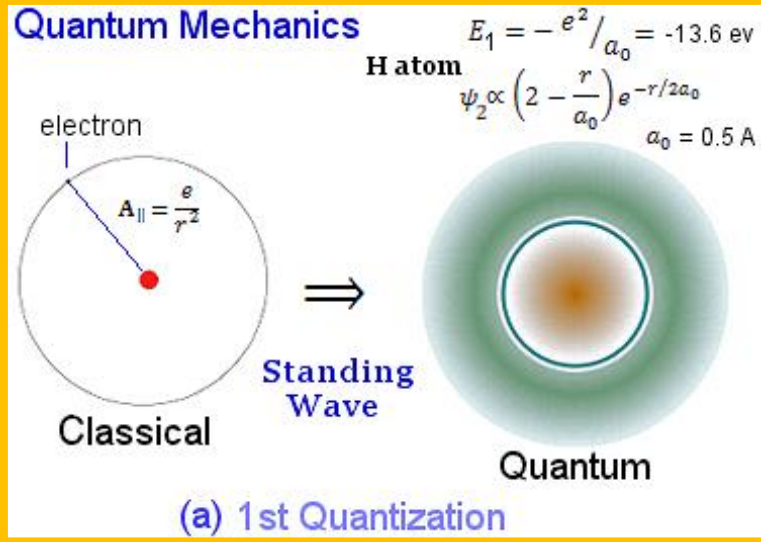
Mecanica cuantică a apărut treptat din teoriile încercând să explice observațiile ce nu au putut fi puse în concordanță cu fizica clasică, cum ar fi soluția lui Max Planck în 1900 pentru problema radiației corpului negru sau corespondența dintre energie și frecvență din lucrarea lui Albert Einstein din 1905 care explică efectul fotoelectric. Teoria cuantică inițială a fost profund re-concepută la mijlocul anilor 1920 de Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Max Born și alții. În acest fel, teoria cuantică modernă este prezentată în diferite formalizări matematice. În abordarea școlii de la Copenhaga, o funcție matematică (funcția de undă) furnizează informații despre amplitudinea de probabilitate a poziției, momentului și a altor proprietăți fizice ale unei particule.

https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_mechanics

- Mecanica cuantică:
 - Descrierea comportamentului fizic la scară subatomică
 - Imposibilitatea măsurării simultane a cantităților fizice conjugate
- Dualitatea undă-corpusul:
 - Relațiile de Broglie și Planck
 - Principiul de incertitudine Heisenberg
 - Ecuația Schrödinger
- De la mecanica clasică la mecanica cuantică și câmpuri cuantice
- Cuantificarea I: mărimi fizice clasice → operatori diferențiali
- Cuantificarea a II-a: câmpuri clasice → operatori de câmp
- Aplicații: Oscilatorul armonic - instrumentul principal al fizicii cuantice

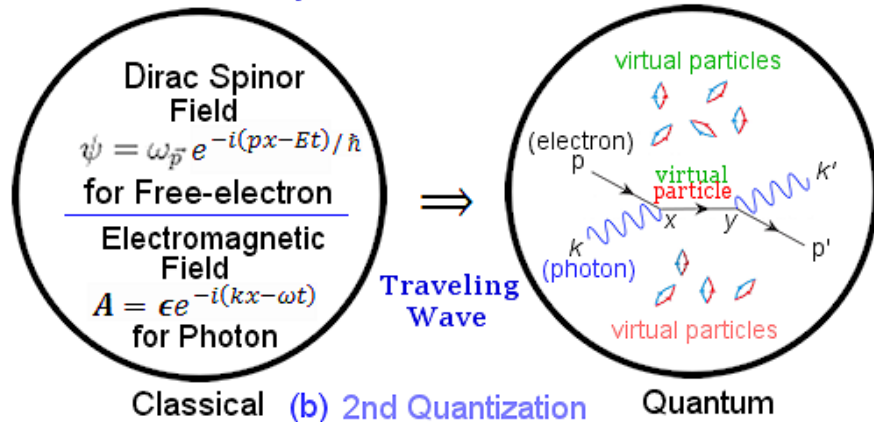
5. Câmpuri de particule

Quantum Mechanics



De la particulă la funcția de undă (câmp)

