

CORNELIU IOAN STĂNESCU

CURS SCURT  
DE  
ISTORIA FIZICII

EDITURA UNIVERSITĂȚII DIN BUCUREȘTI

– 2000 –



Ed 223,228

**CORNELIU IOAN STĂNESCU**

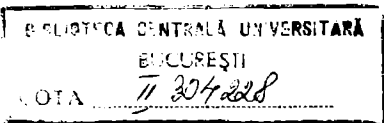
**CURS SCURT  
DE  
ISTORIA FIZICII**

**Editura Universității din București**

**– 2 0 0 0 –**

<https://biblioteca-digitala.ro> / <https://unibuc.ro>

Referenți științifici: **Conf. dr. ION PETRE**  
**Dr. VASILE MIHAI**



64/01

© Editura Universității din București  
Șos. Panduri 90-92, București - 76235; Tel./Fax: 410.23.84  
E-mail: editura@unibuc.ro  
Internet: www.editura.unibuc.ro

**B.C.U. București**



C20010969

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale**  
**STĂNESCU, CORNELIU IOAN**

**Curs scurt de istoria fizicii / Corneliu Ioan Stănescu -**  
**București, Editura Universității din București, 2000**

p. ; cm.

Bibliogr.

ISBN 973-575-496-7

53(100)(091)

## **TABLA DE MATERII**

<i>Locul Istoriei Fizicii în Istoria Științelor Naturii</i>	
<i>Periodizarea Istoriei Fizicii.....</i>	<b>5</b>

*MECANICA – știință de început a Fizicii .*

*Mecanica în statele sclavagiste: Babilon, Asiria, India, Grecia din epoca bronzului. Noțiunile de timp, lungime, greutate. Mecanica în epoca fierului. Concepții filozofice asupra elementelor primordiale în China și India. Modele cosmologice ale filozofiei grecești aplicate fenomenelor din natură. Perioada elenistă. Legătura cu astronomia și matematica. Arhimede. Perioada romană. Fizica în Evul Mediu. Contribuția țărilor orientale: China, India, Horezm, Califatul Arab.*

*Influența dezvoltării economice din Europa. Nominaliștii și realiștii. Epoca Renașterii: Leonardo da Vinci, N. Copernic. Statica. Galileo Galilei, Isac Newton. Apariția opticii, căldurii, electricității. Mecanica sec.XVIII. Dezvoltarea industrială. Leibnitz, D'Alembert, Euler, Lagrange, Hamilton. Legătura cu matematica modernă. Mecanica analitică. Unde elastice. Doppler, Helmholtz. Ultrasunete. Paul Langevin.....*

**9**

*CĂLDURA și FIZICA MOLECULARĂ. Antichitate: Platon, Aristotel. Evul Mediu: Gassendi.*

Roger Bacon, R. Boyle, Bernoulli, Lomonosov, Lavoisier, Laplace. Apariția principiilor termodinamicii: B.T. Ramford, H. Davy, Clément-Désormes, Dalton. Legătura cu chimia. Hess, R. Mayer, Clausius, J.P.Joule, W. Thomson.

Mașinile cu vaporii. Sadi Carnot, E. Clapeyron, E.Clausius, W. Thomson, W. Gibbs. Funcțiile de stare ale energiei și entropiei. Principiul al III-lea. Nernst, Planck. Fizica moleculară: J. Dalton, A. Avogadro, D. Bernoulli, J.L. Gay-Lussac, Boyle-Mariotte. Distribuția vitezelor moleculare: Maxwell, Boltzmann. Fascicole moleculare: O. Stern. Diametrul moleculelor de gaz: M. Knudsen, Loschmidt. Legea echipartiției energiei. Dulong și Pêtit. Fenomene în vid:

M. Knudsen. Mecanica statistică. Ipoteza ergodică. Metode de măsurare a temperaturilor. Galileo, Toricelli, Fahrenheit, Reaumur, Kelvin. Temperaturi joase..... 38

**ELECTRICITATEA și MAGNETISMUL.** Antichitate și Ev Mediu. Fenomenul inducției magnetice, busola P. Peregrinus și W. Gilbert. Mașinile electrostatice: O. von Guericke, Hauskbe, Winkler, Ramsden. Corpuri conductoare și izolatoare. S. Gray, F.U. Aepinus. Butelia de Leyda. Electricitatea atmosferică: B.Franklin. Conservarea cantității de electricitate. Faraday, Ritter, Davy, T.A. Edison, Simon și Pfaff, J. Joule, L. Fr.-Lentz,

*Oersted, Ampère, Weber, Ohm. Teoria lui Maxwell. Electroliza, inducția electromagnetica: M.Faraday. F.E. Lenz.*

*Dezvoltarea aparatului matematic. Diamagnetism și paramagnetism. P. Langevin, W. Pauli.*

*Feromagnetism. P. Weiss. Teoria cuantica a feromagnetismului: Frenkel, Heisenberg. Supraconductibilitatea. H. Kammerling-Ones, W. J. de Hass, R. Ochsenfeld. Electrodinamica Cuantică: Dirac, Heisenberg, Pauli..... 52*

*OPTICA și DESCARCĂRILE în GAZE. Antichitate și Ev Mediu. Galileo- Galilei, Francesco, Grimaldi, R. Hooke, E. Bartolinus, O.Römer. Telescoape, teoria corpusculară a luminii, teoria culorilor: I. Newton. Birefrigența: C. Huygens. Optica geometrică: W.R. Hamilton, C.F. Gauss. Operele lui L. Euler, J. Bradley, J. Lambert, D. Arago, T. Young, E. Malus, A.J. Fresnel. Difracțiile Fraunhofer și Fresnel.*

*Razele X: W.K. Rontgen. Difracția cu raze X. Emisia stimulată a radiației: laseri și maseri..... 69*

*FIZICA ATOMICĂ și NUCLEARĂ. Teoriile radiației corpului negru. Efectul fotoelectric: A. Einstein. Efectul Compton. Teoria cuantică a lui Planck. Liniile spectrale ale hidrogenului în câmp electric: J. Stark. Modele atomice: N. Bohr, Rutherford, Sommerfeld. Seriile spectrale ale hidrogenului. Sistemul periodic*

*al elementelor. Magnetismul lui Bohr. Dualismul undă-particulă. Unde de Broglie. Ecuația Schrödinger. Radioactivitate: P. și M. Curie. Transmutații radioactive. Reacții nucleare : Rutherford și Chadwick, Bothe, Becker.*

*Radioactivitatea artificială: I. și F. Curie. Neutronii: E. Fermi. Școala din Göttingen. Dezintegrarea uraniului. Reactoare și bombe nucleare. Acceleratoare de particule. Structura particulelor subatomice ..... 80*

*FIZICA CORPULUI SOLID și SEMICONDUCTORII. Structura cristalină. Gazul Fermi de electroni. Nivele și suprafețe Fermi. Semiconductori de tip *n* și *p*. Dioda și tranzistorul. Circuite integrate. Laseri cu semiconductori. Polaroni și fononi. Microprocesoare..... 109*

*BIBLIOGRAFIE..... 124*



## INTRODUCERE

Istoria fizicii face parte integrantă din istoria științelor naturii și studiază modul în care au evoluat ideile în fizică, ca domeniu de sine stătător. Istoria fizicii nu conține numai o înșiruire de date istorice, ci se ocupă și cu evoluția teoriilor în fizică, a metodelor de cercetare, care modifică dinainte reprezentările uriașe despre fenomenele fizice, limitările acestor reprezentări precum și modul evolutiv în care uneori sunt depășite.

Istoria fizicii păstrează un contact intrinsec cu evoluția științelor înrudite: chimia, astronomia, mineralogia precum și cu tehnica de la care preia îmbunătățirea metodelor experimentale și uneori fapte experimentale care îmbunătățesc sau revoluționează fizica.

Fizica a avut întotdeauna o strânsă legătură cu matematica -- adevărată unealtă a fizicianului -- care permite enunțarea în formă concisă și cantitativă a legilor fizice. De multe ori în istoria științelor, fizicianul și chimistul, fizicianul și astronomul, fizicianul și matematicianul se regăsesc în aceeași persoană. Ajunge să cităm pe **Galileo Galilei** (1564-1642), **Cristian Huygens** (1629-1695) fizicieni și astronomi în același timp, **Robert Boyle** (1627-1691) și **Édmé Mariotte** (1620-1684), pe **Henry Cavendish** (1731-1810), pe **Antoine-Laurent Lavoisier** (1743-1794) și **Humphery Davy** (1778-1829), fizicieni și chimiști în același timp. Legătura cu matematica este la fel de spectaculară. Nume ca **Isaac Newton** (1643-1727), **Gottfried**

**Wilhelm Leibnitz (1646-1716), Daniel Bernoulli (1700-1782), Leonhard Euler (1707-1783), Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), Pierre Simon de Laplace (1749-1827), Augustin-Louis Cauchy (1783-1859), William Rowan Hamilton (1805-1865)** sunt suficiente pentru început în ilustrarea întrepătrunderii cu matematica.

O notă particulară prezintă legătura fizicii cu *filosofia*. **Descartes** sau **Leibnitz** sunt cunoscuți în primul rând ca filosofi. **Kant** este binecunoscut prin ideile sale cosmologice despre formarea sistemului nostru planetar. **Helmholtz, Mach, Poincaré** vin și cu publicații de filosofie. **Kant** este puternic influențat în lucrările sale de teoriile lui **Newton**, ca să nu mai vorbim despre amplele implicații filosofice ale mecanicii cuantice și fizicii particulelor elementare.

În fizică se preconizează uneori studiul pe *epoci centrate pe unele mari personalități* (**Newton, Lomonosov, Faraday, Einstein**). Progresul în fizică se datorează și muncii anonime a mii de oameni care s-au consacrat și jertfit uneori pentru Fizică, care au adunat și observații experimentale și care au efectuat calcule necesare pentru continuitatea progresului în fizică. Opera lor a pregătit prin acumulări cantitative progresul și a făcut posibilă realizarea unor descoperiri geniale devenite necesare. Acest lucru este evident mai ales începînd cu secolul al XVII-lea.

Timpu a dovedit că o descoperire care la epoca ei a reprezentat un progres remarcabil, poate să devină banală pentru posteritate. Acumularea ulterioară de cunoștințe o face ușor de înțeles, așa că o prețuire obiectivă trebuie să considere timpul și faptele experimentale confirmate care urmează unei mari descoperiri.

O problemă delicată care poate apărea în istoria fizicii ca de altfel în orice istorie a științei este uneori problema stabilirii priorității unei descoperiri. Este clasic exemplul cu legea lui **Boyle-Mariotte**, descoperită și devenită cunoscută în 1662 de **Boyle** (de fapt de un elev al său, **Richard Townley**) și redescoperită ulterior independent de **Mariotte** în 1679. De multe ori acest gen de dispută se soluționează prin stabilirea priorității într-o publicație științifică de circulație notorie, dar au fost și sunt numeroase cazurile când o descoperire importantă este însoțită de “voci” care o revendică pe drept sau pe nedrept. Sunt și cazuri când o descoperire devine necesară prin acumularea materialului faptic, practic ea “plutește în aer” și atunci se poate să fie făcută independent de mai mulți cercetători.

Periodizarea istoriei fizicii se poate face ținând seama de particularitățile acestei științe care este jalonată temporar de descoperiri radicale care revoluționează profund reprezentările fenomenelor, teoriile sau metodele de investigare. În mod clasic vom adopta următoarea periodizare împărțită în stadii (cicluri) de evoluție logică:

#### A) Stadiul contemplării directe:

##### 1. *Științele fizice în antichitate până în secolul al III-lea.*

- a) etapa arhaică ionică (sec. VI î.e.n.);
- b) etapa clasică (sec. V și sec. IV î.e.n.);
- c) etapa elenistă (sec. III î.e.n.).

##### 2. *Fizica evului mediu până în secolul al XV-lea.*

- a) etapa arabă;
- b) etapa scolastică.

#### B) Stadiul analizei dezvoltate:

##### 3. *Revoluția științifică (sec. al XVI-lea-începutul sec. XVII).*

- a) Fizica în epoca Renașterii;

b) interpretarea mecanicistă a fenomenelor fizice. Nașterea Fizicii moderne (**Galileo-Descartes**).

**4. Fundamentarea științei fizicii (sec. al XVII-lea-sec. al XVIII-lea).**

- a) dezvoltarea mecanicii și opticii. Opera lui **Newton**;
- b) secolul newtonianismului;
- c) dezvoltarea celorlalte domenii în fizică;
- d) apariția fizicii teoretice.

C) Stadiul sintezelor dezvoltate.

**5. Fizica clasică (sec. al XIX-lea).**

a) descoperirea legii conservării energiei și a unității fenomenelor fizice;

- b) dezvoltarea fizicii atomice și statistice;
- c) dezvoltarea teoriei electromagnetice (**Faraday-Maxwell**).

**6. Revoluția în fizică (1895-1917).**

- a) teoria relativității (**Einstein**);
- b) fizica cuantică (**Bohr**).

**7. Fizica modernă și contemporană.**

- a) perioada 1917-1939;
- b) perioada după 1939.

În acest curs preferăm să tratăm problemele pe capitole disciplinare: mecanică, electricitate, fizică moleculară, fizică atomică etc. La fiecare din ele vom respecta și cronologia disciplinelor importante.

## Capitolul I

# MECANICA

Mecanica este știința de început a Fizicii, de fapt baza tuturor celorlalte discipline fizice. Originea ei se pierde în antichitatea depărtată când omul, pe baza experienței practice dobândite pentru supraviețuire, trece de la gândirea primitivă la un rudiment de gândire științifică, eliminând denaturările iraționale ale interpretării fenomenelor.

Primele începuturi ale mecanicii se găsesc în statele sclavagiste din epoca bronzului: Babilon, Asiria, India, Grecia, în care producția, deși manuală, cunoaște o adevărată explozie. Crește numărul de meșteșugari specializați care lucrează mai ales în tehnica construcțiilor, în temple și monumente uriașe, diguri și cetăți de apărare. Se folosesc *pârghiile*, *planul înclinat*, *scripetele*, *șuruburile*, *roțile dințate*, *mașini simple de aruncat pietre*. În această epocă se formează primele noțiuni abstracte de *lungime*, *greutate*, *raport*, *volum*, se inventează *scrisul* (întâi hieroglific, apoi cueniform). Problemele legate de agricultura irigată, mai ales în zonele inundabile, crează necesitatea măsurătorilor și apoi a observațiilor astronomice. *Oservațiile astronomice* efectuate de preoții din Egipt, Asiria și Babilon, conduc la măsurarea timpului, lungimilor și la *alcătuirea calendarelor*. Se dezvoltă *aritmetica numerelor întregi și fracționare*, precum și unele elemente de *geometrie plană* și *calculul volumelor*. Multe din cunoștințele acestei epoci s-au pierdut în urma distrugerilor și războaielor, ceea ce explică stagnarea informațiilor din acest domeniu începând cu anul 1600 î.e.n.

După epoca bronzului, epoca sclavagistă cunoaște o evoluție importantă prin descoperirea *fierului*. Majoritatea imperiilor anterioare au dispărut cu excepția imperiului chinez bine apărat. Apare fenomenul de migrație al unor popoare mai puțin civilizate: hitiții, sciții, perșii. Civilizația continuă să se dezvolte în China și India, dar apar și noi centre de civilizație, pe țărmurile Mării Mediterane, unde apar statele grecești și feniciene. Orașele din această epocă folosesc sclavi, iar ca unelte se folosesc unelte și mașinile epocii de bronz. Apar acum *rigla, firul cu plumb, compasul, pila, cuiul etc.* Pe această bază se dezvoltă puternic tehnica militară, apare *moneda metalică* și relațiile marfă-bani. Cultura devine mult mai accesibilă prin inventarea *alfabetului* de către fenicieni și greci.

În secolele VI-IV î.e.n. apar primele elemente ale filosofiei grecești raționale, bazată pe ideea că lumea este materială, infinită în spațiu și timp. Unele din aceste idei sunt preluate din operele cosmologice ale Chinei și Indiei antice (**Lin Tzin** – sec. IV – care concepe infinitatea universului, **Lao Tzi** – fondatorul *daoismului* sec. VI-V î.e.n.). *Dao* este conceptul de lege naturală care stă la baza universului și exprimă necesitatea naturii însăși. Unele școli filosofice materialiste din India antică (*sistemul cervaka*) susțin că totul este format din patru elemente primordiale: *pământ, aer, apă și foc* iar corpurile sunt formate din particule foarte mici indivizibile (*paramanu*). Astronomia indiană emite ipoteza despre forma sferică a pământului, se dezvoltă sistemul zecimal al aritmeticii și se pun bazele trigonometriei. Mișcarea, spațiul și timpul sunt privite ca însușiri proprii materiei și ceea ce e mai important – ca inseparabile de materie.

În aceste condiții apare filosofia greacă – prima știință unitară și nedivizată care încearcă să construiască un model al lumii, pe baza

interpretării firești a fenomenelor din natură și societate. Însuși termenul de “fizică” apare la greci în această perioadă (de la cuvântul “*physis*” – care înseamnă primar, stabil în lucruri) și el avea atunci alt înțeles – se referea la întreaga învățătură despre natură (ceva asemănător cu noțiunea dao).

În perioada elenistică deosebim trei etape mai importante:

- a) etapa *ionică* sau *arhaică* (sec. VI î.e.n.);
- b) etapa *ateniană* sau *clasică* (sec. V-IV î.e.n.);
- c) etapa *alexandrină* sau *elenistă* (sec. II î.e.n.).

a) **Etapa ionică** se dezvoltă în cetățile ioniene din Asia Mică în special în Milet, precum și în noile colonii grecești din Italia și Sicilia. Această așezare a facilitat transferul de cunoștințe ale vechilor civilizații orientale. Aceste cetăți sclavagiste erau conduse de *tirani*, ieșiți din pătura negustorilor bogați. Filosofii acestei etape, materialisti spontani, susțineau unitatea materială a lumii, iar corpurile erau privite ca diferite *stadii de condensare sau rarefiere* ale aceleiași substanțe unice, care la **Thales**, este *apa*, la **Anaximenes** – *aerul*, la **Heraclit** – *focul*. **Anaximandru** consideră *existența* avînd la bază materia nedefinită (*apeiron*) ca principiu nedeterminat și nelimitat, într-o mișcare continuă.

După **Heraclit** cosmosul e privit ca “un foc veșnic viu care se întetește și se domolește periodic cu măsură”. Ionienii formulează pentru prima oară în știință *principiul conservării materiei* și ei propagă ideea infinității în spațiu și timp a cosmosului. Tot **Heraclit** din Efes considera lumea ca un proces veșnic de “curgere” și schimbare a materiei (*panta rei*). Logica universală a schimbărilor este lupta și unitatea contrariilor.

Între anii (580-500 î.e.n.) trăiește în Samoș și Crotona legendarul **Pitagora**, fondatorul școlii pitagoriene. Această școală considera că la baza fenomenelor există o ordine cosmică guvernată prin *numere*, considerate

drept *esențe divine*. Concepția deși pur idealistă pune accentul pe *latura cantitativă* a fenomenelor, dar ea greșește căutând în numere taine și revelații mistice. Mai importantă este însă concepția cosmologică a acestei școli. Pitagoricul **Philolaus** (470-399 î.e.n.) consideră Pământul ca o sferă care se mișcă în jurul unui foc central, împreună cu Soarele, Luna și planetele, însoțită de *sunete armonioase*, exprimate prin raporturi numerice simple. Această concepție este aplicată și la legea coardelor vibrante.

O altă școală idealistă din această epocă este *școala eleată* (fondată în colonia grecească *Elea* – sec. V î.e.n.) – cu **Parmenide** și **Zenon** ca reprezentanți principali – care negau transformarea și mișcarea din natură – *aporiile lui Zenon* – un fel de contradicții imposibil de rezolvat. Un aport pozitiv al acestei școli -recunoașterea discontinuității și divizibilității infinite a spațiului și timpului, pierde din vedere continuitatea acestor două entități. Aceste aporii au fost ulterior considerate de **Aristotel** drept greșeli logice și sofisme comise față de logica formală. Un alt aport pozitiv al acestei școli este înțelegerea și exprimarea prin concepte a rolului contradicțiilor. Aceste aporii ale lui **Zenon** au devenit actuale în secolul XX când s-au discutat particularitățile mișcării microparticulelor.

b) *Etapa clasică* – apare în timpul democrației sclavagiste – *Atena lui Pericle* – în perioada de apogeu a vieții economice. În secolul IV î.e.n. apar la Atena primele colective științifice organizate – *Academia lui Platon* și *Liceul lui Aristotel* unde apare pentru prima oară munca de cercetare. Apare un curent materialist, reprezentat de **Anaxagora**, **Empedocle** și de atomiștii **Leucip** și **Democrit**. Se consideră mai multe elemente primare în constituția materiei și se enunță *principiul conservării materiei*. Mișcarea conține



echivalențe ale atracției și repulsiei – ceea ce a influențat ulterior concepțiile lui Newton.

Punctul culminant al acestei etape este sistemul filosofic al lui **Democrit** (460-370 î.e.n.), filosof cu lucrări în filosofie, logică, matematică, fizică, biologie, etică, pedagogie, artă etc. El consideră *atomii* (indivizibili) la baza materiei – invariabili, veșnici, calitativ identici – care se deosebesc cantitativ numai prin formă, ordine și poziție. Universul este alcătuit din diferite combinații de atomi și din vid. Materia se automișcă pe baza unor cauzalități obiective, a unor legități naturale – concepție simplificată de un fatalism care consideră întâmplarea ca un fenomen lipsit de cauză. Lumile nesfârșite sunt generate de vârtejuri atomice. Ideile lui **Democrit** au influențat pe **Galilei**, **Descartes**, **Boyle**, **Newton**, **Lomonosov**.

Doctrina lui Democrit a fost combătută în această epocă de filosofia idealistă a lui **Socrate** și **Platon**. **Platon** diferențiază lumea lucrurilor, percepută senzorial de lumea abstractă a ideilor imuabile, veșnice. Lucrurile sunt percepute ca o oglindire palidă a ideilor, urmare a unui raționament matematic logic, perfect geometric, efectuat asupra ideilor. Această concepție tolerată mai târziu de biserica catolică a influențat măcar așa dezvoltarea științei. Tot în această epocă **Arhitas** din Trent (430-365 î.e.n.), filosof din școala lui **Platon**, se ocupă de primele *probleme teoretice ale Mecanicii*; lui i se atribuie descoperirea *scripetelui* și a *șurubului*.

O poziție intermediară între materialisti și idealisti ocupă școala *peripateticiană* a lui **Aristotel** (384-322 î.e.n.) la localul *Liceum din Atena* – a cărui operă *Organon* sistematizează cunoștințele epocii și ale predecesorilor în logică, fizică, metafizică, etică, poetică și politică. **Aristotel**, elev al lui **Platon** șiceptor al lui **Alexandru Macedon** analizează în această operă procesul gândirii și crează *logica*, punându-i la bază *ideea clasificării* și

folosind un sistem de clasificare bazat pe asemănare și diferență. Filosofia lui **Aristotel** a dominat mai târziu evul mediu fiind filosofia bisericii catolice.

**Aristotel** pune la baza înțelegerii lumii, Fizica într-un concept mai larg decât cel actual apropiindu-se de materialism în ceea ce privește filosofia naturii. Recunoscând *existența materiei*, **Aristotel** elaborează *teoria celor 4 cauze*: (1) cauza materială (materia), (2) cauza formală (forma), (3) cauza eficientă (transformarea materiei în obiect, (4) cauza finală – scopul.

**Aristotel** este important în Istoria Fizicii prin *analiza noțiunilor de spațiu, timp și mișcare*.

Noțiunea de *spațiu* o leagă de *locul* ocupat de corp, noțiunea de *timp* este legată de *mișcare*, timpul fiind o unitate de măsură a mișcării cu ajutorul mișcării circulare uniforme a unei sfere. În legătură cu mișcarea, **Aristotel** distinge 4 forme de mișcare în care preia concepția lui **Empedocle** asupra celor 4 elemente: *foc, aer, apă, pământ*.

Concepția lui **Aristotel** – *geocentristă* – adică cu pământul în centrul lumii împarte lumea în 2 părți: *lumea cerească*, indestructibilă, veșnică și *lumea sublunară*, materială și imperfectă. Greutatea este proprietatea corpurilor de a fi atrase spre centrul Pământului.

**Aristotel** consideră că un corp trebuie împins cu o forță pentru a se pune în mișcare, enunțând astfel prima parte din principiul inerției completat ulterior de **Galilei** și **Newton**. După încetarea forței exterioare corpul continuă să se miște datorită “*fricii de vid*”. Această doctrină a avut ulterior mare influență în știința arabă și medievală (aproape 200 de ani), a fost acceptată și laudată de scolastica medievală.

c) **Perioada elenistă** (sec. III î.e.n. - anul 30 î.e.n.).

După cuceririle militare ale lui **Alexandru Macedon** apar noi imperii sclavagiste, o lărgire a comerțului grecesc cu Orientul și deci un mare avânt economic consecutiv. Centrul economic și cultural se mută de la Atena la Alexandria și Antiohia. În Alexandria se înființează celebra *Biblioteca și Muzeu* – primul institut de cercetare finanțat de stat, unde vin celebri oameni de știință ca **Eudoxus**, **Eratostene**, **Hipparh**, **Arhimede** din Siracuză, **Apollonius** din Pergamon.

În această perioadă, filosofii se detașează vizibil de problematica concretă a științelor și se ocupă mai mult de problemele morale ale filosofiei care capătă astfel un caracter din ce în ce mai accentuat mistic. De menționat din această perioadă sunt școlile *epicurieană*, *stoică* și *sceptică*. Fondatorul școlii epicuriene – **Epicur** (341-270 î.e.n.) din Atena, preia ideile atomist-materialiste de la **Democrit** considerînd însă că atomii diferă prin *mărime*, *formă* și *greutate*. În mișcarea rectilinie a atomilor determinată de necesitate au loc *abateri spontane* de la traiectorie. Spațiul și timpul sunt percepute ca avînd un *caracter discontinuu*.

În general savanții din Alexandria au abandonat teoria “cauzei formale” din fizica lui **Aristotel** și reîntorcîndu-se la teoria atomică a lui **Democrit** au abordat diverse capitole speciale ale științei ca: *geometria* și *aritmetica* (**Euclid**, **Arhimede**), *astronomia*, *optica geometrică*, *mecanica* (**Euclid**, **Ptolemeu**).

În astronomie **Eratostene** (276-195 î.e.n.) determină *raza Pământului*. **Aristar** din Samos (250 î.e.n.) determină *distanța Pământ-Lună* și emite *ipoteza heliocentrică*. **Hipparh** (sec. II) alcătuiește catalogul a 1080 de stele fixe fiind și autorul *epiciclor*. **Ptolemeu** (70-147) în opera sa “*Marea construcție*” cunoscută ulterior în Evul Mediu sub numele de “*Almagestum*” face o expunere sistematică a sistemului geocentric.

În matematică și mecanică (statică) se distinge **Arhimede** (285-212 î.e.n.) care rezolvă diverse *probleme de calcul al suprafețelor, volumelor*, care azi se rezolvă cu calculul integral, ajunge la ideile de bază ale *calculului diferențial*, dă o valoare aproximativă pentru *numărul  $\pi$* , și descoperă că volumele conului, sferei și cilindrului cu baze de rază egale și de aceeași înălțimi se raportează ca 1 : 2 : 3.

Opera sa ca inventator se regăsește în peste 40 de invenții (de citat un *planetariu* alimentat cu un motor cu apă), introduce noțiunea de *centru de greutate*, noțiune pe care o tratează pe larg pentru diverse figuri plane în lucrarea "*Despre echilibrul suprafețelor*". În lucrarea "*Despre pârghii*", **Arhimede** fundamentează *legile pârghiilor* pe care le aplică la calculul volumului sferiei, a suprafeței segmentelor de parabolă etc. Folosind metoda cunoscută azi ca "*metoda areometrului*", **Arhimede** determină pe cale experimentală *greutățile specifice*. În cartea "*Despre corpurile plutitoare*", pune bazele *hidrostaticii* emițind o teorie proprie asupra particulelor din componența lichidelor care concordă perfect cu cea actuală. Arată că suprafața lichidului în repaus are formă sferică, iar centrul sferei coincide cu centrul Pământului. Folosind raționamente succesive asupra hidrosferei, **Arhimede** enunță celebra lege a *plutirii corpurilor în fluide*, care îi poartă numele. Opera sa reprezintă punctul culminant al științei în această perioadă.

Mai putem menționa "*Mecanica*" lui **Heron** care descrie funcționarea mașinilor simple: *troluiul, pârghia, scripetele, pana, șurubul, roțile dințate, planul înclinat*.

În lucrarea "*Enciclopedia matematică*", **Pappus** expune la capitolul VIII, mecanica lui **Arhimede**, **Heron** mai scrie și lucrarea "*Pneumatica*" în care studiază forța motrice a apei, vântului, aburilor și expune unele din

numeroasele sale invenții: *sifomul*, *pompa de incendiu*, *principiul vaselor comunicante*, unele automate cum ar fi: pasărea ce cântă, ușa de la templu ce se deschide automat, precum și celebra sa *morișcă cu vapori* pe principiul reacției ce-i poartă numele – *eolipidul*.

**Perioada romană** (sec. I î.e.n. - sec. IV e.n.) care urmează acestor strălucite realizări ale științei antice, marchează o perioadă de decadentă a științei antice. Locul științelor teoretice este luat de discipline cu aplicații tehnice: *topografia*, *tehnica construcțiilor*, *a apeductelor*, *arta militară*. În această perioadă literatura științifică este vulgarizată prin intermediul *enciclopediilor* care descriu în stil popular realizările științei antice grecești – cartea lui **Boetius** (480-524). Dintre operele remarcabile putem menționa lucrarea “*De rerum naturae*” (“Despre natura lucrurilor”), în care poetul **Lucrețiu** (98-55 î.e.n.) expune o doctrină atomistă și opera arhitectului **Vitruvius** (sec. I î.e.n.) în care acesta descrie *rezonatorii* folosiți în amfiteatrele antice.

**Fizica în Evul Mediu**: Prăbușirea imperiului roman sclavagist, atrage un regres al comerțului, meseriilor, artelor, o decădere a orașelor, urmare a distrugerilor provocate de invaziile barbare. Pe ruinele imperiului își face apariția societatea feudală caracterizată prin trei perioade: (sec.V-XI) – *evul mediu timpuriu* când se relansează dezvoltarea micii producții prin economie naturală; a doua perioadă (sec. XI-XVI) – *evul mediu târziu* când se dezvoltă orașele, se formează statele naționale, meseriile, comerțul și cea de-a treia perioadă când începe acumularea primitivă a capitalului.

În prima perioadă tehnica scade sub nivelul dezvoltării din sclavagism, dar apoi își reia ritmul de creștere din ce în ce mai rapid. În această perioadă învățământul este monopolul bisericii catolice, în care **Democrit**, **Epicur**, **Platon** nu-și mai găsesc locul. Este acceptat în schimb

**Aristotel** într-o formă adaptată care să explice punerea de acord între știință și teologie. În acest mod, în a doua perioadă a evului mediu apare *scolastica*. Acum o contribuție pozitivă importantă apare din partea țărilor Orientului extrem și mijlociu: *China, India, Horezm și Califatul Arab*. Spre exemplu în *China* în perioada *imperiului Han* (sec. II î.e.n.) apar relații feudale și se dezvoltă meșteșugurile.

În anul 105 **Țai Lun** inventează *hârtia* din coajă de copac și zdrențe, apare *producția de porțelan* (sec. III î.e.n.). În sec. VII (e.n.) apare *arta litografică*, iar în anul 1041 fierarul **Bi Sen** inventează *tiparul cu litere mobile*. Chinezii descoperă și *praful de pușcă* (sec. X), navigația cu folosirea *busolelor magnetice*. În matematică ei descoperă *algebra* (sisteme de ecuații de gradul I, ecuații de gradul III, operații cu valori negative, extragerea rădăcinii pătrate și cubice).

În anul 132 astronomul **Cijan Hen** inventează un *seismograf* original.

În *India* se elaborează în matematică sistemul de numerotare cu cifra zero, se studiază *seriile aritmetice și geometrice, trigonometria*. Astronomul **Aribhata** emite ideea formei sferice a Pământului, precum și a rotației în jurul axei sale.

La *arabi*, în secolele IX-XI, se formează *Califatul Arab*, care se întindea de la granițele Indiei, Asia Mică, Nordul Africii, până în Peninsula Iberică. Știința arabă preia moștenirea antichității eleniste și își aduce contribuții la dezvoltarea staticii și hidraulicii, a opticii geometrice, astronomiei și matematicii, influențând totuși prin concepții mistice scolastica medievală.

Se remarcă **Muhamed ben Muza al Horezmi** (sec. IX) – creatorul *algebrei*, astronomul **Ulubek** (1394-1449), fondator al *observatorului din Samarkand*, care întocmește primele *tabele trigonometrice*, **Avicenna (Abu Ali Ibn Sina)** (980-1037), tadjic din Buhara cu lucrări importante de mecanică și optică geometrică, **Abu-Reihan Biruni** (973-1048) din Horezm, astronom care a inventat *astrolabul*, a determinat înclinarea eclipticii pe ecuator cu variațiile ei seculare, circumferința Pământului (44000 km, adică  $R = 6400$  km), a găsit o metodă de determinare a *longitudinii și latitudinii*, a susținut *rotirea Pământului* în jurul Soarelui. În plus a dat metode de determinare a *greutății specifice*, a descris *balanța* și a scris un tratat de mineralogie.

Centrul cultural arab a fost situat la universitatea din *Cordoba*.

**Al Hazini** (sec. XII) în “*Cartea despre balanța înțelepciunii*” continuă cercetările lui **Biruni** legate de greutatea specifică.

În Europa, la sfârșitul secolului al XI-lea începe dezvoltarea orașelor din *Italia, Catalonia, Franța, Sudul Angliei, Țările de Jos, regiunea Rinului*. Apar orașe – state independente unde se dezvoltă producția meșteșugărească și comerțul. În secolul al XII-lea – “secolul traducerilor” la *Toledo* și în *Siracuză* se traduc din arabă operele lui **Ptolemeu, Euclid, Avicenna, Ahaven**, din greacă “*Optica*” lui **Euclid**, operele lui **Heron** etc.

Apar vestitele universități medievale: cea de la *Bologna* (1160), *Oxford* (1167), *Paris* (1208), *Cambridge* (1209), *Padua* (1222), *Neapole, Praga, Cracovia, Viena, Heidelberg*, deocamdată sub control teologic, unde se preda doctrina lui **Aristotel**.

În aceste universități se aprofundau mai ales filosofia și teologia, iar “artele mecanice” erau profund desconsiderate. Există numeroase tendințe de emancipare de controlul bisericii, reflectate pe plan filosofic prin disputa

dintre *realiști* (care conform lui **Platon** vedeau lucrurile ca fiind copii imperfecte ale noțiunilor) și *nominaliști* (care susțineau existența a două adevăruri: unul bazat pe revelația divină, nedemonstrabil și altul descoperit de rațiune care nu coincide mereu cu primul).

În Mecanică apare acum noțiunea de *viteză medie* și de *acelerație*, criticându-se teoria mișcărilor forțate a lui **Arsitotel**. **Buridan** dezvoltă *teoria impulsului* care determină mișcarea unui corp. Încetinirea mișcării este privită ca efect al rezistenței opuse de “greutatea naturală”, fără de care mișcarea corpului ar dura infinit.

În această perioadă știința este dezvoltată mai ales în latura ei experimentală prin dezvoltarea tehnicii. În secolul XIII se importă din Orient cele mai importante invenții: *busola*, *praful de pușcă*, *tiparul*, *hârtia*, *ceasornicul*. În Anglia se construiește un *orologiu mecanic*, cu roți dințate pus în mișcare de o greutate în cădere. În Europa în 1440 se reinventează *tiparul*, iar cartea devine un mijloc puternic de transmitere a culturii și științei.

**Roger Bacon** (1214-1294) personalitate proeminentă a acestei epoci pune accentul pe *observație* și *experiență* în descoperirea adevărului științific.

După anul 1450 începe, pe baza dezvoltării economice și comerciale, o nouă epocă denumită *Renaștere*. Acum începe și o adevărată revoluție științifică din care se va dezvolta știința modernă care are la bază cercetarea sistematică experimentală a naturii. Acest eveniment se petrece în două perioade: 1440-1540 – *Renașterea propriu-zisă* și 1540-1650 – *perioada războaielor țărănești și religioase*. Științele naturii sunt impulsionate de dezvoltarea comerțului și a producției industriale unde încep să apară războiul de țesut, malaxoarele, roți hidraulice la morile de apă și minereul din mine etc. Se dezvoltă întâi orașele din Italia: Veneția, Milano,



Florența apoi orașele din Germania și Țările de Jos. În Germania și Anglia se dezvoltă industria metalurgică și chimică. Existența imperiului otoman care bloca drumul spre India conduce la marile descoperiri geografice: **Columb (1492)**, **Vasco da Gama (1498)**, **Magellan (1519-1522)**. Aceasta implusează și mai mult dezvoltarea comerțului și acumulările de capital în Spania, Portugalia, Olanda, Anglia. Prima știință care se resimte pozitiv este astronomia.

În Italia, savantul **Nicolae Krebs** (cunoscut sub numele latin **Nicolaus Cusanus (1401-1464)**), susține pentru prima oară ideea că Pământul și corpurile cerești sunt de aceeași natură. În perioada Renașterii, Fizica cunoaște cele mai remarcabile contribuții din partea lui **Leonardo da Vinci (1452-1519)** celebru pictor, matematician și inginer. Născut la Florența și protejat de ducele Sforza din Milano, în afară de celebrele sale picturi, a lăsat nu mai puțin celebrele sale caiete de însemnări, al căror studiu continuă și în zilele noastre. **Leonardo da Vinci** se remarcă prin experimente și observații neobosite asupra fenomenelor naturii. Cercetează *rezistența grinzilor, barei înclinate, traiectoria obuzului, curgerea apelor, zborul*. Creează *proiecte de mașini, strunguri, aparate de zburat, unelte, mecanisme*; se preocupă de *natura și propagarea luminii*. Limitările sale se datorează aparatului matematic insuficient dezvoltat în acea epocă. Pentru prima oară **Leonardo da Vinci** remarcă faptul că un corp nu se poate mișca de la sine, ci numai sub acțiunea unei cauze externe – forța. Studiind mișcarea bilelor care cad el spune că viteza și greutatea cresc pe măsură ce bilele se apropie de pământ. Nu cunoștea existența accelerației gravitaționale și legea  $v=g \cdot t$ . Studiind mișcarea obuzelor, trasează cu precizie curba balistică, fără a putea găsi legea mișcării. Leonardo exprimă ideea infinității Universului și contestă rolul egocentric al Pământului.