Quantum Field Theory

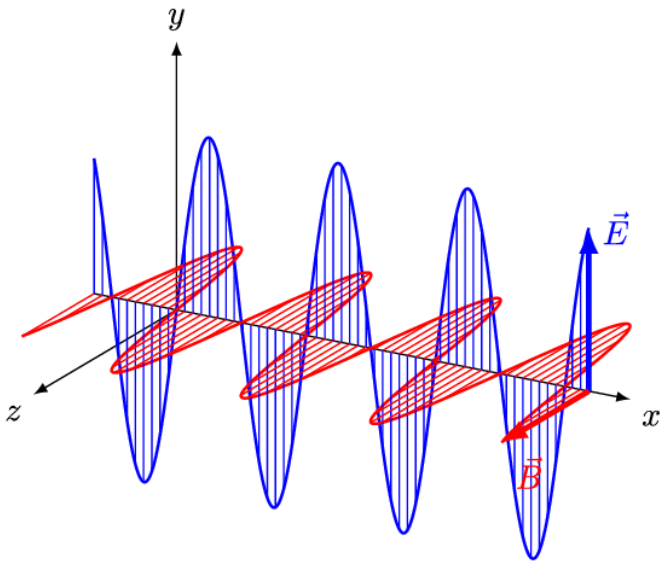


De la funcția de câmp la particulă

<http://universe-review.ca/R15-25-DiracEq06a.htm>

- Quantificarea I** (de la *particulă* la *funcția de undă*) imaginea clasică a unui electron care se rotește în jurul nucleului (ca în cazul atomului de hidrogen) este înlocuită cu o *funcție de undă* $\psi(r)$ ca funcție de poziție. În cazul din figură, această funcție prezintă două maxime (pentru $n = 2, l = 0$), marcate cu maro și verde. Valoarea medie a coordonatei (traectoria clasică) este indicată printr-un cerc albastru. Pătratul *funcției de undă* $|\psi(r)|^2$ este interpretat ca probabilitatea de a găsi electronul în acel punct. Mediul interactiv este componenta longitudinală a câmpului electromagnetic. Acesta este static și, prin natura sa, non-relativist. O astfel de formulare este mai potrivită pentru calcularea structurilor de stări legate, de exemplu în atomi, molecule, etc.
- Quantificarea a II-a** (de la *funcția de câmp* la *particulă*), descrierea câmpului clasic (*funcția de câmp*), aici un câmp Dirac de electroni, este înlocuită cu descrierea de particulă prin *operatori de câmp*. În acest exemplu de împrăștiere Compton, de interacție a unui electron cu un foton, ambele sunt tratate ca stări de particule (cu energia-impuls p, E respectiv k, ω) care interacționează prin intermediul vacuumului cuantic. Acesta este un "mediu în fierbere" cu producere și anihilare de *particule virtuale*, proces ce decurge după principiul de incertitudine $\Delta t \cdot \Delta E > \hbar$. Interacția este acum realizată între componenta câmpului electromagnetic A , sub formă de particulă (foton) și câmpul ψ de spinori (electroni) Dirac. Acest formalism este relativist, iar particulele reale și virtuale sunt reprezentate de oscilatoare armonice de forma: $e^{-i(kx-\omega t)}$, ca cel mai potrivit mod de descriere a propagării undelor ($v = dx/dt = \omega/k$).

6. Câmpul electromagnetic și cuantificarea câmpului



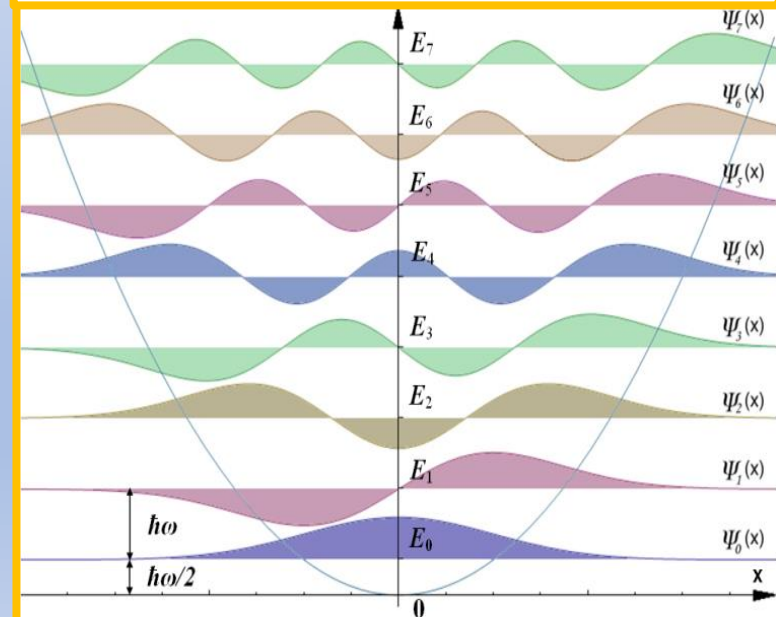
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM-Wave.gif>

Emisia radiației electromagnetice de către un corp negru nu a putut fi explicată în fizica clasică unde se accepta absorbția sau emisia oricărei cantități de radiație electromagnetică.

Planck însă a observat că absorbția sau emisia poate avea loc doar prin multipli întregi ai unei valori cuantificate de energie $h\nu$, unde h este constanta lui Planck (cuanta de acțiune $h=6.626 \cdot 10^{-34}$ J·s), iar ν este frecvența luminii absorbite sau emise.

Aceasta a fost o descoperire epocală, deoarece a contrazis ideea că energia e continuă și poate fi transferată în orice cantitate. Realitatea pe care Planck a descoperit-o, este că energia nu este continuă, ci cuantificată - adică poate fi transferată numai în "pachete" individuale (sau particule) de mărimea $h\nu$. Fiecare dintre aceste pachete de energie este cunoscută ca o cuantă de energie.

- Câmpuri clasice
- Ecuațiile câmpului electromagnetic prin potențiale
- Cuantificarea unui sistem clasic - oscilatorul armonic
- Cuantificarea câmpurilor clasice
- Cuantificarea energiei câmpului electromagnetic



https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_harmonic_oscillator

M. Pentiă IPIN-HH

7. Simetrie și antimaterie

Tot ceea ce ne înconjoară, atât pe Pământ, cât și în spațiul cosmic, este alcătuit din materie. Antimateria este o versiune în oglindă a materiei, fiind formată din particule cu sarcină electrică opusă. La formarea universului, Big Bang-ul ar fi trebuit să creeze cantități egale de materie și antimaterie în Universul timpuriu. Astăzi însă, din tot ceea ce vedem de la cele mai mici forme de viață de pe Pământ până la cele mai mari obiecte stelare, este alcătuit aproape în întregime din materie. Una dintre cele mai mari provocări din fizică actuală constă în a explica ce s-a întâmplat cu antimateria sau de ce vedem o asimetrie între materie și antimaterie. Cu alte cuvinte, cum de avem ceva în plus în loc de a nu avea nimic? De ce Natura are preferință pt. materie? Deci lumea în care trăim nu este perfect simetrică, și asta din cauza unor diferențe la scară subatomică, unde avem o particulă de materie în plus la fiecare 10 miliarde de particule de antimaterie. Această ușoară asimetrie este suficientă însă ca universul nostru, inclusiv noi, să putem exista. Apariția acestei „ruperi de simetrie” pare un mister.