Un alt titan al acestei epoci este celebrul astronom **Nicolaus Copernic** (1473-1543), născut în orașul polonez *Torun*. În opera sa “*De revolutionibus orbium celestium*” (“Despre rotația sferelor cerești”), **Copernic** calculează mișcările planetelor raportate la Soare după legi comune, și trece astfel de la sistemul geocentric la cel heliocentric (deocamdată consideră orbitele planetelor încă circulare). În secolele ce vor urma, sistemul lui Copernic va deveni arena de luptă între știință și scolastică.

Perioada care urmează Renașterii, între 1540-1650, este caracterizată de regres, datorită reacțiunii feudale și catolice. Acum apare ordinul Iezuiților și au loc războaie religioase în Franța, Țările de Jos, Germania. Apare autodictatul erudit **Tartaglia** care arată, pe bază de raționament teoretic, cum traiectoria unui corp aruncat sub un unghi este o parabolă.

**Cardan** și **Tartaglia** pun bazele calculului algebric prin utilizarea literelor în mod simbolic.

**G. Battista Benedetti** (1530-1590) demonstrează matematic că viteza de cădere a unui corp nu este proporțională cu greutatea, că viteza de cădere nu crește cu micșorarea densității mediului (deci că nu e infinită în vid) și că la cădere aerul nu produce un curent care ar întreține starea de mișcare.

În această perioadă se dezvoltă studiul staticii. **Guido Ubaldi** (1545-1607) definește momentul forței la pârghii și stabilește modul de funcționare al mașinilor simple pe baza vitezelor virtuale.

**Simon Stevin** (1548-1620) din Bruge descoperă *compunerea forțelor cu regula paralelogramului* și unele legi privind echilibrul în vasele comunicante și presiunea pe fundul unui vas care nu depinde de forma vasului.

Opera lui **Copernic** începe să fie din ce în ce mai acceptată de unele minți luminate ale epocii medievale. Unul din cei mai ardenti propagatori a fost călugărul **Giordano Bruno** (1548-1600) care a propagat ideile lui **Copernic** despre sistemul heliocentric și ideile lui **Cusanus** despre infinitatea universului, existența altor stele ca Soarele și sisteme planetare dintre care unele ar putea fi locuite. Pentru această îndrăzneală, el a fost torturat 8 ani de Inchiziție, fiind în cele din urmă ars pe rug la Roma în anul 1600. Triumful teoriei lui **Copernic** este asigurat și de opera astronomului **Johann Kepler** (1571-1630) care admite fără rezerve teoria lui **Copernic** în cartea sa "*Mysterium Cosmographicum*" (1596), căutând însă legături între mișcările planetelor și mistica numerelor. Ulterior, asistent al astronomului **Tycho Braché** de la Praga, are ocazia să facă împreună cu acesta numeroase observații asupra planetelor (mai ales asupra lui Marte), în institutul de astrologie al împăratului Rudolf al II-lea. Cu această ocazie el descoperă forma eliptică reală a planetelor și legea ariilor (planetele descriu pe orbită arii egale în timpuri egale), rezultate publicate în lucrarea "*Astronomia nouă*" (1609). El a realizat faptul că în Soare se găsește cauza mecanică a mișcării planetelor, precum și faptul că o planetă se mișcă cu atât mai încet, cu cât e mai depărtată de Soare. Soarele propagă o forță, invers proporțională cu distanța, care obligă planetele să se miște odată cu Soarele și în același sens. **Kepler** pune problema gravitației corpurilor și a atracției universale. Greutatea este considerată prima oară o proprietate a materiei, datorită atracției spre centrul Pământului.

Idei fundamentale în Mecanică sunt aduse în această perioadă de **Galileo Galilei** (1564-1642), considerat un adevărat întemeietor al fizicii moderne. El aduce idei noi ca *legea inerției* legată de omogenitatea spațiului și *principiul relativității mecanice*. Preocupările sale sunt legate de mecanica

aplicată la balistică, construcții hidrotehnice și fortificații. În lucrarea sa "*La Bilanceta*" (Balanța) el descrie *balanța hidrostatică*, precum și modul de determinare cu ea a naturii corpurilor pure și amestecate. Se ocupă și de *determinarea centrului de greutate* al diverselor corpuri, de *căderea liberă a corpurilor și pe planul înclinat* făcând numeroase experiențe sistematice în spiritul științei moderne. El descoperă că toate corpurile cad cu *aceeași viteză* (experiența de cădere a corpurilor din Turnul din Pisa), descoperă *legile spațiului* în căderea liberă și pe planul înclinat, fără a reuși o explicație teoretică. Ajunge la concluzia că în cădere viteza este proporțională cu timpul, iar spațiul este proporțional cu pătratul timpului. Efectuează experimente cu pendulul la Pisa și descoperă *legile pendulului* (legea izocronismului). Statica sa este fondată pe principiul vitezelor virtuale descoperit anterior de **Stevin** și constată prima oară că ceea ce se câștigă în forță, se pierde în distanță. Arată că traiectoria parabolică a corpurilor aruncate, poate fi dedusă din legea căderii libere uniform accelerate, compusă cu o mișcare rectilinie și uniformă. Construiește lunete și telescoape cu care efectuează observații astronomice. Descoperă sateliții lui Jupiter și fazele lui Venus și demonstrează că planetele se rotesc în jurul Soarelui. Descoperă că planetele se rotesc în jurul Soarelui. Descoperă și petele solare. Este contestat, persecutat de biserică, interzis. În cartea sa "*Il Saggiatore*" (Cercetătorul) apără cu mult succes ideile fundamentale ale științelor experimentale.

**Galiei** explică existența sistemului heliocentric și arată că Pământul se mișcă în jurul axei sale fără ca noi să simțim în lucrarea "*Dialog despre cele două sisteme principale ale lumii*". Această carte atrage represiunea inchiziției, este judecat ca eretic și își salvează viața, negînd sistemul heliocentric ("*E pur si muove*") (1633).

În 1638 publică cartea “*Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*” în care expune pe baza unor raționamente riguroase ideile sale asupra corpurilor solide și dinamicii. **Galiei** introduce pentru prima dată noțiunea de accelerație ca *variație a vitezei într-un interval de timp*. Pentru măsurarea timpului în experimentele pe plan înclinat de diverse înclinări, **Galiei** cântărea apa scursă cu o balanță foarte precisă, proporțiile greutateilor dând proporțiile timpului. Cărțile sale, scrise sub formă de dialog, au deschis drumul spre fizica newtoniană.

În această perioadă științele naturii capătă ca instrumente teoretice de interpretare metode noi radical diferite de cele preconizate de **Aristotel**.

**Francis Bacon** (1561-1626) în opera sa “*Novum Organum*” criticând scolastica, introduce metoda inducției în interpretarea datelor experimentale. Mai târziu **Réné Descartes** (1596-1650) completează opera lui **Bacon** cu metoda deductivă (“*Discours sur la méthode*”). La baza adevărului el pune analiza și deducția și ca un exemplu construiește geometria analitică preconizând o formulare geometrică a legilor fizicii. În lucrarea sa “*Traité sur la lumière*”, **Descartes** își propune studierea tuturor formelor naturii prin formă și mișcare, cu ajutorul legilor mecanicii. Pentru el spațiul are o existență materială, iar spațiul vid este umplut cu o substanță nobilă - *eterul*. **Descartes** exclude existența atomilor indivizibili și introduce pentru deplasările în spațiu *sistemul de referință*, formulând astfel *relativitatea mișcării*. El enunță principiul inerției într-o formă diferită de cea a lui **Galiei** susținând că mișcarea uniformă și rectilie nu diferă de repaus, iar pentru explicarea mișcării uniform accelerate *introduce principiul conservării cantității de mișcare*. El reduce procesele fizice la *ciocniri elastice*, iar gravitația este rezultatul unor *apăsări* exercitate de vârtejuri de aer și eter, teorie pe care o pune la baza unui model cinetic al întregului

univers. **Descartes** mai încearcă să demonstreze dependența gravitației de distanță.

În a doua jumătate a secolului al XVII-lea mecanica începe să ia o formă definitivă, concomitent cu apariția celorlalte domenii ale științelor fizice: optica, căldura, electricitatea. Datorită dezvoltării uriașe a producției din această perioadă, știința devine o instituție socială, recunoscută și prin înființarea de societăți științifice și academii, cum ar fi *Academia de Lincei* din Roma (1600-1630), *Cimento* din Florența (1651-1667), *Royal Society* din Anglia (1662), *Academia Regală de Științe* din Paris (1666), *Academiile de științe* din Berlin, Viena, Petersburg. În 1665 apare prima revistă periodică științifică "*Philosophical Transactions*" scoasă de Royal Society, apoi "*Mémoires de la Académie de Sciences*" din Paris, "*Acta Eruditarum*" la Leipzig, care contribuie din plin la răspândirea cunoștințelor științifice.

În această perioadă preotul **Pierre Gassendi** (1592-1655) reconsideră atomistica epicuriană, admitând că atomii sunt particule masive, înzestrate cu inerție, care se mișcă în vid - opunându-se astfel concepției carteziene a vârtejurilor. Schimbarea mișcării atomilor are loc prin ciocniri elastice.

În această perioadă Mecanica se îmbogățește cu teorii noi legate de mișcarea pendulului, legile ciocnirilor și mișcarea de rotație.

Mișcarea pendulului studiată în scopul realizării unui ceasornic precis pentru măsurarea longitudinilor cunoaște contribuții din partea lui **Giovanni Borelli** (1608-1658) care observă că accelerarea și încetinirea din mișcarea pendulară se datoresc greutatea corpului acționat. Pendulul este studiat ulterior de fizicianul olandez **Christian Huygens** (1629-1695) care construiește prima oară un ceasornic cu pendul. El publică la Paris lucrarea

“*Horologium oscillatorium*” (1673) în care expune teoria mișcării pendulare și studiază mișcarea *pendulului cicloidal*. El arată că și oscilațiile pendulului circular sunt izocrone dar numai în vecinătatea poziției de echilibru pentru oscilații foarte mici. Tot **Huygens**, arată existența forței centrifuge în mișcarea circulară și găsește că este proporțională cu  $V^2/R$ .

Legile ciocnirii neelastice și necentrale sunt studiate acum și de **Wallis** (1616-1703) și **Ch. Wren** (1632-1723). Tot **Wren** încearcă să demonstreze că forța gravitațională ce acționează asupra planetelor este invers proporțională cu pătratul distanțelor de la Soare la planete.

Mecanica acestei epoci își găsește încununarea în vasta operă științifică a lui **Isaac Newton** (1643-1727), care stă la baza fizicii teoretice. Operele sale nemuritoare sunt “*Principia mathematica philosophiae naturalis*” (4 ediții), în care sintetizează rezultatele mecanicii și dă legile mecanicii, “*Metoda fluxiunilor*” în care pune bazele calculului infinitezimal și “*Optica*”. **Newton** parcurge cu ușurință gradele universitare și ajunge magistru - titular al catedrei Lucas la Universitatea din Cambridge. Între anii 1664-1665 descoperă *seriile infinite* și se ocupă și de optică prin construirea unui *telescop cu oglindă*. **Newton** a dedus încă din 1666 legea gravitației universale și anume faptul că forța gravitațională scade invers proporțional cu pătratul distanței dintre corpurile care se atrag reciproc. Se pare că aici anecdota cu mărul căzut din pom are un substrat autentic. În “*Principiile*” sale **Newton** reduce pentru prima oară fenomenele naturale la legi matematice, ceea ce face din mecanica rațională o știință cu fundament matematic. Noțiunea de *masă* este definită pentru prima oară ca mărime determinată de *cantitatea de materie* și din experimentele efectuate cu pendulele, arată că masa este proporțională cu greutatea. Introduce denumirea de *forță de inerție* ca o forță ce rezidă în materie, masa fiind o măsură a inerției. Alături de forța

de inerție definește *forța imprimată* - produsă de accelerație – o definiție dinamică a forței. Timpul, spațiul și mișcarea sunt noțiuni absolute și relative, timpul și spațiul fiind obiective, adică independente de conștiința noastră. **Newton** insistă asupra relativității mișcării de translație rectilinie arătând că mișcarea absolută de translație nu poate fi determinată, iar în cazul mișcărilor circulare indică experiența cu vasul de apă pus în mișcare de rotație ca un mod de a determina mișcarea de rotație absolută. Cele mai celebre sunt cele 3 axiome, sau legi ale mecanicii. În primul principiu – al *inerției* – aceasta este privită ca proprietate a obiectelor de a-și conserva starea de repaus sau de mișcare rectilinie și uniformă, numai în absența unei forțe exterioare. Această definiție scoate în evidență conservabilitatea materiei și implicit automișcarea legată de transformarea materiei. În legea a II-a – a *forței* – aceasta este privită ca o *variație a cantității de mișcare*, iar legea a III-a – a *acțiunii și reacțiunii* – este dedusă experimental din generalizarea observațiilor lui **Descartes** și **Huygens** în cazul ciocnirilor și al forței centrifuge. Urmează mai multe corolare ale principiilor între care distingem *principiul compunerii forțelor după regula paralelogramului* ca o consecință a *compunerii accelerațiilor*. Tot așa, apare drept corolar *principiul conservării cantității de mișcare la sisteme închise* și *principiul relativității mecanice*. Problemele legate de mișcarea pe o orbită sunt rezolvate considerând acțiunea *forțelor centrale*.

**Newton** studiază mișcarea în mediu rezistent și fundamentează o nouă știință – *hidrodinamica*. În partea a III-a a lucrării, expune *sistemul astronomic al universului solar* explicat pe baza legilor mecanice arătate. Demonstrează că *forța gravitațională ce acționează asupra corpurilor cerești este centrală*, direct proporțională cu *cantitatea de materie* și *invers proporțională cu pătratul distanței*. Studiază *mișcarea lunară*, explicând



cauzele fluxului și refluxului, precesia echinocțiilor și mișcarea cometelor. Problema gravitației este tratată plecând de la constatarea că pe Pământ toate corpurile au greutate. Pământul atrage corpurile, care la rândul lor atrag Pământul, Luna se menține pe traiectorie datorită aceleiași forțe de gravitație. Calculând pentru Lună accelerația mișcării centripete obține o mărime de 3600 ori mai mică decât  $g$ . Ulterior, în 1666, dispunând de valori mai exacte pentru raza Pământului în urma măsurătorilor lui **Picard** în Franța, își reia calculele. În plus aplică metoda sa de *calcul al fluxiunilor* (calculul integral) pentru a calcula atracția unui corp sferic cu masă variabilă.

Legea atracției universale enunțată de **Newton** aplicată sistemului solar a devenit ulterior un model al teoriei fizicii clasice. Teoria lui **Newton** a infirmat ipoteza vârtejurilor carteziene în explicarea mișcării planetelor. Opera lui **Newton** a exercitat o influență considerabilă asupra dezvoltării ulterioare a Fizicii.

Secolul XVIII, denumit “*secolul invențiilor tehnice*”, debutează în Anglia cu revoluția industrială – în domeniul industriei textile. Se inventează *suveica* (1733), *sulul de tors* al lui **Watt** și **Paul** (1738), *mașina de tors* a lui **J. Hargrew** (1767), iar **Arkwright** înființează prima țesătorie cu mii de mașini de tors. Apare războiul mecanic de țesut, construcții cu elemente mecanice, iar în 1754 apar primele *furnale*. În 1717 se produc primele *mașini unelte de găurit și strungul*. Apar primele mașini cu vapori ale lui **Papin**, **Savery**, **Newcomen** (1712) folosite întâi ca pompe. **James Watt** (1783) perfecționează mașina cu vapori a lui **Newcomen**, adăugându-i sertărașul și reglarea automată centrifugală. În 1785 o astfel de mașină cu vapori e folosită la fabrica textilă de la **Manchester**, inaugurând astfel secolul mașinii cu vapori. Aceste transformări deschid perspective noi de dezvoltare științelor naturii. Pe plan filosofic, enciclopediștii **Diderot**, **d'Alembert**, **Holbach**

elimină complet teologia scolastică și proclamă automișcarea materiei limitată însă la forma ei mecanică. Revoluția franceză reorganizează Academia franceză sub forma Institutului Franței (1793). Știința devine o importantă instituție socială în Franța, iar Parisul - centrul științelor fizice teoretice. Sub impulsul operei newtoniene, mecanica se dezvoltă strâns legată de matematică. Concepția care predomină acum este explicarea mecanicistă fie sub forma newtonianismului, fie sub forma unui cartezianism transformat. Newtonianismul se caracterizează formal prin reducerea fenomenelor la forțe newtoniene exercitate la distanță între punctele materiale ale corpurilor care posedă masă inertă. Se dezvoltă acum și celelalte forme ale fizicii: căldura, electricitatea, magnetismul. Pentru explicarea fenomenelor se introduc așa-numitele *fluide imponderabile* specifice fiecărui fel de mișcare: *eterul* pentru fenomene gravitaționale, *caloricul* pentru căldură, un fluid special pentru electricitate și magnetism, fluide considerate drept sediu al unor forțe de tip newtonian. Pe această bază se realizează un progres în studiul fenomenelor, prin sistematizarea lor și prin descoperirea de legi noi. Precizarea noțiunilor fundamentale ale mecanicii creează probleme în definiția forței și a măsurării mișcării mecanice. În Istoria Fizicii a rămas celebră discuția dintre **Leibnitz** și cartezieni. **Leibnitz** considera două clase de forțe: unele "moarte", de genul greutăților în repaus, pentru care se aplică măsura newtoniană a cantității de mișcare ( $mv$ ) și altele "vii", ca și greutatele în mișcare, măsurate prin cantitatea  $mv^2$ . **D'Alembert**, reducând forțele la definiția lor din statică, arată că cele 2 forme sunt echivalente prin faptul că

$$F = \frac{d}{dt}(mv) = \frac{d}{dS} \left( \frac{mv^2}{2} \right)$$

În realitate problema de măsurare a mișcării se tranșează cu claritate în secolul al XIX-lea, când se descoperă legile conservării energiei și a cantității de mișcare.

În această perioadă, mecanica cunoaște o dezvoltare deosebită datorită operelor lui **Euler**, **Lagrange** și **Laplace**.

**Leonard Euler** (1707-1783), matematician și fizician teoretician, este considerat fondatorul *mecanicii analitice*. În 1727, la 20 de ani, publică un tratat de mecanică la Petesburg. Fizica reține de la **Euler** peste 800 de lucrări importante în mecanică, optică, acustică, dintre care pentru dezvoltarea mecanicii cele mai importante sunt: “*Mecanica*” (1736) și “*Teoria mișcării corpurilor solide*”(1765). **Euler** folosește pentru demonstrațiile sale, facilitățile calculului diferențial și integral. El introduce noțiunea de forță de inerție ca o proprietate internă a corpurilor. Ideile lui au fost ulterior completate de **D’Alembert** (1717-1769) care folosește *principiul deplasărilor virtuale* ce-i poartă numele pentru a deduce ecuațiile mișcării din principiile staticii. În “*Mecanica*” lui **Euler**, acesta studiază diverse cazuri de mișcare a punctului material prin integrarea ecuației diferențiale a mișcării. El studiază și rotația corpurilor solide pentru care scrie ecuațiile diferențiale de mișcare, punând bazele *teoriei giroscopului*. Mecanica corpului solid va fi ulterior perfecționată de **Louis Poinsot** (1792-1843). Tot **Euler** dezvoltă și dinamica sistemelor de puncte materiale, împreună cu cei doi frați **Bernoulli** și **D’Alembert**.