CPT symmetry the reflection of creation

Positron
Positive +

Electron
Negative -

Line symmetry or
mirror symmetry

Antimatter
Spacetime

Matter
Spacetime

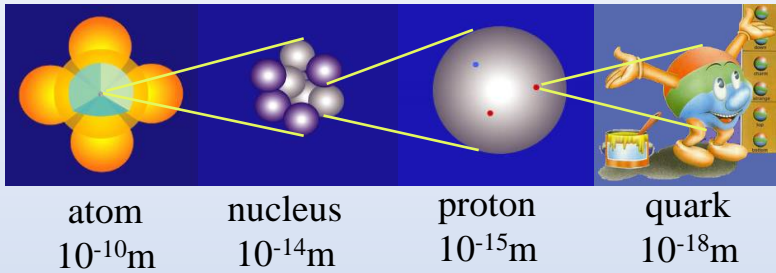
Ψ

This speculative diagram highlights the profound symmetry between matter and antimatter, positive and negative charge. This process forms a "mirror-image" of our Universe that is called CPT symmetry. The 'C' stands for the reversal of charge and the 'P' stands for parity or mirror symmetry with the 'T' standing for time reversal.

Toate teoriile fizice actuale apelează la legi de simetrie ale naturii pentru a descrie lumea particulelor elementare. Există trei astfel de transformări discrete de simetrie:

- **Simetria spațială** (în oglindă), numită și simetria de paritate (P), arată că nu există nicio diferență între proprietățile unei particule și a celei descrise în oglindă. Adică, nu există nici o diferență între stânga și dreapta, fiind posibile atât procesele directe, cât și cele în oglindă;
- **Simetria de sarcină** (C) arată că atât particulele cât și antiparticulele au aceleași proprietăți (cu excepția sarcinii) și sunt descrise de aceleași relații matematice;
- **Simetria temporală** (T) arată că procesele fizice la nivel microscopic sunt identice, adică ele sunt descrise de aceleași relații matematice, indiferent de direcția de evoluție în timp.

8. Cărămizile Universului (fermioni)



Materia obișnuită este compusă din atomi, cândva presupuse ca particulele elementare ale materiei - atom înseamnă "indivizibil" în greacă. Odată cu descoperirea electronului de către J. J. Thomson în 1897 și cu cea a nucleului atomic de către Rutherford (1911), a apărut un model atomic ca o structură formată dintr-un nucleu de protoni încărcăți pozitiv, concentrat într-un volum foarte mic și care conține cea mai mare parte a masei atomice, înconjurat de electronii încărcăți negativ. Cea mai mare parte a volumului unui atom este spațiu gol. Numărul de electroni încărcăți negativ din jurul nucleului este același cu numărul de protoni încărcăți pozitiv din nucleu. Diferite experimente au arătat însă că masa nucleului este de aprox. două ori mai mare decât masa protonilor. În 1932 James Chadwick a descoperit o nouă particulă, numită neutron, care alături de proton a putut explica diferența de masă a nucleului. Deci, s-a descoperit că atomul are o structură, fiind alcătuit din electroni și nucleu, iar nucleul alcătuit din protoni și neutroni. Odată ce au fost observate electronul, protonul și neutronul, împreună cu fotonul, particula de radiație electromagnetică, a fost deschisă o nouă ramură de fizică - *Fizica particulelor*.