**Joseph-Louis-Lagrange** (1736-1813), succesori al lui **Euler** la Academia din Berlin, în opera sa “*Mecanica Analitică*” (1788) introduce noțiunile de coordonate și viteze generalizate, transformând mecanica într-o disciplină matematică deductivă. El introduce pentru sistemele de puncte materiale un nou tip de spații – *spațiul configurațiilor* (sau *fazelor*), prin

generalizarea coordonatelor carteziene și studiază mișcarea punctelor materiale, cu ajutorul unor ecuații diferențiale liniare – ecuațiile lui **Lagrange**. Cunoscând coordonatele și vitezele generalizate la un anumit moment putem determina starea sistemului în orice moment ulterior.

În această perioadă **D'Alembert** studiază fenomenul *nutației*, adică a percesiei axei Pământului (1721), iar **Clairaut** studiază ecuațiile de mișcare în cazul a 3 corpuri.

**Pierre Simon Laplace** (1749-1829) în opera sa celebră "*Mecanique Céleste*" publicată în 5 volume studiază stabilitatea sistemului planetar arătând că mișcarea planetelor nu depinde numai de interacțiunea planetă-soare, ci și de interacțiunile între planete (problema celor 3 corpuri). În timp, perturbațiile planetelor datorită acestor complexe interacțiuni, pot conduce la modificarea sistemului solar. El explică și periodicitatea accelerației seculare a Lunii și mișcarea sateliților lui Jupiter utilizând o dezvoltare în serie.

**Laplace** încununează mecanica analitică prin ecuația diferențială de gradul II care îi poartă numele și pe care a folosit-o în studiul potențialului gravitațional.

Tot acum se pune și problema originii Universului și a formării sistemului solar, printr-un impuls divin inițial. Filosoful german **Kant** (1724-1814) criticând această idee, admite ipoteza unei nebuloase originare în care interacțiile de atracție și repulsie între molecule determină o mișcare turbionară care dă naștere planetelor și soarelui în centrul nebuloasei. Aceeași idee este susținută ulterior și de **Laplace** în lucrarea sa "*Exposition du Système du Monde*" (1796) - idee cunoscută sub numele de *ipoteza cosmogonică Kant-Laplace*.

În această perioadă, reprezentarea diferențială a mișcării, datorită lui **Newton**, ulterior generalizată de **Lagrange**, este formulată și în reprezentarea integrală.

Această idee a fost formulată de **Leibnitz** în 1760, prin definirea unei mărimi denumită *acțiune* (*actio formalis*) ca produsul  $m\mathbf{v}\cdot\mathbf{L}$  (unde  $\mathbf{L}=\mathbf{v}\cdot\mathbf{t}$  este traiectoria punctului material). **Leibnitz** susține că pentru mișcarea punctului material acțiunea nu poate fi decât maximă sau minimă.

Un principiu asemănător (care îi poartă numele), enunța și **Maupertuis** în 1749, ulterior reformulat de **Euler** care arată că:

$$\int_a^b m\mathbf{v}d\mathbf{s}$$

între punctele A și B ale unui punct material ce se mișcă sub acțiunea unor forțe centrale are valoare extremă. Această formulare a fost ulterior generalizată de **Lagrange**, care deduce același principiu din conservarea forțelor vii (energie cinetică).

Cel mai important principiu de acest tip este însă *principiul minimei acțiuni* al lui **Hamilton**, pe care, în 1866, **Helmholtz** (1829-1834) l-a extins și la procese nemecanice și în care **Max Plank** (1858-1947) a văzut cea mai cuprinzătoare dintre legile naturii. În acest principiu este vorba despre evaluarea unei integrale în raport cu timpul, luată între două momente fixe ale timpului. De exemplu, în mecanică se integrează diferența între energia cinetică și potențială între două limite de timp. Se arată că această integrală este minimă pentru procesul fizic real, comparat cu orice alt proces care ar avea loc între aceleași limite de timp. Până acum se foloseau de exemplu în mecanică ecuațiile diferențiale ale mișcării, care determinau procesul fizic la un anumit moment, din parametrii determinați ai procesului la momentul imediat anterior. În principiile de minimizare de care vorbim, întregul proces e luat în considerare pentru un interval de timp finit, ca și cum viitorul ar

determina prezentul. Este de înțeles de ce aceste principii au stârnit senzație în secolul al XVIII-lea și de ce ele introduceau un element teologic, așa cum în concepția leibnitziană se vorbea despre “cea mai bună dintre lumile posibile”. Cu timpul s-a lămurit această aparentă neconcordanță matematică, în sensul că aceste principii trebuie să arate un extrem, nu neapărat un minim. Spre exemplu, pentru o traiectorie închisă parcursă de o planetă pe o elipsă kepleriană, există două drumuri posibile între orice pereche de puncte, dar numai pentru unul din ele avem minim. Cu timpul, procesele variaționale de acest tip au fost extinse și la alte ecuații diferențiale din alte domenii ale Fizicii.

În secolul XVIII, mecanica cunoaște realizări remarcabile prin exprimarea materialistă a fenomenelor ceea ce a condus la apariția *fizicii matematice*. Atunci, **D’Alembert** a stabilit ecuația cu derivate parțiale în studiul vibrației coardelor, a cărei soluție inițial studiată de **D’Alembert**, a fost ulterior aprofundată de **Euler**, care arată că modul de propagare al oscilației sub formă de undă unică depinde de condițiile inițiale ale deplasărilor și vitezelor punctelor de pe coardă. Ulterior, **Daniel Bernoulli** (1700-1782) arată că soluția ecuației coardei vibrante se poate exprima printr-o sumă de funcții trigonometrice.

Tot **Euler** se ocupă de teoria mișcării unui lichid ideal stabilind ecuațiile de la baza hidrodinamicii. Considerînd cazul mișcării staționare a unui lichid incompresibil **Euler** găsește o ecuație de tip laplacian.

**D. Bernoulli** se ocupă cu curgerea și elasticitatea gazelor și în lucrarea “*Hidrodinamica*” (1738) arată că presiunea gazelor se poate explica prin modelul particulelor care ciocnesc pereții vasului. La curgere presiunea depinde de pătratul vitezei.

În această perioadă apar **Gaspard-Gustave Coriolis** (1792-1843) care explică influența rotației Pământului asupra proceselor ce se desfășoară pe el prin forțele de inerție **Coriolis** și savantul francez **Augustin-Louis Cauchy** (1789-1859) care dă în 1822 formularea matematică a tensiunii elastice și a deformărilor folosind legea lui **Hooke**, pune bazele mecanicii corpurilor deformabile; **Hamilton** (1805-1865), cel despre care am mai vorbit la principiul minimei acțiuni, împreună cu **Carl Gustav Jacobi** (1804-1851), creează *sistemul de ecuații diferențiale Hamilton-Jacobi* pentru sisteme de mai multe corpuri; **Jean-Leon Poiseuille** (1799-1869) se ocupă de vâscozitatea lichidelor și gazelor, **Helmholtz** se ocupă cu mișcarea turbionară. Mai târziu, cercetători ca lordul **Rayleigh** (1842-1919), **Osborne Reynolds** (1842-1912) și **Ludwig Prandtl** (1875-1953) dezvoltă mai departe dinamica lichidelor și gazelor cu aplicații în construcția de hidro și aeronave, făcând distincție între curgerea “turbulentă” dezordonată și cea liniară “laminară”.

Un eveniment important în Fizică este data de 2 Iunie 1799, când Adunerea legislativă de la Paris adoptă *kilogramul* ca unitate de masă și *metrul* ca unitate de lungime – punctul de plecare pentru sistemul CGS, ulterior înlocuit cu sistemul MKS.

În cadrul Mecanicii s-a dezvoltat într-un mod total independent – *acustica*. De la început sunetele spre deosebire de zgomote au fost asociate vibrațiilor periodice ale sursei sonore. Am arătat mai înainte că încă de la **Pitagora** s-au stabilit raporturile dintre armonice și lungimile coardelor (intervalul de octavă, chintă etc.) – descoperire care a dus la întărirea concepției despre magia numerelor la pitagorienii. Aceleași relații au fost descoperite și pentru tuburile sonore ale orgilor din Evul Mediu. Contribuția esențială în dezvoltarea acusticii e dată de **Galilei** care arată în cartea sa

“Discorsi” că înălțimea sunetului este funcție de frecvență. El a mai explicat inducerea vibrațiilor prin rezonanță și caracterul staționar al undelor de la suprafața apei într-un vas închis. Ulterior, discipolul său **Mersenne** (1588-1648) determină experimental valoarea frecvențelor și constată prezența armonicilor pe lângă sunetul fundamental. **Joseph Sauogur** (1653-1716) a folosit aceeași metodă la tuburile de orgă inaugurând metoda călăreților de hârtie pentru determinarea nodurilor și ventrelor la coarde.

**Otto von Guericke**, arată că sunetul nu se propagă în vid, iar **Newton** calculează dependența vitezei sunetului de densitate și compresibilitate pentru aer. Calculele lui **Newton** au fost ulterior confruntate experimental în 1826, când **Laplace** a înlocuit compresibilitatea izotermă cu cea adiabatică.

**Ernst Friederich Chladni** (1756-1827) constată experimental în 1802 și existența vibrațiilor longitudinale și de torsiune punând în evidență existența liniilor nodale ale plăcilor vibrante. Tot el măsoară viteza de propagare a sunetului și în alte gaze decât aerul.

În 1827, **Jean-Daniel Colladon** (1802-1892) și **Jacob Franz Sturm** (1805-1855) dovedesc experimental propagarea sunetului prin apă, determinând valoarea de  $1,435 \cdot 10^3$  m/s pe lacul Geneva. Propagarea sunetului în lichide fusese contestată din cauza unei pretinse incompresibilități a lichidelor.

În secolul XIX acustica fizică dezvoltă teoria matematică a undelor elastice și preia de la optică ideile de interferență și difracție. Își găsește verificarea principiul **Doppler**, cu privire la variația înălțimii sunetului unei surse în mișcare față de un punct considerat fix. Principiul lui **Doppler** apăruse în 1842 ca o idee a opticii.



Acustica preia de la propagarea căldurii metoda matematică a analizei **Fourier** pe care o aplică cu succes la descompunerea oricărei oscilații periodice în oscilații sinusoidale.

În 1843, **Simon Ohm** (1787-1854) stabilește că urechea noastră este capabilă să perceapă fiecare din aceste oscilații în parte. **Helmholtz**, în lucrarea “*Teoria perceperii sunetelor*” arată că timbrul sunetului rezultă din amestecul frecvențelor oscilațiilor sonore.

Acustica și-a rezolvat multe probleme dificile prin inventarea telefonului de către **Philipp Reis** (1834-1874) și **Graham Bell** (1847-1922). În 1878, **David Edwood Hughes** (1831-1900) perfecționează substanțial microfonul făcându-l să redea cât mai fidel sunetele și vocea omenească.

În 1877, **Thomas Alva Edison** (1847-1931) inventează *fonograful*, iar în perioada primului război mondial (1914-1918), apare ramura *electroacusticii*.

Tot acum, **Paul Langevin** (1872-1946) descoperă generarea ultrasunetelor cu ajutorul plăcilor de cuarț excitate piezoelectric, invenție care a fost destinată inițial detecției submarinelor, iar ulterior în biologie și în fizică la măsurarea vitezei sunetului în gaze și lichide precum și pentru studiul vibrațiilor proprii ale corpului solid.

## Capitolul II

## CĂLDURA ȘI FIZICA MOLECULARĂ

Încă din antichitate oamenii și-au pus problema naturii căldurii. La început filosofii nu făceau deosebire între foc și căldură, dar ulterior focul a fost considerat generatorul căldurii, aceasta fiind o stare a corpurilor, sau chiar o substanță. **Platon** (427-347 î.e.n) stabilește primul deosebirea între foc și căldură, arătând că se poate produce căldură atât prin frecare, cât și prin mișcare. Focul - element primordial - pătrunzând în corpuri, pune în mișcare particulele lor, făcându-le să se desprindă unele de altele. **Aristotel** (384-322 î.e.n.) admite că mișcarea produce căldură, dar aceasta este produsă de către eter, datorită existenței soarelui sau stelelor.

Ideile lui **Aristotel** au fost promovate de biserică în tot Evul Mediu. Concepții noi încep să apară în epoca Renașterii. **Gassendi** (1592-1655) partizan declarat al atomisticii antice, nu vede legătura între atomi și căldură, ba chiar susține că materia care produce căldură diferă de cea care produce frigul. **Roger Bacon** (1214-1294), călugăr franciscan cu idei progresiste, consideră căldura ca rezultând din mișcarea internă a corpurilor. La fel **J. Keppler** (1571-1630) consideră căldura ca rezultând din mișcarea internă a corpurilor. Paradoxal, **Galilei** (1564-1642), marele învățat florentin acceptă ideile lui **Aristotel**: căldura este un fluid care transmite calitățile primordiale: cald și rece, uscat și umed.

**Francis Bacon de Verriam** (1561-1626) consideră căldura ca o mișcare vibratorie a particulelor din care sunt alcătuite corpurile. **Robert**

**Boyle** (1627-1691) privește căldura ca o stare de mișcare a moleculelor, iar **Newton** (1643-1727) o percepe ca o oscilație a eterului.

În cartea sa “*Hidrodinamica*”, fizicianul elvețian **Daniel Bernoulli** (1700-1782) susține concepția după care căldura este datorată vibrației moleculelor, idee împărtășită în acea vreme și de **L. Euler** (1707-1783) și de fizicianul rus **M. Lomonosov** (1711-1765). Cu toate aceste idei avansate, în secolele XVII, XVIII, persistă ideea de fluid a căldurii. Astfel, filosoful german **Christian Wolff** (1679-1754) spune că fluidul caloric este complet diferit de substanța luminoasă sau de cea a focului, întrucât putem încălzi corpuri care nu ard și nu luminează. **Lavoisier** (1743-1794) și **Laplace** (1749-1827), într-o lucrare publicată împreună susțin următoarea definiție a căldurii: “*căldura este forța vie, adică suma produselor dintre masa fiecărei molecule și pătratul vitezei*”.

La începutul secolului al XIX-lea se duce lupta decisivă cu teoria caloricului. Conform acestei teorii, apariția căldurii prin frecare s-ar explica prin eliberarea de caloric la trecerea substanței din starea masivă în stare de pulbere. **Benjamin Thomson** (1753-1814), ulterior conte de **Rhumford** verifică experimental acest lucru la turnătoria de tunuri din München. La găurirea unei țevi de tun de bronz cu un burghiu tocit, el a observat că se produce numai o mică cantitate de pulberi, deși temperatura se ridică de la 16,7°C la 54,9°C, disproporționat de mult. Conform teoriei caloricului, așchiile de bronz rezultate prin rașchetarea cu burghiul, ar fi trebuit să aibe o căldură specifică mult mai mică decât cilindru de bronz compact. Introducând în apă un cilindru de metal care era obținut prin găurire, în scopul obținerii unei țevi de tun, el a observat că apa era adusă la fierbere. De aici a tras concluzia că putem obține căldura datorită mișcării mecanice.

Un an mai târziu, **H. Davy** (1778-1829) a frecat două bucăți de gheață la  $-20^{\circ}\text{C}$ , obținând apă la  $+2^{\circ}\text{C}$ . După ipoteza caloricului capacitatea calorică a corpului rezultat (a apei) trebuia să fie mult mai mică decât a gheții. Ori se cunoștea deja că de fapt era de 2 ori mai mare.

Înțelegerea acestor experiențe a fost posibilă mai târziu, după ce **Mayer** și **Joule** vor găsi legătura între lucrul mecanic și căldură.

Tot în această perioadă se fac studii experimentale de căldura specifică a gazelor. În 1797 **Gay-Lussac** determină raportul dintre căldurile specifice la presiune constantă și volum constant, găsind pentru aer  $\gamma = 1,371$ . Ulterior, **Clement Desormes**, în 1841, găsește o valoare mai precisă  $\gamma = 1,375$ .

În 1803, **Mole** arată că prin comprimarea aerului într-un cilindru închis se poate aprinde o iască de unde trage concluzia că  $C_p > C_v$ . **Dalton** ajunge experimental la concluzia că la condensarea gazelor are loc degajare de căldură, iar la dilatarea gazelor are loc absorbție de căldură și deci răcirea gazelor. În 1807 **Gay Lussac** arată că energia gazelor nu depinde de volum.

În 1840, **Hess** arată că în cazul unei reacții chimice suma căldurilor de reacție este constantă.

Toate aceste acumulări experimentale au condus la elaborarea *principiului conservării energiei*. O contribuție decisivă la acest principiu, o are medicul german **Robert Mayer**, care cu ocazia unei călătorii lungi în Indonezia, preluând probe de sânge de la echipajul îmbolnăvit de pe vas, constată că în regiunile tropicale sângele din vene este mult mai roșu ca în regiunile temperate (sângele venos ar fi trebuit să aibe o culoare închisă pentru că el transportă resturile metabolice din combustia celulară și e lipsit de oxigenul inițial care a servit în procesele metabolice). **R. Mayer** ajunge la

concluzia că acest sânge conține oxigen nefolosit, întrucât la tropice organismul nu are nevoie să consume energie pentru menținerea temperaturii. Acesta, înclinat spre generalizări filosofice, este condus la ideea *principiului cauzalității*, adică un proces dat are drept cauză un proces anterior, cu care este echivalent din punct de vedere cantitativ. **R. Mayer** are meritul de a extinde noțiunea de conservare a energiei și la procesele nemecanice (electrice, chimice, fiziologice etc.). El redactează aceste idei în 1841 în articolul "*Despre determinarea cantitativă și calitativă a forțelor*", pe care îl trimite spre publicare în revista "*Annalen der Physik*" condusă de **Poggendorff**, care însă, empirist consacrat, nu-l publică, ci îl aruncă într-un sertar, unde găsit în 1881 după moartea lui **Mayer**, este publicat provocând o adevărată revelație. Meritul principal al lucrării este că **Mayer** făcând un paralelism cu legea conservării masei descoperită de **Lavoisier**, enunță *legea transformării energiei*.

Tot **Mayer** în 1842 redactează un alt articol intitulat "*Observații asupra naturii neînsuflețite*" pe care îl publică în revista "*Annalen der Chemie und Pharmacie*", condusă de chimistul **Liebig**. În acest articol **Mayer** demonstrează analogia între energia câștigată de un corp în cădere liberă sub acțiunea gravitației și căldura degajată de un gaz comprimat. Lucrul mecanic (forța vie) este măsurat în kgm, iar căldura în calorii.

Servindu-se de valorile obținute empiric pentru căldurile specifice ale gazelor  $C_p$  și  $C_v$ , **Mayer** ajunge la concluzia că diferența  $C_p - C_v$ , măsurată în calorii este echivalentă cu lucrul mecanic cheltuit pentru mărirea volumului gazului și este egală aproximativ cu 365 kgm/kcal, valoare pe care o corectează ulterior la 425 kgm/kcal.

În broșura intitulată "*Mișcarea organică în legătură cu schimbul de substanțe*", **R. Mayer** extinde într-un mod mult mai clar și mai sistematic

concepțiile sale enunțind principiul conservării și transformării energiei aplicat la toate formele de energie existente în natură, stabilind și prima formulare a fotosintezei prin absorbirea energiei luminoase de către plante și prin transformarea ei în energie a reacțiilor chimice.

Între timp **Joule** își publică lucrările sale clasice privind experimentele de echivalență între lucrul mecanic și căldură (experimentele cu calorimetrul cu palete și scripeți cu greutateți), iar în 1847, **Helmholtz** publică la Berlin o lucrare privind principiul conservării energiei, lucrare care devine foarte cunoscută.

Între **Mayer** pe de-o parte și **Joule** și **Helmholtz** pe de altă parte intervin lungi polemici asupra priorității, ceea ce afectează grav sănătatea și chiar viața lui **Robert Mayer**. Recunoașterea lui **Mayer** are loc mult mai târziu întâi în Anglia, iar în 1870 el este ales membru corespondent al Academiei de Științe din Paris.

**Helmholtz**, ca majoritatea contemporanilor săi, este legat prin explicarea mecanicistă a proceselor naturale prin forțe centrale, atractive sau repulsive și care depind numai de distanță. El demonstrează caracterul conservativ al forțelor centrale precum și independența lucrului mecanic între două puncte într-un astfel de sistem de forțe. Considerațiile lui **Helmholtz** făcute în 1847 au fost întâmpinate cu reticență de contemporanii săi care presupuneau că ele ar fi ascuns o reluare a fantasticului din filozofia hegeliană. Ulterior, principiul conservării energiei a devenit o piatră de încercare pentru orice teorie nouă care trebuia să verifice în primul rând acest principiu. S-a mers chiar pe direcția exagerării așa cum a făcut marele fizician și chimist **Wilhelm Ostwald**, autorul unei concepții energetiste despre lume care a încercat să deducă din el toate celelalte legi ale fizicii. Tot **Helmholtz**

introduce și noțiunea de *cantitate de căldură* cuprinsă într-un corp, pe care ulterior **Clausius** o denumește *energie internă*. **Helmholtz** generalizează principiul conservării energiei pe numeroase exemple din teoria oscilațiilor, undelor, câmpului electric și câmpului magnetic.

**J. P. Joule** (1818-1889) a început încă din 1840 studiul efectelor termice și chimice ale curentului electric. El arată că transformarea lucrului mecanic în căldură este într-un raport constant  $j=4,81$ . A mai efectuat experiențe cu producerea căldurii prin curent electric și prin comprimarea gazelor. În lucrările sale el folosește pentru  $j$  valoarea medie a experimentelor.

Aceste cercetări au condus la acceptarea unanimă prin anul 1860 a principiului conservării energiei. De fapt chiar termenul de energie acceptat în fizică a fost propus în 1881 de inginerul englez **Rankin** și clarificat ulterior de fizicianul **W. Thomson** (lord **Kelvin**) (1824-1907) în lucrarea "*The dynamical equivalent of heat*" (1851). Această lucrare marchează punctul de plecare pentru teoria dinamică a căldurii marcînd astfel începutul demarcării termodinamicii ca disciplină teoretică.

Un rol cel puțin tot atît de important l-a jucat și lucrarea lui **Rudolf Clausius** (1822-1888) publicată în 1850 și intitulată "*Über die bwegende Kraft der wärme*" (Despre forța motoare a căldurii). **Clausius** consideră cazul unui ciclu deschis de transformări când starea inițială nu corespunde cu starea finală și generalizează pentru acest caz principiul echivalenței lucrului mecanic și al căldurii. Cu ajutorul noțiunii de *energie internă* el stabilește legătura între lucrul mecanic și căldură pentru o transformare deschisă:  $\Delta U = L - J \cdot Q$ . Variația energiei interne este o diferențială totală exactă, adică nu depinde de drumul transformării, ci numai de stările inițială și finală. În acest mod **Clausius** ajunge la formularea *principiului întâi al*

*Termodinamicii*. Acest principiu a fost descoperit și de rezultatul negativ al încercărilor de a construi o mașină care să efectueze lucru mecanic fără a consuma energie și fără a primi din afară căldură – mașină care a fost denumită *perpetuum mobile de speța I*.

În această epocă sunt la modă mașinile cu vapori al căror randament trebuia îmbunătățit. Lucrând la această problemă **Sadii Carnot** (1796-1832), inginer și ofițer de geniu, publică în 1824 lucrarea "*Reflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*" în care tratează mașina cu vapori ca un sistem care primește energie sub formă de căldură și produce lucru mecanic. Carnot s-a folosit de ipoteza caloricului și a asimilat mașina termică cu o mașină hidraulică. Pe această bază a enunțat *irreversibilitatea procesului termic*, caloricul curge de la corpul fierbinte spre cel rece, iar mișcarea caloricului în sens invers necesită neapărat un consum de energie mecanică din exterior. Carnot enunță principiul care-i poartă numele, imaginând pentru mașina termică un ciclu închis reversibil, ideal, cuprins între două izoterme și două adiabate. Izotermele reflectă necesitatea de a avea neapărat o diferență de temperatură între două din organele mașinii.

Ideile lui Carnot rămân pe moment necunoscute de contemporani, până când **E. Clapeyron** le reia cu zece ani mai târziu, utilizând diagrame VT sau pV pentru ciclul Carnot în lucrarea "*Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur*" (1834), lucrare în care dă și formulele căldurilor latente. Pe această cale se deschide drumul pe care, în 1850, **Rudolf Emanuel Clausius** și în 1854 **William Thomson** au ajuns la *principiul al doilea al Termodinamicii*. La fel cum primul principiu al termodinamicii introduce funcția de stare a energiei, Clausius introduce în principiul al doilea funcția



de stare a entropiei, a cărei variație este o diferențială totală exactă  $dS = \frac{dQ}{T}$  și care deci nu depinde de forma curbei pe care se calculează integrala. Pentru un sistem perfect izolat, a cărui energie rămâne constantă, entropia sistemului este compusă aditiv din entropiile părților componente și crește la orice transformare. Scăderea entropiei nu există în natură, nici măcar pentru procese mentale. Un proces fizic reversibil format de fapt din procese parțiale reversibile așa cum a fost introdus de **Clapeyron** conține două izoterme și două adiabate. Acest ciclu este întâlnit cu aproximație la mașina cu vaporii. Cunoașterea funcției de entropie pentru diferite corpuri poate duce la concluzii asupra echilibrului dintre ele. **Clausius** a folosit acest concept pentru a da teoria echilibrului între diversele stări de agregare ale aceleiași substanțe.

Teoria termodinamică a echilibrului a dat rezultate deosebite și în imensa varietate a reacțiilor chimice prin lucrările lui **August Horstmann** (1842-1929), **Jacobus Hendikus van't Hoff** (1852-1911), **Josikh Willard Gibbs** (1839-1903). Noțiunea de *afinitate chimică* a fost explicată nu numai prin natura substanțelor ci și de temperatură și presiune, adică prin diferența de energie și entropie. Termodinamica a pătruns practic în toate domeniile fizicii, în teoria elasticității, în electricitate, în magnetism, oriunde avem și fenomene termice.

Funcțiile de stare ale energiei și entropiei puteau fi calculate la un anumit moment, numai pornind de la o stare inițială aleasă arbitrar. Pentru funcția de stare a energiei problema s-a rezolvat prin principiul inerției energiei. Pentru entropie rezolvarea a venit într-un mod asemănător prin elaborarea *principiului al treilea al termodinamicii* de către **Walter Nernst** în 1906 formulat ulterior de către **Max Plank** care arată că “*entropia unui*

corp chimic omogen tinde către zero, atunci când temperatura tinde spre zero absolut’.

**Franz Simon** în 1927 și **Walther Shottky** în 1929 arată că la zero absolut dispar toate diferențele de entropie între stările unui sistem în echilibru.

Până acum am conturat succint limitele termodinamicii clasice. În calculul entropiei fizica actuală folosește mult metodele statisticii, ceea ce a condus la domeniul important al *Fizicii Statistice*, care a apărut și ca rezultat al dezvoltării fizicii moleculare.

*Fizica moleculară* s-a dezvoltat datorită teoriilor moderne de atom și moleculă, noțiuni care privesc mai mult istoria chimiei. De la Chimie Fizică a preluat în jurul anului 1850 realizarea lui **John Dalton** care a arătat *identitatea proprietăților pentru un element sau compus chimic*, precum și noțiunea de *pondere atomică definită* ca raportul dintre masa unui atom și masa atomului de hidrogen, iar de la **Amedeo Avogadro** (1776-1856) fizica a reținut că în condiții de presiune și temperatură date, gazele perfecte conțin același număr de molecule pe unitatea de volum.

Prima încercare de *teorie cinetică a gazelor* (1738) a lui **Daniel Bernoulli** (1700-1782) este întâmpinată cu aversiune și dată uitării ca toate teoriile care făceau atunci apel la noțiunea de atom. În jurul anului 1850, însă echivalența între căldură și energie a deschis drumul percepției căldurii ca mișcare moleculară. Experimentele din 1807 ale lui **J. L. Gay-Lussac** completate cu măsurătorile asemănătoare ale lui **J. P. Joule** în 1845 au condus la ideea că energia internă a gazelor este independentă de volumul lor, ceea ce sugera faptul că forțele intermoleculare sunt mici. În

1856, **A. K. Krönig** (1822-1879) și în 1857, **R. J. E. Clausius** au atribuit moleculelor de gaz mișcări rectilinii, afară de cazul când se ciocnesc între ele sau cu pereții vasului. Aplicând legea conservării impulsului în cazul acestor ciocniri s-a putut arăta imediat că presiunea gazului este proporțională cu energia cinetică medie a moleculelor și cu concentrația lor în unitatea de volum, (factorul de proporționalitate=2/3); din *legea Boyle-Mariotte* reieșea limpede că această energie era egală cu  $3/2 kT$ , unde  $k$  s-a numit mai târziu *constanta lui Boltzmann*. În acest mod s-a putut calcula cu precizie viteza moleculelor.

Valoarea de  $1,9 \cdot 10^{-3}$  m/s calculată pentru hidrogen la 300 K nu a putut fi explicată inițial, cunoscându-se viteza mică de difuzie a gazelor și conductivitatea lor termică mică. În 1858, **Claussius** explică neconcordanța arătând că nu contează atât viteza cât *drumul liber mijlociu*. În 1860 **J. C. Maxwell** determină experimental din măsurători de vâscozitate aceste parcursuri, ocazie cu care el realizează faptul că nu toate moleculele au aceeași viteză.

**Maxwell** explică *legea distribuției vitezelor* care-i poartă numele, ulterior îmbunătățită de **Ludwig Eduard Boltzmann** (1844-1906) cu o lege de distribuție mai cuprinzătoare. Aceste distribuții au fost verificate experimental mult mai târziu – abia în 1932 – de experimentele cu fascicule moleculare ale lui **O. Stern**.

În 1865 **Joseph Loschmidt** (1821-1895) a evaluat prima oară diametrul moleculelor de gaz, imaginate ca avînd formă sferică, pe baza parcursului lor mediu și al volumului ocupat de un mol în stare lichidă, obținînd pentru o rază o valoare de circa  $10^{-8}$  cm, iar pentru numărul de molecule/mol o valoare de aproximativ  $10^{24}$  particule.

Treptat teoria cinetico-moleculară s-a complicat prin introducerea moleculelor cu mai multe grade de libertate, cu rotații și oscilații ale atomilor. Pe această cale s-a enunțat *legea echipartiției energiei* care atribuie fiecărui grad de libertate o pondere de  $1/2 kT$ . Aceasta a permis calculul *căldurilor specifice pentru gazele poli-atomice*, calcul bine verificat de experiență pentru temperaturi suficient de înalte pentru a exclude efectele cuantice. În 1820, **Pierre Louis Dulong** și **Alexis Thérèse Petit** (1791-1820), aplică această teorie la corpul solid și enunță legea care le poartă numele, după care căldura specifică molară este de  $6 \text{ cal/grad}$ .

În 1900, **M.Knudsen**, (1871-1949) investighează fenomenele care apar la vid foarte înaintat, când practic dispar ciocnirile intermoleculare. **Louis Dunoyer** descoperă *razele atomice sau moleculare*, în care moleculele parcurg drumuri de mai mulți centimetri.

*Termodifuzia* este cercetată teoric de **D.Enskog** (1911) și **S.Chapman** (1917), iar experimental la gaze de **S.Chapman** și **F.W.Dootson** în 1917. Mai târziu (1943), în lumina acestor principii ale fizicii moleculare devenit clasice, **K.Clausius** și **L.Waldmann** (1943), studiază fenomenele termice legate de difuzia a două gaze. Odată cu teoria cinetică a gazelor, pătrund acum în fizică considerentele de *probabilitate* legate de drumul liber mijlociu al moleculelor și de numărul mediu de ciocniri în unitatea de timp; presiunea și temperatura apar acum ca *valori medii*, ca un rezultat al interacțiunii dintre mai multe molecule.

*Mecanica statistică* utilizează pentru un ansamblul unui sistem de  $N$  atomi *spațiul fazelor*. Evoluția temporală a acestui sistem poate fi

anticipată prin evaluarea în funcție de timp ale celor șase coordonate  $p_i$  și  $q_i$  (**Josiah Willard Gibbs**).

**J. W. Gibbs** face un mare avans în problema calculului valorilor medii ale mărimilor fizice, considerînd medierea pe ansamblul statistic al stărilor, adică pe un *ansamblu virtual de sisteme identice*. La începuturile mecanicii statistice s-a emis *ipoteza ergodică* conform căreia mediile temporale coincid cu cele spațiale.

Mecanica statistică reduce principiile termodinamice la cele ale mecanicii analitice (pentru o mulțime de traiectorii) și calculului probabilităților, reușind să arate că fenomenele elementare sunt statistic determinate.

Nu putem încheia acest capitol fără a aminti succint evoluția metodelor de măsurare a temperaturilor.

**Galileo Galilei**, **Evangelista Torricelli**, **Otto von Guericke** au construit diverse tipuri de termometre care au la bază dilatarea termică a unor lichide sau gaze, metode care au rămas valabile și astăzi. Unul dintre cele mai reușite termometre este cel al lui **Gabriel Daniel Fahrenheit** (1686-1736), o construcție asemănătoare cu cea folosită astăzi pentru termometrele de cameră.

Construcția termometrelor a condus la stabilirea unor repere fixe pe scara de temperatură. Cele mai convenabile substanțe termometrice, a căror dilatare termică este aproape constantă, sunt gazele perfecte așa cum au dovedit măsurătorile din 1801 ale lui **John Dalton** (1766-1844), din 1802 ale lui **Gaz Lussac**, confirmate ulterior cu mai mare precizie în 1842 de **Heinrich Gustav Magnus** (1802-1870) și de **Henry Victor Regnault** (1810-1870). O problemă a fost fixarea reperului zero al scării cu ajutorul unui amestec frigorific ca **Fahrenheit** sau punctul de

solidificare al apei **René Réaumur** (1683-1757) și **Anders Celsius** (1701-1744), celălalt punct fix al scării termometrice - temperatura apei care fierbe se nota respectiv cu numerele 212, 80 sau 100.

Soluția definitivă a apărut în 1854 după apariția celui de-al doilea principiu al termodinamicii, prin introducerea scării temperaturilor absolute în grade Kelvin. În acest mod, scara naturală a temperaturilor se reducea la măsurarea unor cantități de căldură. Pentru această scară punctul de solidificare a apei este la  $273,15^{\circ}$  K. Această scară numită și *scara termodinamică absolută*, nu conține temperaturi negative și are ca punct de începere temperatura de  $0^{\circ}$  K numită *zero absolut*, care așa cum a arătat **Walter Nernst** în 1906 (principiul al treilea al termodinamicii), nu poate fi niciodată atins.

Un efort deosebit a fost depus în fizică pentru obținerea de temperaturi din ce în ce mai joase. La început s-au folosit amestecurile frigorifice și răcirea produsă de lichide volatile. Din 1830, prin descoperirea fazei solide a dioxidului de carbon de către mecanicul parizian **Thilorier** s-au putut obține temperaturi până la  $173^{\circ}$  K. Cu ajutorul dioxidului de carbon, **Faraday** a lichefiat toate gazele cunoscute până atunci cu excepția oxigenului, azotului și hidrogenului.

Progresele ulterioare au fost realizate prin descoperirea fenomenului de extindere adiabatică, de la o presiune ridicată la una relativ mai joasă a unui gaz răcit în prealabil. Acest fenomen a fost descoperit în 1852 de **James Prescott Joule** (1818-1889) și **William Thomson**. Un pas însemnat în tehnica frigului a fost realizat prin procedeul lui **Karl Linde** (1842-1934) prin răcirea unui gaz cu ajutorul unui contracurent de alt gaz deja destins prin răcire. Acest procedeu,

repetat iterativ, poate conduce gazul de studiat la lichefiere, prin coborârea temperaturii sale sub temperatura critică. Aplicînd acest procedeu **Vroblewski** (1845-1888) și **Olszewski** (1846-1915) au lichefiat în 1883 oxigenul și azotul.

În 1898 **Jame Dewar** (1842-1923) reușește să lichefizeze hidrogenul. În 1903 **E. Rutherford** și **F. Soddy** au lichefiat emanațiile radioactive ale radiului și toriului, iar în 1908 **Heike Kamerling-Onnes** lichefiază heliul ceea ce are consecințe majore pentru fizica experimentală.

Noțiunile de temperatură și cantitate de căldură indestructibilă, l-au condus pe **Jean Baptiste Biot** în 1804, la *teoria matematică a propagării călurii*. Ulterior, **Jean Baptiste Joseph Fourier** (1768-1830) a creat o teorie definitivă coerentă utilizată la reprezentarea unor funcții arbitrare prin serii sau integrale de serii trigonometrice. *Analiza Fourier* prin reducerea la oscilații sinusoidale pure a fost folosită ulterior la procese ondulatorii de orice tip, de la sunete, unde superficiale în lichid, la oscilații electromagnetice. Tot cu această ocazie, matematica a creat și *sisteme de funcții ortogonale* care s-au dovedit ulterior utile la rezolvarea ecuației lui **Schrödinger**.

### Capitolul III

## ***ELECTRICITATEA ȘI MAGNETISMUL***

Primele observații elementare asupra fenomenelor electrice și magnetice provin încă din antichitate. Sunt cunoscute proprietățile chihlimbarului frecat și primele busole care apar în China în secolul II î.e.n. de unde sunt aduse în Europa prin secolul al XIV-lea de navigatorii napolitani. De fapt în Europa, **Peter Peregrinus (Pierre de Maricourt)** descoperă independent busola pe care o descrie în cartea “*De magnete*” (Despre magnet) împreună cu numeroase alte fenomene magnetice cum ar fi: existența a doi poli magnetici, nord și sud și imposibilitatea separării lor prin rupere mecanică.

**William Gilbert (1540-1603)** studiază *fenomenul inducției magnetice* folosind un mic ac magnetic în vecinătatea unei sfere de oțel magnetizate. Stabilește analogia cu acțiunea Pământului asupra busolei, punând astfel capăt speculațiilor despre munții magnetici de la Polul Nord sau despre forța emanată de Steaua Polară. Tot **Gilbert** lămurește și fenomenul descris de **Cristofor Columb** în 1492 care a observat că deviația estică a busolei cunoscută în Europa de sud se transformă în deviație vestică la sud de Ecuator. El a creat de fapt și cuvântul



“electricitate” și a constatat că încălzirea la roșu a fierului, conduce la dispariția proprietăților magnetice.