three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
I	II	III		
mass $\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$ charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ u up	mass $\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$ charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ c charm	mass $\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$ charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ t top	mass 0 charge 0 spin 1 g gluon	mass $\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$ charge 0 spin 0 H higgs
mass $\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$ charge $-\frac{1}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ d down	mass $\approx 96 \text{ MeV}/c^2$ charge $-\frac{1}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ s strange	mass $\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ charge $-\frac{1}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ b bottom	mass 0 charge 0 spin 1 γ photon	
mass $\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ charge -1 spin $\frac{1}{2}$ e electron	mass $\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$ charge -1 spin $\frac{1}{2}$ μ muon	mass $\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$ charge -1 spin $\frac{1}{2}$ τ tau	mass $\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$ charge 0 spin 1 Z Z boson	
mass $< 2.2 \text{ eV}/c^2$ charge 0 spin $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	mass $< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ charge 0 spin $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	mass $< 18.2 \text{ MeV}/c^2$ charge 0 spin $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	mass $\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$ charge ± 1 spin 1 W W boson	

QUARKS
LEPTONS
GAUGE BOSONS
VECTOR BOSONS
SCALAR BOSONS

Particulele elementare sunt clasificate de statisticile cuantice - funcție de spinul lor – fie ca *fermioni*, fie ca *bosoni*:

- Particulele cu jumătăți de spin ($\hbar/2$), descrise de statistica Fermi-Dirac, sunt *fermioni*.
- Particule cu spin întreg (\hbar), descrise de statistica Bose-Einstein, sunt *bosoni*.

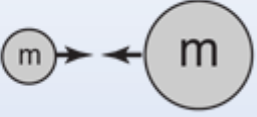
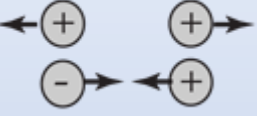
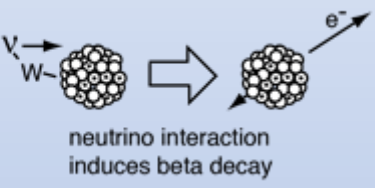
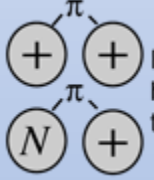
Protonii și neutronii din nucleul atomic sunt structuri de quarci: quarci *up* și quarci *down*.

Materia obișnuită este compusă în întregime din fermioni de generație I (I-a coloană din Tabel), anume quarcii *up* și *down*, plus electronul și neutrinul corespunzător.

Modelul Standard al fizicii particulelor conține 12 arome de fermioni elementari și antiparticulele corespunzătoare și 4 bosoni elementari ca particule ce mediază interacțiunile.

Explicația prin care materia ocupă un spațiu finit este rezultatul principiului de excluziune Pauli, care se aplică fermionilor. Două exemple particulare în care principiul de excluziune leagă materia de spațiul ocupat de aceasta sunt stelele pitice albe și stelele neutronice.