**Otto von Guericke** construiește prima mașină electrostatică cu ajutorul unui glob de sulf, ocazie cu care observă respingerea corpusculelor încărcate cu același fel de electricitate. Tot el observă magnetizarea unor bucățele de fier sub acțiunea câmpului magnetic terestru. Mașina electrostatică al lui **Guericke** este perfecționată mai întâi de **Hauksbee** (1709) folosind un glob de sticlă, iar apoi de **Winkler**. În 1766, mecanicul **Ramsden** construiește prima mașină electrostatică cu discuri plane.

Savantii secolelor XVII și XVIII se întâlnesc cu fenomene complicate și inexplicabile la acea epocă cum ar fi electrizarea prin frecare, formarea de scântei, influența umezelii aerului etc. pe care nu le pot aborda din lipsa unor cunoștințe elementare.

**Stefan Gray** (1670-1736) sabilește în 1731 deosebirea între copuri conducătoare de electricitate și izolatoare, reușind să transmită electricitatea printr-un fir metalic.

În 1749, **Ewald Georg von Kleist** (1700-1798) la Kammin (Pomerania) și **Pieter van Musschenbroek** (1692-1762) la Leyda, construiesc primul condensator electric denumit *butelie de Leyda*.

Celebrul fizician american **Benjamin Franklin** (1706-1790), fost tipograf și ambasador al Statelor Unite în Europa studiază electricitatea atmosferică dovedind identitatea sa cu electricitatea obținută prin frecare, introduce termenii de sarcini pozitive și negative și inventează *paratrăznetul* pe baza experienței sale cu zmeul. El imaginează prima oară o teorie a fenomenelor electrostatice prin existența unui fluid electric universal care satisface principiul conservării. Prin această teorie,

**Franklin** explică funcționarea buteliei de Leyda și felul în care electricitatea se scurge prin vârfuri ascuțite.

În 1753, **Richman** construiește *electroscopul*, cu care studiind electricitatea atmosferică își pierde viața. El considera electricitatea ca formă de existență a materiei. Experiențele sale îl conduc pe **Lomonosov** la explicarea electrizării norilor, prin curenți atmosferici verticali.

În 1759, **Franz Ulrich Aepinus** (1724-1802), stabilește existența unor trepte intermediare de electrizare precum și influența electrică a corpurilor încărcate electric asupra unor conductoare izolate. Într-un memoriu intitulat "*Incercare de teorie a electricității și magnetismului*", **Aepinus** dezvoltă teoria lui **Franklin** pe care o extinde și la fenomenele magnetice pe care le vede asemănătoare. El își însușește teoria eterului enunțată de **Franklin**, acceptată și de **Lomonosov** și constată că particulele fluidului imaterial interacționează și de la distanță. **Aepinus** demonstrează influența dielectricului (sticlei) asupra unui condensator demontabil, explicând fenomenele de inducție și polarizare electrică. El descrie și *electroforul* - un condensator cu distanța variabilă între plăci (1759), descoperit independent de **Alessandro Volta** (1745-1827), din care s-a dezvoltat ulterior în secolul XIX *mașina de electrizat prin influență*, ulterior perfecționată de **E. J. Van de Graaff** care a făcut din ea o sursă clasică de înaltă tensiune. Tot **Aepinus** a studiat forma liniilor de forță din jurul magneților anticipând experiențele lui **Faraday**.

Cunoștințele de electricitate încep să se consolideze teoretic deabea după primele evaluări cantitative ale forței dintre două sarcini electrice. Aceasta s-a făcut întâi cu *electroscopul* lui **Richman**, iar apoi

prin studiile lui **Henry Cavendish** (1731-1810) și **Augustin Coulomb** (1736-1806).

**Cavendish** studiază experimental și teoretic distribuția superficială a sarcinilor și aplicînd legea newtoniană a atracției universale, deduce *legea interacției electrostatice* între sarcini electrice. El arată că sarcinile electrice se așază pe suprafața corpurilor, iar în interiorul unei sfere electrizate nu există sarcini.

Inginerul francez **Augustin Coulomb** (1736-1806), stabilește experimental în 1785 cu ajutorul unei balanțe de torsiune, *legea forței electrostatice* care îi poartă numele, folosind analogia cu forța newtoniană. El a încercat stabilirea unei legi analoage și pentru magnetism, cu rezultate mai puțin strălucite. Singurul lucru de reținut este că momentul de rotație al unui ac magnetic este proporțional cu sinusul unghiului de deviație față de meridianul magnetic, introducînd astfel noțiunea de *moment magnetic*.

În 1828, **George Green** (1793-1841) arată că pentru magnetism se poate aplica o ecuație de tip Laplace.

Legea lui Coulomb conduce la extinderea *teoriei potențialului*, de către **Simeon Denis Poisson**, elaborată inițial pentru gravitație. Se ajunge la concluzia că potențialul conductoarelor este constant. Teoria potențialului continuă să se dezvolte prin lucrările lui **Green** și mai ales printr-o lucrare publicată de **Kark Friederich Gauss** în 1839. Tot **Gauss** introduce pe baza legii lui **Coulomb** unitatea de cantitate de electricitate definită pentru forța de respingere de un dyn, între două cantități de electricitate egale, așezate la 1 cm distanță între ele.

În 1843, **Michael Faraday** demonstrează *conservarea cantității de electricitate*, folosind o căldare de gheață izolată conectată la un

electrometru. Cufundînd în gheață o sferă de metal încărcată electric și suspendată de un fir, prin deviația electrometrului, el demonstrează că deviația acestuia este proporțională cu suma sarcinilor introduse.

Italianul **Luigi Galvani** (1737-1798), profesor de anatomie la Universitatea din Bologna, pune în evidență reflexul mușchilor picioarelor de broască, în contact cu două metale diferite (cupru și fier) sub influența electricității atmosferice, arătînd că mușchiul se comportă ca o butelie de Leyda.

**Alessandro da Volta** (1745-1827), profesor de fizică la Universitatea din Pavia arată că picioarele de broască joacă rol de electrometru. El introduce noțiunea de *curent electric* împărțind conductorii de curent în două categorii: metale și medii umede. Cu această ocazie descoperă tensiunea de contact și în 1800 construiește *pila voltaică*, prototipul elementelor galvanice care se răspândește foarte repede. Cu astfel de elemente, **Nicholson** construiește o baterie cu 17 elemente cu care produce *electroliza apei*. Prin repetarea unei experiențe asemănătoare **Humphrey Davy** (1778-1828), separă prin electroliză în 1807 metalele alcaline, construind pentru prima oară primul *voltmetru*, care aduna gazele rezultate din electroliză. Această experiență deschide drumul spre *legea echivalentului electrochimic* a lui **Faraday** în 1834, la descoperirea *migrației ionilor* în 1875 de către **Johann Wilhem Hittorff** (1824-1914).

Acum apar – *teoria disociației electrolitice* în 1887, a lui **Svante Arrhenius** și *teoria forțelor electromotoare* în 1889 a lui **Walter Nernst**. Electroliza este studiată și de **J. W. Ritter** (1776-1810) care separă în 1799 cuprul metalic din soluții de sulfat de cupru și care demonstrează și

legătura dintre șirul lui **Volta** al tensiunii metalelor și afinitatea chimică a elementelor față de oxigen. Folosind drept generatoare butelii de Leyda încărcate, **Ritter** produce fenomenul de electroliză, demonstrând astfel legătura între electricitatea statică și cea galvanică.

În 1811, **Davy** realizează *arcul voltaic* folosind o baterie de 2000 de elemente. Acest arc voltaic a fost utilizat ca sursă de lumină, până la invenția *becului electric cu filament* în 1879 de către **Thomas Alva Edison**, care a folosit efectul termic al curentului electric, observat inițial de **Simon Pfaff** și studiat aprofundat de **J. Joule** și **H. Fr. Lenz**.

În 1820 **Hans Christian Oersted** (1777-1831), profesor de fizică la Universitatea din Copenhaga, descoperă devierea acului magnetic de către un curent electric și efectul orientativ al unui magnet asupra unui curent mobil.

În această perioadă se pun bazele *electromagnetismului*. **Dominique François Joseph - Louis Gay Lussac** descoperă că un conductor prin care trece curentul, înfășurat pe o bucată de fier, o magnetizează – acesta este primul *electromagnet* (1820). Tot în acest an **André Marie Ampère** (1775-1836) stabilește *interacțiunea magnetică a curenților paraleli* și arată echivalența între un solenoid și o bară magnetizată.

**Ampère**, personalitate enciclopedică, consacrat matematician, s-a ocupat de analiza matematică și de calculul probabilităților și a explicat magnetismul prin ipoteza *curenților moleculari* din interiorul corpului magnetizat, ipoteză bazată pe legea interacțiunii între curenții închiși pe care tot el o descoperise. Tot **Ampère** realizează *telegraful electric*, descoperire atribuită fizicienilor germani **Karl F. Gauss** și **Wilhem Weber**. În 1828 **Ampère** descrie *teoria analitică a fenomenelor*.

*electrodinamice deduse ca generalizare a experienței. În această teorie găsim teorema circulației care-i poartă numele și care exprimă circulația câmpului magnetic de-a lungul unei curbe închise de un curent – făcând echivalența între un curent închis și o forță magnetică. În 1832 Ampère realizează primul dinam și transformă cu un comutator curentul continuu în curent alternativ.*

Efectele magnetice ale curentului au condus la modalitatea definirii unității de măsură a intensității curentului. **Georg Simeon Ohm** în 1826 definește clar noțiunile de *forță electromotoare*, *cădere de tensiune* și *intensitate* a curentului electric, deducând legea care-i poartă numele. Tot **Ohm** clarifică noțiunea de *conductivitate* a corpurilor demonstrând că la un conductor liniar rezistența este direct proporțională cu lungimea și invers proporțională cu secțiunea.

În 1847 **C. R. Kirchhoff** enunță teoremele cu același nume pentru derivațiile de curent și bucle.

În această perioadă trăiește unul dintre cei mai geniali experimenterii cunoscuți în istoria fizicii – **Michael Faraday** (1791-1867). Fiul unui fierar din Londra, de la 12 ani ucenic într-o legătorie de cărți, acumulează cunoștințe ca autodidact frecventând totodată și cursurile serale de fizică și astronomie unde cunoaște pe marele fizician și chimist **Davy**. Primit ulterior ca laborant în laboratorul lui **Davy**, **Faraday** debutează împreună cu acesta în lucrări în chimie – lichefierea gazelor și descoperirea benzenului. Animat de senzaționala descoperire a lui **Oersted**, el imaginează o experiență proprie: face un inel de fier pe care pune două bobine nelegate între ele. De o bobină a legat o baterie, iar de cealaltă un galvanometru.

Pe această cale **Faraday** descoperă curenții induși care apar în bobina secundară, datorită variației fluxului magnetic la închiderea și deschiderea circuitului. Cercetările sale sunt periodic publicate în lucrarea sa "*Experimental Researches in Electricity*", a cărei apariție începe în anul 1832 și cuprinde circa trei mii de paragrafe. Aici consemnează marile sale descoperiri: *legea inducției electromagnetice* pe care o descoperise de fapt în 1831 după zece ani de muncă asiduă, *legea electrolizei* în 1832, dezvoltă începînd din 1836, *teoria liniilor de forță electrice și magnetice*, descrie proprietățile magnetice ale substanțelor și *rotirea planului de polarizare* a luminii liniar polarizate sub acțiunea câmpului magnetic (1846).

**Faraday**, autodidact, mai puțin cunoscător al matematicii timpului său a fost mai puțin influențat de ideile mecanicii newtoniene ale epocii. Interacțiunile electrodinamice le-a explicat din acest motiv nu prin forțe cu acțiune la distanță cum cerea moda timpului, ci prin forme de câmpuri reprezentate prin linii de forță. În concepția lui **Faraday**, intensitatea câmpului într-un punct este o stare a câmpului care există în punctul considerat indiferend dacă acolo avem sau nu o sarcină electrică, cu alte cuvinte câmpul de forțe este conceput de **Faraday** ca un câmp material. Experimentele lui **Faraday** asupra sensului curenților induși prin mișcare, au fost sistematizate de **Heinrich F. E. Lenz** (1804-1865) prin regula care-i poartă numele din 1833.

Concepțiile de până acum ale spațiului vid în care corpurile se mișcă dinamic, sunt înlocuite cu ideea interacției din aproape în aproape prin intermediul câmpului. **Faraday** ajunge la concluzia că variațiile intensității câmpului se propagă cu o viteză finită întrevăzînd astfel existența undelor electromagnetice. Pentru că nu putea demonstra

experimental o astfel de idee în acel timp, **Faraday** predă în 1832 un plic sigilat Societății Regale din Londra cu indicația de a fi desfăcut peste o sută de ani. În 1932 când undele electromagnetice se utilizau curent în Radiotehnică s-a putut vedea intuiția genială a lui **Faraday** care a conceput undele luminoase ca formă superioară de oscilație.

**Faraday** a descris procesul de inducție electrostatică ca o deplasare a sarcinilor electrice polare ce iau naștere în fiecare particulă supusă inducției mediului. El a demonstrat că forțele electrostatice depind de natura mediului dielectric. **Faraday** face o analogie între inducție și conductibilitate. El introduce pentru dielectric ideea *curentului de deplasare*, adică a unei descărcări prin dielectric însoțit de apariția unui câmp magnetic. Această idee a fost ulterior preluată de **Maxwell** în formularea matematică a teoriei sale electromagnetice. Tot **Faraday** a arătat că liniile de inducție electrică încep și se termină pe sarcini de polarizare opusă, în timp ce liniile de inducție magnetică sunt închise, au o acțiune circulară.

**Faraday** introduce și noțiunea de *permeabilitate magnetică* privită ca o caracteristică a mediului. Introducând între poli unui magnet diferite substanțe, el descoperă proprietățile *dia-* și *paramagnetismului*. A cercetat proprietățile magnetice ale gazelor apoi ale cristalelor căutând o relație între magnetism și forțele moleculare. **Faraday** stabilește și *comportarea cristalelor în câmp magnetic*, atunci când axele optică și cristalografică sunt orientate paralel sau perpendicular față de câmpul magnetic. În 1852 el își expune concepția despre realitatea liniilor de forță magnetice în lucrarea "*Despre caracterul fizic al liniilor de forță magnetică*". În baza concepției sale atomul apare ca un centru de forțe, ca



o regiune singulară a câmpului, concepție acceptată de abea în secolul XX prin teoria gravitațională a lui **Einstein**.

O parte din ideile revoluționare ale lui **Faraday** au fost descifrate cu răbdare de **James Clark Maxwell** (1831-1879), care le-a formulat într-un limbaj matematic adecvat, punând bazele teoriei câmpului electromagnetic. Născut în Scoția, el încearcă să expună ideile lui **Faraday** încă de pe băncile universității la Trinity College din Cambridge, în lucrarea "*On Faraday's lines of force*" (1855) în care descrie matematic procesele electrodinamice prin analogie mecanică cu fluidul incompresibil care se mișcă fără inerție într-un mediu cu rezistență, iar liniile de forță sunt considerate tuburi de secțiune variabilă a curgerii acestui fluid; folosind coeficienți de frecare, exprimă proprietățile dielectrice, magnetice sau conductibilitatea electrică a mediului. **Maxwell** publică în 1865 lucrarea "*Teoria dinamică a câmpului*" și în 1873 "*Tratat de electricitate și magnetism*" în care pune bazele electrodinamicii maxwelliene plecând de la realitatea fizică a câmpului electromagnetic care înmagazinează energie și aplicându-i principiul conservării energiei.

Interesul lui **Maxwell** a provenit de la aplicațiile practice ale electrodinamicii apărute atunci: *telegraful electric*, *dinamul experimental* al lui **Lenz** (1833) și *dinamul industrial* al lui **Siemens** și **Wheatstone** (1867), ocazie cu care el dezvoltă primul teoria mașinilor electrice de curent continuu. **Maxwell** generalizează fenomenul inducției electrice descoperit de **Faraday** și introduce noțiunea de *rotor* (curl) pe care o exprimă matematic cu ajutorul operatorului  $\nabla$  (nabla) al lui **Hamilton**. Cu acest operator, **Maxwell** introduce noțiunea de *divergență* pentru câmpuri și arată că divergența câmpului magnetic este nulă (câmpul magnetic fiind cu linii de forță închise) pe când divergența vectorului deplasare este egală

cu densitatea de sarcină electrică. Exprimă legea lui **Ampère** (*circulația câmpului magnetic de-a lungul unui cerc ce înconjoară curentul este egală cu intensitatea curentului*) pe care o generalizează incluzând și *curentul de deplasare*. Exprimă analog și legea inducției a lui **Faraday** presupusă valabilă chiar și în vid: *variația în timp a intensității câmpului magnetic produce un vârtej electric (rotor) în punctul respectiv*.

Toate aceste rezultate sunt scrise sub forma unui sistem de ecuații diferențiale de ordinul II, sistem ce-i poartă numele, din care prin eliminarea câmpului electric sau magnetic, obține o ecuație identică formal cu ecuația de propagare a undelor, ajungând la concluzia îndrăzneată despre *existența undelor electromagnetice* ce se propagă în vid cu viteza luminii (1865) și despre *natura electromagnetică* a undelor luminoase. El deduce pe această cale relația care leagă indicele de refracție al unui mediu de constanta dielectrică  $n = \sqrt{\chi_e}$ , demonstrând că proprietățile optice ale unui mediu sunt legate de proprietățile sale electromagnetice.

**Maxwell** imaginează propagarea câmpului electromagnetic, nu ca până atunci prin deplasarea unor părți ale eterului în raport cu altele, ci prin vârtejuri alternative de câmp electric și magnetic care se generează unul pe celălalt și se propagă în spațiu în toate direcțiile. **Maxwell** introduce pentru forța ce acționează asupra unui punct din câmpul electric noțiunea de *tensor* al tensiunilor din câmpul electrostatic prin analogie cu tensorul tensiunilor elastice analizate de **Cauchy** în 1822. **Maxwell** ajunge la concluzia că tuburile de forță exercită presiuni în exterior de unde își dă seama că o undă electromagnetică trebuie să exercite o presiune asupra unei suprafețe conducătoare, teorie care deși criticată

atunci este confirmată ulterior experimental de către **Lebedev**. Aplicarea de către **Maxwell** a noțiunilor de analiză vectorială asupra mărimilor câmpului electromagnetic, devine de atunci metodă în fizică și se extinde până astăzi și în alte ramuri ale fizicii.

Opera lui **Maxwell** este vastă și prin preocupări legate de *teoria cinetică a gazelor* – în lucrarea “*Dynamic Theory of Gases*” – 1867, în care elaborează *teoria statistică a mișcării moleculelor*. Reprezentând căldura sub formă de flux al mișcării moleculelor, el face analogia cu scurgerea unui fluid pe panta înclinată a gradientului de temperatură, constatînd că ansamblurile macroscopice de molecule se supun nu numai legilor mecanicii, ci și *legilor statistice* mult mai complicate. Interesant este că **Maxwell** nu a redus fenomenele electrodinamice la mecanica particulelor.

Teoria lui **Maxwell**, radical deosebită de regulile acceptate până atunci, prin introducerea noțiunii de propagare din aproape în aproape și prin aparatul matematic complicat reprezintă unificarea experiențelor efectuate timp de 150 de ani într-o teorie coerentă. Prin opera lui **Maxwell**, matematica primește un puternic impuls în sensul dezvoltării prin atribuirea unor noi semnificații fizice noțiunilor matematice abstracte. Ideea fizică a câmpului a condus la o nouă interpretare a noțiunii de spațiu în geometria lui **Riemann** în a doua jumătate a secolului al XIX-lea. De asemenea s-a dezvoltat *analiza vectorială* și *calculul tensorial* care au fost ulterior aplicate în alte domenii ale fizicii.

Teoria lui **Maxwell** a început să fie confirmată experimental mai târziu, în primul rând de **L. Boltzmann** care a efectuat o serie de măsurători pentru constanta dielectrică a unor solide și gaze, confirmînd pentru gaze justetea formulei lui **Maxwell**. Ulterior **H. Rudolf Hertz**

(1857-1894), studiază îndelung teoria lui **Maxwell** rescriind ecuațiile într-o formă nouă – cea actuală și studiind soluțiile ecuației câmpului pentru un bipol oscilant.

Folosind lucrările lui **J. H. Poynting** (1852-1914) și **Umov** care au arătat existența unui flux de energie în cazul câmpurilor variabile, **Hertz** a arătat că pentru un oscilator dipolar câmpul poate fi descompus în trei zone: zona apropiată unde câmpul electric este câmpul dipolului, iar cel magnetic – cel generat de un element de curent ( $\vec{E} \perp \vec{H}$ ), zona intermediară și zona undelor în care câmpul undelor se desprinde de dipolul oscilant, putând fi considerat independent. **Hertz** stabilește că dipolul radiază în spațiu cantitate de energie care nu depinde de distanța la dipol, direct proporțională cu pătratul lungimii dipolului și invers proporțională cu puterea a treia a lungimii de undă a radiației electromagnetice, rezultat care pune mai târziu bazele *teoriei antenelor*.

Natura oscilatorie a undelor electromagnetice a fost pusă în evidență 1858-1862 de către **B. W. Feddersen** (1832-1912) care a arătat oscilațiile produse de o scânteie de descărcare cu ajutorul unei oglinzi rotitoare.

Perfecționând circuitul oscilant a cărui teorie a fost elaborată în 1855 de **W. Thomson – Kelvin**, **Hertz** reușește să producă unde oscilante în aer liber la care pune în evidență fenomenele de polarizație, reflexie, refracție, interferență și le determină lungimea de undă.

În 1894, **P. N. Lebedev** (1866-1912) reface experiențele lui **Hertz** pentru unde electromagnetice cu lungime de undă foarte mică

(6 mm) folosind un oscilator și un rezonator în miniatură și demonstrând intuitiv legătura undelor radio cu undele luminoase din optică.

Undele cu care lucra **Hertz** erau puternic amortizate și numai evoluția electronicii a făcut ca începînd cu anul 1913, pe baza emițătoarelor cu tuburi bazate pe reacție să se obțină unde neamortizate de care era nevoie în radio telegrafie.

După **Maxwell** la fel ca și după **Newton** începe o perioadă de construire matematică a noilor teorii fizice. Astfel pentru reprezentarea câmpurilor magnetice turbionare în jurul curenților staționari se introduce *potențialul vectorial*. **A. M. Lienard** în 1898 și **E. Wiechert** în 1900 completează acest potențial și potențialul scalar al electrostaticii cu *potențiale retardate*, din care reiese clar caracterul finit al vitezei de propagare pentru undele electromagnetice. Un pas mai departe se face prin apariția teoriei electronilor a lui **J. J. Thomson** (1856-1940), ulterior dezvoltată de **H. A. Lorentz** (1853-1928) care elaborînd lucrarea "*Teoria electronilor*" explică aproape toate fenomenele electrice, magnetice și optice cunoscute în acea vreme.

În privința magnetismului abia acum sunt îndeplinite condițiile pentru explicarea comportării magnetice a substanțelor. După cum a arătat **Pierre Curie** (1859-1906) în anul 1895, există substanțe ce se polarizează *diamagnetic* într-un câmp magnetic exterior adică substanțe avînd susceptibilitatea magnetică  $\chi_m$  negativă și constantă și alte substanțe ce polarizează *paramagnetic* avînd susceptibilitatea  $\chi_m$  pozitivă și invers proporțională cu temperatura (*legea lui Curie*). Interpretarea teoretică a acestor comportări este dată de **Paul Langevin** (1872-1946) în anul 1905, care aplică fenomenele inducției electromagnetice la scară atomică: curenții produși de electronii orbitali din atomi sub acțiunea câmpului

magnetic extern se modifică conform legii lui **Lenz** căpătînd o mișcare de precesie astfel încât câmpul magnetic rezultat indus în substanță este de sens contrar câmpului magnetic aplicat. Efectul diamagnetic, comun tuturor substanțelor, poate fi acoperit de efectul paramagnetic la anumite substanțe. Ceea ce observăm noi la substanțele paramagnetice este de fapt diferența dintre efectul paramagnetic mult mai puternic și efectul diamagnetic.

Paramagnetismul a fost explicat de **Langevin** pe baza existenței unui moment magnetic permanent al moleculei sau atomului, folosind modelul aplicat de **Debye** dielectricilor cu molecule polare. Orientarea câmpului exterior este în opoziție cu agitația moleculară care este direct proporțională cu temperatura, așa că în acest mod se poate explica legea lui **Curie**  $\left(\chi_m \approx \frac{1}{T}\right)$ .

Teoria paramagnetismului a fost ulterior completată, după dezvoltarea mecanicii cuantice, prin precizarea că momentul magnetic intrinsec al atomului este de fapt suma vectorială a diferitelor momente magnetice orbitale și de spin (teoria lui **Van Vleck**). Pentru metale, paramagnetismul a fost explicat în 1927 de **W. Pauli** pe baza *statisticii Fermi-Dirac* a electronilor din metale.

S-a constatat și existența anumitor substanțe la care susceptibilitatea magnetică are o valoare mult mai mare decât în cazul paramagnetic, până la o anumită temperatură (numită *punctul Curie* al substanței) la care ele devin paramagnetice. Aceste substanțe numite *feromagnetice* își păstrează o magnetizare și după îndepărtarea acțiunii câmpului magnetic exterior. În cazul fizicii clasice explicația a fost dată

de **P. Weiss** (1908), pe baza existenței unui câmp intern molecular de magnetizare în domeniile de magnetizare spontană. În câmp magnetic exterior domeniile se mișcă, unele cresc, altele se micșorează și dispar până la o anumită valoare a câmpului magnetic exterior la care dispar toate domeniile. Scăzând câmpul magnetic exterior domeniile magnetice se refac, ceea ce explică existența curbei de histerezis la aceste materiale, fenomen descoperit de **Warburg** în 1880 și **A. Ewing** în 1882.

Odată cu dezvoltarea mecanicii cuantice a apărut *teoria cuantică a feromagnetismului* creată de lucrările lui **Frenkel** (*modelul colectivizat*) și **Heisenberg** (*modelul spinilor localizați*). Primul model a fost ulterior dezvoltat pentru metale și aliaje feromagnetice în lucrările lui **Bloch**, **Stoner**, **Mott**, **Slater** și **Wihlfart**, iar al doilea de către **Bloch**, **Van Vleck**, **Holstein** și **Primakoff**.

Ulterior a fost descoperit *antiferomagnetismul* de către **Bizette**, **Squire** și **Tsai** explicat de **L. Néel** prin existența rețelelor magnetice cu spini antiparaleli și *ferimagnetismul* (la ferite) – un fel de antiferomagnetism necompensat.

O problemă aparte a apărut la începutul secolului XX din măsurarea rezistenței metalelor la scăderea temperaturii. De la **H. F. Lenz** se știa că rezistența scade cu răcirea, dar de abia în 1908, **H. Kamerling-Ones** obținând temperaturi sub  $10^{\circ}$  K găsește pentru aur, argint și cupru o valoare limită a rezistenței. În 1911, la mercur, plumb și zinc, el constată o dispariție bruscă a rezistenței sub un anumit prag al temperaturii pentru ca în 1914 să obțină pentru prima oară fenomenul de *supraconductibilitate*. Tot **Kamerling-Ones** descoperă că supraconductibilitatea poate fi înlăturată cu ajutorul unui câmp magnetic, cu atât mai mare cu cât temperatura scade mai mult sub temperatura de prag. Ulterior **W. J.**

**de Haas** descoperă că pragul unui fir supraconductor depinde de direcția câmpului magnetic în raport cu axa firului. Cercetările ulterioare au adăugat noi metale pure pe lista supraconductorilor precum și multe aliaje și compuși chimici. Actualmente se încearcă obținerea supraconductoarelor la temperaturi apropiate de cea a mediului ambiant, datorită spectaculoaselor aplicații ale acestui fenomen în circuitele calculatoarelor. Cercetările din 1933 ale lui **W. Meissner** și **R.Ochsenfeld** au dovedit că nu are importanță dacă răcim întâi supraconductorul sub punctul critic și aplicăm apoi câmpul magnetic, sau invers. Acest efect – *efectul Meissner* – a sugerat pentru inelul supraconductor un analog macroscopic al curenților permanenți atomici întrevăzuți de **Ampère** pe baza unui fenomen cuantic, ceea ce explică valorile deosebit de mari ale intensității curentului electric permanent.

În 1928 **Dirac**, **Heisenberg** și **Pauli** abordează cuantificarea câmpului electromagnetic conducând la *electrodinamica cuantică* – forma cea mai perfectă a teoriei electromagnetismului elaborată în anii 1846-1950 de **Tomonaga Schwinger**, **Feynman** și **Dyson**.



## Capitolul IV

**OPTICA ȘI DESCĂRCĂRILE ÎN GAZE**

Începuturile opticii se întâlnesc încă din antichitate. **Heron** din Alexandria (125 î.e.n) stabilește noțiunea de rază de lumină, caracterul ei rectiliniu. Din legea reflexiei el deduce principiul drumului minim al razelor luminoase. Tot din antichitate au fost obținute imagini cu oglinzi concave și lentile.

**Roger Bacon** (1214-1294) găsește poziția focarelor, precum și imprecizia convergenței razelor într-un punct strict – noțiunea de *stigmatism*. În 1299, florentinul **Salvini degli Amati** inventează *ochelarii*. Legea refracției a apărut din mai multe căi: **Willi Brord Snell** (**Snellius**) (1591-1626) a dedus-o din măsurători după mărturia lui **Huygens** și a publicat-o într-o scrisoare pierdută; **René Descartes** a folosit reprezentarea corpusculară a luminii pentru a o deduce în 1644, iar **Pierre de Fermat** (1609-1655) a legat-o de drumul optic minim.

**Galileo Galilei** (1564-1642) află în anul 1609 de invenția lunetei în Olanda, în condiții greu de precizat. Construiește singur o lunetă pe care o prezintă cu succes dogelui și senatului venețian. Ulterior la Padova, **Galilei** își perfecționează luneta pe care o face să mărească de circa 400

de ori reușind în felul acesta să vadă de 10 ori mai multe stele decât cu ochiul liber. Pe Lună observă pentru prima oară munți prăpăstioși și mări. În 1610 construiește primul *telescop*, care mărea de circa 1000 de ori cu care descoperă sateliții lui Jupiter ceea ce îi confirmă justetea sistemului cosmologic al lui **Copernic**. Ulterior descoperă inelele lui Saturn, petele solare și fazele lui Venus.

În 1662, olandezul **Isaac Voss** publică o carte în care enunță ideea că varietatea culorilor nu e un atribut al corpurilor ci provine din lumina însăși. Contemporanul lui **Galilei**, călugărul iezuit **Francesco Maria Grimaldi** (1618-1663), un desăvârșit experimentator, descoperă *interferența* și *difracția* luminii precum și fenomenul *dispersiei luminii solare* la trecerea printr-o prismă. Paternitatea acestei descoperiri se atribuie totuși lui **Newton**, întrucât descoperirea lui **Grimaldi** apare într-o operă postumă. Oricum din această lucrare reiese că **Grimaldi**, iezuit fervent și potrivnic ideilor lui **Copernic** și **Galilei** nu găsisse o explicație științifică propriilor observații.

**R. Hooke** (1635-1703), explică în anul 1665 în lucrarea "*Micrografia*" fenomenul interferenței luminoase în lame subțiri la muchia lamei. **R. Boyle** (1627-1691), decoperă și el în 1663 franjele colorate pe lamele subțiri.

În 1678, reluând ipoteza eterului cartezian, **C.Huygens** (1629-1675) dezvoltă teoria ondulatorie a propagării luminii presupunând că eterul e constituit din particule extrem de mici și de rigide - ceea ce justifică viteza extrem de ridicată a luminii. Tot **Huygens** enunță principiul care îi poartă numele - în care frontul de undă apare ca înfășurătoare a undelor sferice - principiu cu care explică formarea

umbrelor, reflexia, refracția, dubla refracție, dar nu poate explica propagarea rectilinie a razelor luminoase și nici existența culorilor, difracția și interferența. **C.Huygens** își prezintă cercetările în 1678, în fața Academiei din Paris, iar în 1690 publică lucrarea "*Traité de la lumière*". Birefringența luminii în spatul de Islanda o explică prin acțiunea concomitentă a două suprafețe de undă - una de formă sferică ca în corpurile izotrope, iar cealaltă - un elipsoid de rotație.

Ipoteza corpusculară a luminii e reluată mai târziu de **I.Newton** (1643-1727), ca o aplicație a concepțiilor sale din mecanică. **Newton** construiește la Cambridge un telescop cu oglindă, după o nouă concepție formulată de **James Gregorg** în care elimină defectele cromatice ale lentilelor și aplică noile tehnici din domeniul aliajelor și a lustruirii suprafețelor metalice - pentru confecționarea oglinzilor metalice concave. Acest prim model de telescop reflector cu o oglindă de 25 mm diametru, apare în anul 1668, iar în 1671 construiește un al doilea model ale cărui calități îi aduc lui **Newton** titlul de Membru al Societății Regale. Experiențele sale de optică au fost descrise de el în cursul de Optică ținut între anii 1669-1671, dar nu a fost tipărit decât postum în anul 1728. În 1672 printr-o comunicare în fața Societății Regale, **Newton** sub titlul "*Noua teorie a luminii și a culorilor*", expune descoperirile sale în ce privește descompunerea luminii naturale - lucrare examinată și criticată de **Boyle** și **Hooke**.

În 1675 **Newton** trimite un memoriu intitulat "*Teoria luminii și culorilor*" în care expune rezultatele experimentelor de difracție în lame subțiri și descrie *inelele de difracție* care îi poartă numele.

În tratatul său "*Optica*" apărut în 1704, el prezintă bilanțul a 16 ani de lucrări experimentale și teoretice de optică. Ceea ce l-a

determinat pe **Newton** să se ocupe de prismă au fost aberațiile cromatice ale lentilelor pe care le înlătură din telescopul său. Ulterior **Chester Moor Hall** (1704-1770) în 1733 și **John Dolland** (1706-1761) construiesc obiective acromatice pentru lentile compensând reciproc dispersia a două sorturi de sticle diferite.

În 1800, **F.W. Herschel** (1739-1822) stabilește că limitele spectrului nu coincid cu cele ale luminii vizibile și că dincolo de roșu există o radiație mai puțin refractată, pusă în evidență prin acțiunea ei termică. Mai târziu, **J. W. Ritter** (1776-1810) și **W. H. Wollaston** (1766-1828) descoperă *radiația ultravioletă*, pusă în evidență prin reacții chimice.

În domeniul opticii geometrice sunt de reținut contribuțiile lui **W.R. Hamilton** și **C.F. Gauss** (1777-1855). Limitele opticii geometrice, impuse de natura ondulatorie a luminii se văd mai ales la microscop, care nu este în stare să redea în lumină vizibilă imaginea a două obiecte situate la o distanță mai mică de  $10^{-5}$  cm. Limita scade, așa cum s-a dovedit mai târziu, folosind lumina ultravioletă, iar cu raze X se pot măsura prin fenomene de interferență distanțele dintre atomii din corpurile solide -  $10^{-8}$  cm. Ulterior, folosind undele de Broglie de  $5 \cdot 10^{-10}$  cm (microscopul electronic), **J. W. Menter**, reușește în 1956 să obțină imagini optice directe ale unor plane reticulare cristalografice aflate la o distanță de aproximativ  $10^{-7}$  cm.

În istoria Opticii trebuie menționate și lucrările lui **L. Euler** (1707-1783), care în lucrarea "*Noua teorie a luminii și culorilor*" (1746) schițează prima oară o *teorie elementară a interferenței*, făcând primul legătura între culoare și frecvența oscilațiilor. Ignorând principiul lui

**Huygens**, **Euler** concepe propagarea undelor sub formă de fascicule conice, iar culoarea o explică prin rezonanță. Un merit deosebit îl are în elaborarea unui aparat matematic avansat pe care îl aplică în optică și acustică.

De reținut sunt și descoperirile experimentale ale *aberației luminii* (1728) de către **J. Bradley** (1693-1762) – pe baza teoriei emisiunii și fondarea unei noi ramuri a opticii – *fotometria*, dezvoltată de **J. H. Lambert** (1728-1777), care stabilește în 1760 legea care-i poartă numele, noțiunile de *intensitate luminoasă*, *luminozitate*, *strălucirea sursei* precum și *legile fotometriei*.

După o relativă stagnare în legile opticii survenită în secolul al XVIII -lea, începe epoca *eroică* a *teoriei ondulatorii* din 1800 până în 1835. În 1801, **T. Young** (1773-1829) introduce ideea *interferenței* pe care o aplică inelelor lui **Newton**, determinînd aproximativ lungimile de undă și făcînd deosebirea între *raze coerente* și *incoerente*, idee aplicată la interpretarea difracției. În 1809, **E. L. Malus** (1775-1812) descoperă *polarizarea* pe care el a considerat-o o infirmare a teoriei ondulatorii neputînd fi pusă de acord cu undele mecanice longitudinale.

**Dominique François Arago** (1786-1853) descrie în 1811 *efecte de culoare* la cristale în lumină albă polarizată, iar în 1817, **Young** enunță transversalitatea undelor luminoase.

În 1815, **Augustin-Jean Fresnel** (1788-1827) face numeroase observații noi asupra difracției și interferenței și enunță *teoria difracției* sub forma de construcții zonale (1818 - *zone Fresnel*) în care pentru explicarea interferenței introduce principiul înfășurătoarelor lui **Huygens**. În 1819, împreună cu **Arago** arată că razele polarizate perpendicular una față de cealaltă nu interferă, ceea ce confirmă definitiv *teoria oscilațiilor*

*transversale*. **Fresnel** pune bazele *cristalo-opticii*, valabilă și azi, în care interpretează experiențele lui **Arago**.

În această perioadă (1821-1822) au loc experiențele de difracție ale lui **J. Fraunhofer** (1787-1826), deosebite de difracția lui **Fresnel** și justificate teoretic mai simplu de **F. M. Scherard** (1792-1871) într-o lucrare în 1835 pe baza unei deduceri analitice. Ideea cea mai importantă care a rezultat atunci din experiențele de interferență este posibilitatea interferenței până la stingere a undelor în cazul fenomenelor ondulatorii (apariția de maxime și minime).

În 1834 **Macedonio Melloni** (1797-1854) efectuează experimente de reflexie, refracție și absorbție cu lumină infraroșie, iar în 1846, **C. H. Noblach** (1820-1895) face în infraroșu experimente de interferență, difracție și polarizare, stabilind că în infraroșu avem lungimi de undă mai mari. În 1856, **J. Heinrich Jacob Müller** folosește pentru fotografii lumină ultravioletă cu lungime de undă mai mică.