9. Interacțiunile fundamentale și forțele de schimb (bosoni)

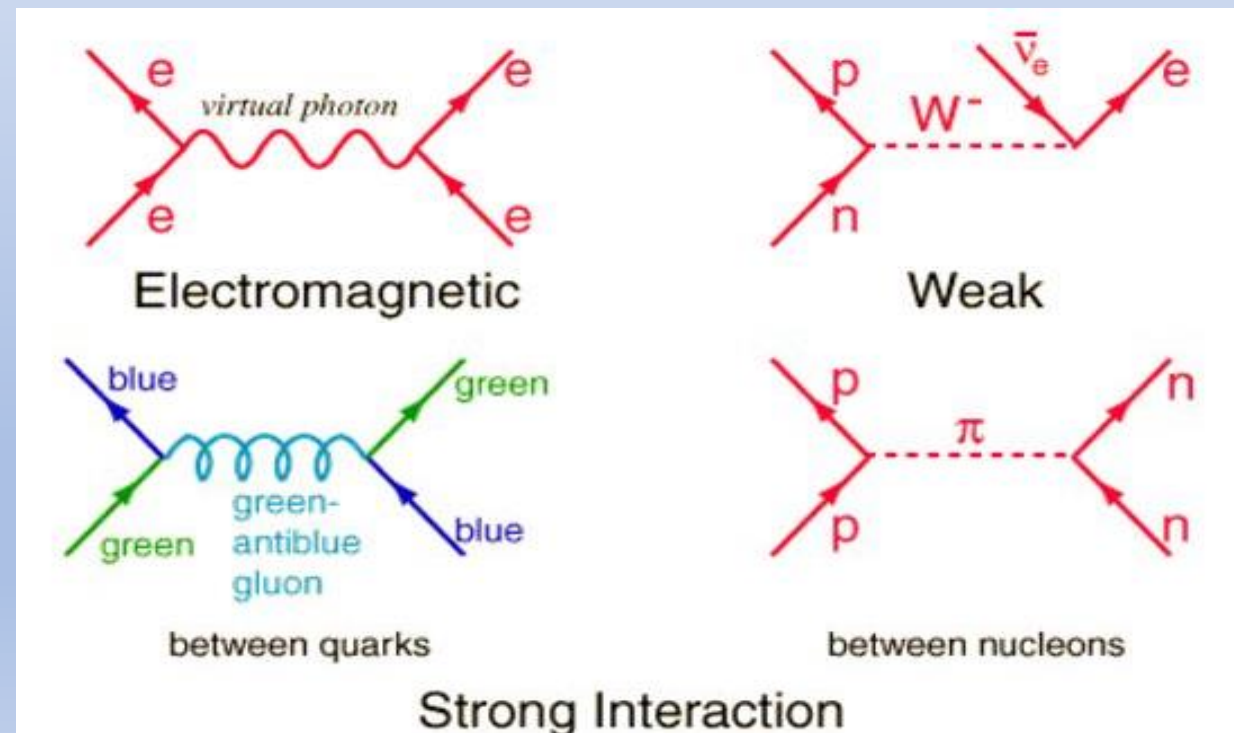
<i>Gravity</i>		Strength 6×10^{-39}	Range (m) Infinite	Particle graviton ? mass = 0 spin = 2
<i>Electro-magnetic</i>		Strength $\frac{1}{137}$	Range (m) Infinite	Particle photon mass = 0 spin = 1
<i>Weak</i>		Strength 10^{-6}	Range (m) 10^{-18} (0.1% of the diameter of a proton)	Particle Intermediate vector bosons W^+ , W^- , Z_0 , mass > 80 GeV spin = 1
<i>Strong</i>		Strength 1	Range (m) 10^{-15} (diameter of a medium sized nucleus)	Particle gluons, π (nucleons)

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Forces/funfor.html#c5>

Din moment ce protonii și neutronii care alcătuiesc nucleul, sunt ei înșiși alcătuiți din quarci, iar quarcii sunt considerați a fi legați prin *forțele de culoare*, atunci forța de interacție tare dintre nucleoni poate fi considerată ca o forță reziduală de culoare. În Modelul Standard, prin urmare, particula care mediază forțele de interacție între quarci este *gluonul*.

Toate cele 4 forțe fundamentale implică schimbul de una sau mai multe particule. Astfel de forțe de schimb pot fi de atracție sau repulsie, dar au un domeniu limitat de acțiune, funcție de natura particulelor de schimb. Domeniul maxim de acțiune al unei forțe de schimb este dat de principiul de incertitudine: $\Delta E \Delta t \approx mc^2 \Delta t > \hbar/2$
 \rightarrow Domeniu $\approx c \Delta t \approx \hbar/(2mc)$

Particulele implicate sunt create și există doar în procesul de schimb - se numesc "*particule virtuale*".



10. Experiments with the ELI-NP High Power Laser System

1. Production of Neutron-Rich Nuclei around the $N = 126$ Waiting Point of the r -Process via the Fission-Fusion Reaction Mechanism using a Laser-Accelerated Th Beam
2. From Radiation Pressure Acceleration (RPA) and Laser-Driven Ion Pistons to Direct Laser Acceleration of Protons at Intensities up to 10^{24} W/cm²
3. Deceleration of Very Dense Electron and Ion Beams
4. The development and application of ultra-short duration high brilliance gamma rays probes for nuclear physics
5. A Relativistic Ultra-thin Electron Sheet used as a Relativistic Mirror for the Production of Brilliant, Intense Coherent γ -Rays
6. Nuclear Techniques for Characterization of Laser-Induced Radiations
7. Modelling of High-Intensity Laser Interaction with Matter
8. Studies of enhanced decay of ^{26}Al in hot plasma environments
9. Nuclear phases and symmetries

ELI-NP High Power Laser + γ/e^- Beam

1. Probing the Pair Creation from the Vacuum in the Focus of Strong Electrical Fields with a High Energy γ Beam
2. The Real Part of the Index of Refraction of the Vacuum in High Fields: Vacuum Birefringence
3. Cascades of e^+e^- Pairs and γ -Rays triggered by a Single Slow Electron in Strong Fields
4. Compton Scattering and Radiation Reaction of a Single Electron at High Intensities
5. Nuclear Lifetime Measurements by Streaking Conversion Electrons with a Laser Field

11. Experimente de Spectroscopie Nucleară și Astrofizică cu Fascicule γ

Nuclear Astrophysics with Gamma Beams at ELI-NP

(Dr. Cătălin Matei)

1. The Early Universe - Nucleosynthesis in the first 20 minutes from Big Bang
2. Quiescent Stellar Burning - Carbon and Oxygen ratio: The Holy Grail of Nuclear Astrophysics
3. Measurements of (γ,p) and (γ,α) Reaction Cross Sections for p-Process Nucleosynthesis

Exotic nuclear physics and astrophysics with radioactive ion beams

(Dr. Paul Constantin)

1. Ion beams: from nuclear research to applications and industry.
2. Radioactive ion beams: factories for exotic nuclear physics and astrophysics.
3. Relevance of radioactive ion beams for astrophysics: search for the r-process and p-process element synthesis.
4. Selection of exotic nuclei with powerful mass spectrometers.
5. Study of exotic nuclei via decay spectroscopy and laser spectroscopy.

12. Applications and Industry Relevant Developments at ELI-NP

Industrial Applications

(Dr. Violeta Iancu)

1. Industrial Applications for the Management of Nuclear Materials
2. Radioscopy and Tomography
3. Medical Radioisotopes produced by γ Beams
4. Intense BRilliant Positron-Source: positrons in Applied Physics
5. Positron-excited Auger Electron Spectroscopy (PAES)
6. Positron Annihilation Spectroscopy (PAS)

Additional slides

Introduction to ELI-NP

Extreme Light Infrastructure - Nuclear Physics facility (ELI-NP) consist of two components:

- A very high intensity laser system, with two 10 PW laser arms able to reach intensities of 10^{23} W/cm² and electrical fields of 10^{15} V/m.
- A system with max. γ energy: 19.5 MeV with spectral density: 10^4 ph/s/eV and ~ 0.1 % bandwidth. Production method: light photons scattered on high energy electrons.

This infrastructure will create a new European laboratory with a broad range of science covering frontier fundamental physics, new nuclear physics and astrophysics as well as applications in nuclear materials, radioactive waste management, material science and life sciences. For the realization of ELI-NP we envisage the following two principles as guideline:

- a staged realization of ELI-NP
- a flexible design of the ELI-NP facility.

ELI-NP will allow either combined experiments between the high-power laser and the γ beam or stand-alone experiments.

The γ beam will have unique properties in world wide comparison and opens new possibilities for high resolution spectroscopy at higher nuclear excitation energies. They will lead to a better understanding of nuclear structure at higher excitation energies with many doorway states, their damping widths, and chaotic behaviour, but also new fluctuating properties in the time and energy domain. The detailed investigation of the pygmy dipole resonance above and below the particle threshold is very essential for nucleosynthesis in astrophysics. In ion acceleration high power laser allows to produce 10^{15} times more dense ion beams than achievable with classical acceleration. The cascaded fission-fusion reaction mechanism can then be used to produce very neutron-rich heavy nuclei for the first time. These nuclei allow to investigate the $N = 126$ waiting point of the r-process in nucleosynthesis. With this type of new laser acceleration mechanism very significant contributions to one of the fundamental problems of astrophysics, the production of the heavy elements beyond iron in the universe can be addressed. According to a recent report by the National Research Council of the National Academy of Science (USA), the origin of the heaviest elements remains one of the 11 greatest unanswered questions of modern physics. The γ beam also opens many new possibilities for applications. The γ beam itself can be used to map the isotope distributions of nuclear materials or radioactive waste remotely via Nuclear Resonance Fluorescence (NRF) measurements. At lower energies around 100 keV the high resolution of the beam is very important for protein structural analysis. In addition it will be produced low energy, brilliant, intense neutron beams and low energy, brilliant, intense positron beams, which open new fields in material science and life sciences. The possibility to study the same target with these very different brilliant beams will be unique and advance science much faster.

High power laser allows for intensities of up to 10^{24} W/cm². Here very interesting synergies are achievable with the γ beam and the brilliant high energy electron beam to study new fundamental processes in high field QED. The use of the very high intensity laser and the very brilliant, intense γ beam will achieve major progress in nuclear physics and its associated fields like the element synthesis in astrophysics and many new applications or even to observe in fundamental physics the first catalyzed pair creation from the quantum vacuum. In the field of basic nuclear physics, a better theoretical understanding of compound nuclear resonances in comparison with much improved experiments will also lead to better models for the element synthesis in astrophysics.

Compared to former γ facilities, the much improved bandwidth is decisive for this new γ beam facility. Several experiments, like the parity violation experiment, only become possible due to this much better bandwidth. The large majority of γ beam experiments will profit proportionally from the better bandwidth, because the widths of the studied nuclear levels are significantly smaller than the width of the beam. Thus the ratio of “good” γ quanta within the nuclear linewidth compared to the “bad” γ quanta outside, which undergo Compton scattering and cause background in the detectors, will be significantly improved. Besides a wide range of fundamental physics projects also a variety of applied research will be enabled at ELI-NP. The project to develop techniques for remote characterization of nuclear materials or radioactive waste via NRF will gain large importance for society in Europe. It may even turn out that a detailed in-situ characterization of partially used reactor fuel elements may result in producing more usable energy in reactors for the same amount of radioactive waste. On the other hand also the new production schemes of medical isotopes via (γ ,n) may also reach socio-economical relevance. The new types of neutron sources and positron sources may reach large importance in material and life sciences.

<https://www.youtube.com/watch?v=kh84CJ5oOAA&feature=youtu.be>

8. Cărămizile Universului (fermioni)

		Elemente de structura materie (Fermioni)			Interactii (Bosoni)
		I	II	III	
masa		2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
sarcina		2/3	2/3	2/3	0
spin		1/2	1/2	1/2	1
		u	c	t	γ
nume		up	charm	top	interact. EM (foton)
	Quarci	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
		-1/3	-1/3	-1/3	0
		1/2	1/2	1/2	1
		d	s	b	G
		down	strange	bottom	interact. tare (gluon)
	Leptoni	< 2.2 eV	< 0.17 MeV	< 15.5 MeV	91.2 GeV
		0	0	0	0
		1/2	1/2	1/2	1
		ν_e	ν_μ	ν_τ	Z^0
		neutrino <i>e</i>	neutrino μ	neutrino τ	interact. slaba
		0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
		-1	-1	-1	± 1
		1/2	1/2	1/2	1
		e	μ	τ	W^\pm
		electron	muon	tauon	interact. slaba

Bosoni (Forte interactie)