În 1895, lucrând la descărcările electrice în gaze, **W. K. Röntgen** (1845-1923), descoperă întâmplător razele X, care impresionau placa fotografică pentru care ia premiul Nobel în 1901. El arată că razele X produse prin frânarea electronilor de mare energie pe un anticatod, sunt deosebit de penetrante, descarcă un electroscoap încărcat electric și produc luminescența unui ecran cu sulfură de zinc. **Röntgen** face însă greșeala de a le considera unde longitudinale. Ulterior, în 1896, **E. Wiechert** (1861-1928) și **G. G. Stokes** (1819-1903), arată că razele X sunt unde longitudinale cu lungimi de undă mici.

Aplicând ideea lui **Max von Laue** (1879-1960) de a folosi rețelele cristaline ca rețele naturale de difracție, **W. Friederich** și

**P. Knipping** obțin în 1912 interferențe cu raze X, ceea ce a permis compararea lungimii de undă a razelor X cu cele trei perioade ale rețelei spațiale. Determinarea absolută a lungimii de undă a razelor X a fost făcută în 1913 de **W. H. Bragg** și fiul său **W. L. Bragg** folosind sarea gemă, ceea ce face acum posibilă *spectroscopia cu raze X* prin punerea unui cristal în calea unui fascicol continuu de raze X, sau prin rotirea cristalului în calea unui fascicol monocromatic de raze X – metodă de investigare a structurii corpurilor solide pentru care **M. Laue** primește în 1914 premiul Nobel pentru Fizică.

**J. J. Thomson** (1856-1940) studiază în laboratorul său din Cambridge ionizarea gazelor sub acțiunea razelor X prin producerea de electroni, ceea ce conduce în 1913 pe **C. T. R. Willson** la construirea *camerei cu ceață* – aparat indispensabil pentru studiile ulterioare ale traiectoriilor particulelor încărcate.

**C. G. Barkla** (1874-1944), efectuează experiențe de polarizare cu razele X, iar **W. Friederich** și **P. Knipping** efectuează cu razele X experimente de interferență pe rețelele atomice ale cristalelor. În 1949, **Jesse Du Mond**, folosind experimente asemănătoare, extinde optica în domeniul razelor gama, de lungimi de undă și mai mici.

În 1883, folosind construcția zonală a lui **Fresnel**, **G.R. Kirchhoff** (1824-1887) elaborează teoria matematică a undelor, iar în 1917, **A. Rubinowicz** demonstrează pe cale matematică identitatea concepției lui **Young** cu procesul de difracție al lui **Fresnel**, teorie îmbunătățită ulterior de **Sommerfeld** (1868-1951), în 1894, care tratează riguros matematic difracția produsă de o margine rectilinie.

Descoperirea în 1865 de către **J. Cl. Maxwell** din teoria electromagnetismului a posibilității existenței undelor electromagnetice l-

a condus în 1889 pe **Hertz** la ideea că emisia permanentă de radiație termică sau luminoasă în corpuri, indică natura electromagnetică a acestor radiații. Contopirea firească a acestor teorii independente până atunci a electrodinamicii și a luminii a reprezentat una din cele mai frumoase victorii pentru adevărul cunoașterii în Fizică.

Ulterior, **Joseph Larmor** (1857-1942) și **Hendrix Antoon Lorentz** (1853-1928), luând în considerație mișcarea pe orbite a electronilor în configurațiile atomice, transformă vechea teorie moleculară a fenomenelor din optică, într-o *teorie electronică* ceea ce permite o interpretare adecvată a dispersiei indicelui de refracție. În acest mod devine posibilă atât interpretarea dispersiei normale, cât și a celei anormale, legată de absorbția selectivă și descoperită de **August Kundt** (1839-1894) în 1871, ca un fenomen de rezonanță ce are loc în timpul mișcărilor oscilatorii ale configurațiilor electronice.

Noua teorie electronică a fenomenelor optice capătă o confirmare experimentală strălucită în 1896, când **Pieter Zeeman** (1865-1943) descoperă despicarea liniilor spectrale în câmp magnetic. Explicarea fenomenului este dată în același an de **H.A. Lorentz**, care explică în același mod și rotirea magnetică a planului de polarizare – descoperită de **Faraday** în 1845.

Trei ani mai târziu teoria clasică a luminii s-a dovedit insuficientă când au intervenit la început teoriile radiației câmpului negru și apoi noile concepții ale mecanicii cuantice. Aceste noi concepte sunt amintite mai detaliat în capitolul V, iar aici vom reține numai aplicațiile în domeniul dispozitivelor bazate pe emisia stimulată (indusă) de radiație. Aceste dispozitive au apărut la început sub forma de generatoare și



amplificatoare moleculare de radiație în domeniul microundelor la propunerea fizicienilor **J.P. Gordon**, **H.Z. Zeiger** și **C.H. Townes** care au descris realizarea unui fascicol molecular de amoniac ce lucra în domeniul microundelor denumit de autori – *maser*.

Acest generator funcționa pe o frecvență de circa 24000 MHz (corespunzătoare unei lungimi de undă de 1,25 cm), de mare stabilitate ceea ce a permis utilizarea lui ca “ceas” sau standard de frecvență. În anii 1960-1962, **H.M. Goldenberg**, **D.Kleppner** și **N.F. Ramsay** au realizat pe același principiu un maser cu fascicul de hidrogen care a putut să fie utilizat ca spectroscop de microunde, la determinarea structurii hiperfine a stării fundamentale a atomilor de hidrogen cu o precizie neegalată până atunci. Astfel, **G. Feher** și alții, **P.F. Chester** și alții, **Al. Mc. Whorter** și **J.W. Meyer** au realizat maseri utilizând substanțe paramagnetice, care au început să fie aplicați în radiolocăție, la legătura cu rachetele cosmice și sateliții artificiali.

În 1958, **A.L. Schawlow** și **C.H. Townes** au propus extinderea în domeniul vizibil a unui astfel de generator pe care l-au denumit *laser*. Prima realizare efectivă de laser a fost cea a lui **T.H. Maiman** în 1960 pe cristale de rubin unde a fost obținută radiație stimulată în domeniul vizibil, cu lungimea de undă de 6943 Å. Ulterior **R.J. Collins** și alții au demonstrat că această sursă de lumină vizibilă prezintă calități necunoscute până atunci: este coerentă, monocromatică, direcțională și foarte intensă.

În 1961 **A. Javan**, **W.R. Benett** și **D.R. Herriott** au realizat primul laser cu gaz ce folosea drept mediu activ cu amestec heliu-neon și au obținut o radiație cu lungimea de undă de 11 530 Å care prezenta o lărgime de bandă de 1000 ori mai mică decât a laserului cu rubin.

Pentru a se produce o undă cât mai puternică, monocromatică și coerentă, **A.L. Schawlow** și **C.H. Townes** au propus utilizarea unei cavități de rezonanță de o formă specială, analoagă interferometrului Fabry-Pérot, care permitea, prin reflexii successive între doi pereți opuși, puternic reflectători, selectarea selectivă a unor anumite moduri de oscilație.

Primii laseri cu rubin roz au fost construiți din vergele cilindrice tăiate din cristale de rubin în așa fel încât axa optică a cristalului să coincidă cu axul cilindrului. Capetele cilindrului, șlefuite și argintate formau în acest fel o cavitate de rezonanță de tip Fabry-Pérot. Primele lasere aveau un mod de excitație în regim pulsatoriu cu durată impulsului de 200  $\mu\text{s}$ , iar sistemul de pompaj era realizat de un tub exterior cu descărcare în xenon sau amestec de neon și cripton (flash tube). Semnalul laserului cu rubin avea o structură de tip *spikes* – sute de impulsuri scurte cu durate de câteva  $\mu\text{s}$  fiecare, emise la interval de  $5 \div 10 \mu\text{s}$ .

Printre alte realizări remarcabile din această epocă putem cita *laserul cu impulsuri gigantice* al lui **F.Y. McClung** și **R.W. Hallwarth** (1962-1963), care au folosit o celulă Kerr cu nitrobenzen între bara de rubin și suprafața reflectătoare în scopul de a facilita realizarea unei inversiuni de populație foarte mare între nivelele laser – ceea ce permitea obținerea în impulsuri a unor radiații extrem de puternice.

Printre alte lasere cu mediu activ solid putem cita laserul cu cristal de  $\text{CaF}_2:\text{U}^{+++}$  în domeniul infraroșu ( $\lambda = 2,49 \mu$ ) realizat de **P.D. Sorokin** și **M.J. Stevenson** (1961), laserul cu  $\text{SrF}_2:\text{U}^{+++}$ , realizat de **S.Porto** și **A. Yariv** (1962), laserii cu  $\text{BaF}_2$ , cu  $\text{CaF}_2:\text{Sm}^{++}$  etc.

Ulterior au fost realizați laseri cu mediu activ format din joncțiuni semiconductoare de **GaAs** ( $\lambda = 9000 \text{ \AA}$ ), **InP**, **GaSb**, **InAs** care emiteau în infraroșul depărtat.

În ultimii ani cercetările în domeniul laserilor cu gaz de puteri mari cât și al laserilor cu semiconductori au evoluat spectacular ducând la aplicații remarcabile.

## Capitolul V

## FIZICA ATOMICĂ ȘI NUCLEARĂ

Noțiunea de radiație termică a fost prima dată stabilită de chimistul **Wilhem Scheele** (1742-1786), primele experimente au fost făcute de **Marcus-Auguste Pictet** (1752-1825), iar **Pierre Prevost** (1751-1839) a stabilit în 1791 că fiecare corp radiază căldură independent de mediul înconjurător. Întrucât în prima jumătate a secolului al XIX-lea se cunoștea natura de unde electromagnetice a radiațiilor luminoase și termice, iar din termodinamică se stabiliseră primele două principii, apărea ca o necesitate cea mai mare revoluție din Fizică și anume reunirea dintre optică și termodinamică. În acest sens drumul a fost deschis de **Gustav Robert Kirchhoff** (1824-1887), care a arătat în 1859 că într-o cavitate închisă și menținută la o temperatură fixă se produce o radiație termică tipică numită *radiația corpului negru* care depinde numai de temperatură și nu de natura pereților. Această radiație de natură electromagnetică depinde de absorbția și indicele de refracție al corpului radiant. Ea respectă riguros legea sinusului a distribuției direcțiilor stabilită în 1760 de **Johann Heinrich Lambert** (1728-1777) din observații asupra radiației surselor luminoase.

Problema observației radiației într-o cavitate închisă părea imposibilă până în anul 1895, când **Otto Lummer** (1860-1929) și **Wilhem Wien** au avut ideea de a studia radiația corpului negru printr-o mică deschidere practică în perețele incintei. Radiația provenită din

multiple reflexii în incinta sferică a cavității nu era esențial influențată și în acest mod se putea studia cantitativ intensitatea radiației.

Cercetările în această direcție erau stimulate în acea epocă de apariția iluminatului artificial. Rezultatele în această direcție au depășit cu mult necesitățile modeste ale tehnicii și au dus la apariția mecanicii cuantice.

În 1879 **Josef Stefan** (1835-1893) stabilește pe baza măsurătorilor unor fizicieni francezi că energia totală a radiației termice este proporțională cu puterea a patra a temperaturii absolute. Aceeași lege a fost dedusă teoretic de **L. Boltzmann** în 1884 prin extinderea noțiunilor termodinamice de presiune și temperatură asupra radiației termice. Considerînd că radiația închisă într-o cavitate izotermă se comportă ca un gaz, el a calculat pe baza teoriei electromagnetice a luminii presiunea radiației asupra pereților cavității și aplicînd principiul I al termodinamicii, a dedus legea lui **Stefan**, precizînd faptul că factorul de proporționalitate este o constantă universală. Această teorie a fost un triumf al teoriei electromagnetice a luminii și a legării ei cu noțiunile termodinamice de presiune și temperatură și implicit cu noțiunea de entropie.

Tot în această perioadă, în 1883, fizicianul rus **Golișin** consideră și el radiația termică închisă într-o cavitate ca pe un gaz și aplicînd ecuațiile lui **Maxwell** asupra câmpului electromagnetic calculează energia, temperatura și presiunea acestui gaz.

În 1887, **V. A. Michelson** căutînd legătura dintre lungimea de undă a radiației termice și temperatură, prin aplicarea statisticii **Maxwell** din teoria cinetică a gazelor găsește că există un maxim după relația:

$$\lambda_m^2 \cdot T = \text{const.}$$

Un alt pas important apare în 1893 când **Wilhem Wien** (1864-1928) studiază compresiunea radiației corpului negru combinând considerații termodinamice cu efectul Doppler în cavitatea unui piston cu pereții perfect reflectanți. El ajunge la concluzia că funcția universală de distribuție a energiei radiației termice depinde numai de raportul dintre frecvența radiației și temperatură. În acest mod, cunoscând distribuția de energie a radiației pentru o anumită temperatură, o putem calcula pentru orice temperatură. Aceasta explică forma curbelor de energie și faptul că maximum de intensitate al spectrului pentru fiecare temperatură crește cu temperatura și se deplasează spre undele scurte. Spre exemplu radiația termică invizibilă la temperaturi mai joase, atinge maximum în vizibil la 6000°C; aceasta permite să evaluăm temperatura sursei de radiație, lucru aplicat mai târziu în construcția picnometrelor optice. Tot **Wien** a fost primul care a extins noțiunea de entropie nu numai la radiația corpului negru, ci și la radiația orientată, explicând de ce entropia unui radiator scade.

Folosind modelul oscilatorului electronic elaborat de Lorentz pentru a explica emisia luminii de către atomi, **Rayleigh** (1842-1919) și **James Hopwood Jeans** (1877-1949) au dedus teoretic în 1899 că intensitatea energiei este proporțională cu temperatura și pătratul frecvenței. Ei au considerat pereții cavității ca formați dintr-un ansamblu de oscilatori Hertz , fiecare cu frecvența lui proprie și acționând ca un rezonator la absorbția radiației.

În anul 1896 **W.Wien** și ulterior **Max Plank** au propus o lege prin care intensitatea trebuie să scadă exponențial cu lungimea de undă, evitând astfel *catastrofa ultravioletelor*. Până în 1899 această lege părea

bine confirmată experimental, dar măsurătorile perfecționate ale lui **Otto Lummer** și ale lui **Ernst Pringsheim** (1859-1917) au determinat pe **Plank** să reconsidere chestiunea. Ei au obținut pentru diversele temperaturi o dependență în formă de clopot cu un maxim pronunțat.

Formula lui Rayleigh-Jeans, în care funcția de repartiție era proporțională cu temperatura și pătratul frecvenței, prevedea o creștere indefinită a densității de repartiție cu frecvența ducând la așa numita "catastrofă a ultravioletelor". Pentru **Plank** esența problemei era dependența intensității de energia, frecvența și entropia radiației întrucât pentru legea lui Wien există o dependență, iar pentru Rayleigh -Jeans alta.

În Octombrie 1900, aflînd de măsurătorile noi efectuate de **Ferdinand Kurlbaum** (1857-1927) și **Heinrich Rubens** (1865-1922), care confirmau legea lui Rayleigh-Jeans pentru unde lungi, el a găsit o formulă de interpolare între aceste două teorii și a prezentat o nouă formulă care a primit ulterior tot mai multe confirmări empirice. Pentru a explica această nouă lege semiempirică, **Plank** a reconsiderat dependența dintre entropie și probabilitate stabilită de **Boltzmann** pornind dela o idee nouă - și anume că *energia oscilatorului nu există decât în trepte de energie discrete care se deosebesc printr-o cantitate  $h\nu$ , în care  $h$  este o constantă universală nouă - cuanta de acțiune elementară - de valoare  $6,5 \cdot 10^{-27}$  erg.s. La acea dată **Plank** a dedus cu aceste ipoteze și valoarea constantei lui Boltzmann de  $1,37 \cdot 10^{-16}$  erg/°C aplicînd ipoteza sa relației dintre entropie și probabilitate. Această nouă deducție comunicată de **Plank** în Decembrie 1900 în fața Societății Germane de Fizică a revoluționat dezvoltarea fizicii marcînd apariția *mecanicii cuantice* și ducînd la înțelegerea fenomenelor din interiorul atomului. Contradicția fundamentală față de mecanica clasică era față de legea echipartiției*

energiei pe grade de libertate, care conducea la o energie medie  $kT$  pentru un oscilator.

Teoria lui **Plank** nu a fost just apreciată de contemporani decât la Universitatea din Breslau (Wroclaw de astăzi) unde lucrau **Lummer** și **Pringsheim**. În perioada 1901-1905 această teorie nu a fost dezvoltată mai departe, până când tânărul **Albert Einstein** în două lucrări publicate în 1905 și 1906, legate de absorbția și emisia luminii, extinde această reprezentare discontinuă a energiei radiației la însuși câmpul electromagnetic - marcînd astfel ipoteza naturii discrete a luminii sub forma ulterior numită de *fotoni*.

Un pas ulterior important a fost realizat de studiile privind *efectul fotoelectric*. Acest efect este prima oară menționat de **Heinrich Hertz** care a arătat în 1887 că lumina ultravioletă ușurează străpungerea între doi electrozi într-un balon vidat. După un an, **Wilhem Hallwacs** (1859-1922) stabilește drept cauză apariția unor purtători de electricitate, iar în 1899, **Philipp Lenard** (1862-1947), stabilește că acești purtători de sarcină sunt electroni. Acest efect a mai fost studiat de **A.Stoletov** și de **Ph.Lenard** care au stabilit că energia electronilor eliberați este independentă de intensitatea fluxului luminos incident și că intensitatea luminii incidente determină numai numărul electronilor eliberați în unitatea de timp. Acest lucru nu se putea explica prin teoria ondulatorie a luminii.

În 1905 preluînd teoria cuantelor, **A.Einstein** elaborează *teoria efectului fotoelectric*, concepînd raza luminoasă ca un flux de cuante de lumină. Acum devine evident că o singură cantă de lumină de energie mai mare ca energia de extracție a electronului din metal, devine suficientă pentru smulgerea electronului. Legile efectului fotoelectric sunt



concentrate în binecunoscuta ecuație a lui Einstein, ulterior verificată experimental de fizicienii **A.H.Compton** (1892-1958) și **Richardson** în 1912. În 1916, **R.A.Milikan** care inițial criticase teoria lui Einstein reușește să determine cu mare precizie din măsurarea energiei și frecvenței fotoelectronilor constanta **h** a lui Plank.

Pe aceeași idee, **Ehrenfest** în două articole publicate în "*Physikalische Zeitschrift*" subliniază că ipoteza cuantelor de energie este străină fizicii clasice și că aplicând statistica clasică Maxwell-Boltzmann se obține numai distribuția arătată de formula Rayleigh-Jeans. Formula lui Plank se obține numai prin condiții suplimentare impuse statisticii clasice. În acest mod **Ehrenfest** inițiază apariția *statisticii cuantice*. Denumirea de *fotoni* atribuită cuantelor de lumină a fost introdusă de fapt mult mai târziu la propunerea fizicianului **A.Lewis** în 1926.

În anii 1906-1907, **Einstein** extinde ipoteza cuantică la un nou domeniu al Fizicii și anume *căldura specifică a corpurilor solide* și aplicând în calculul a  $3N$  oscilatori independenți dintr-un corp solid de  $N$  atomi formula lui Plank, obține pentru căldura specifică o formulă care exprimă scăderea ei cu temperatura, dar și tendința spre o valoare constantă dată de legea lui Dulong și Petit de cca. 6 cal/grad.mol. Explicația formulei lui Einstein satisface determinările lui **Nernst** care au arătat că la temperaturi joase și pentru anumite substanțe căldura specifică este mult mai mică.

În 1909 în lucrarea "*Considerații asupra situației actuale a problemei radiațiilor*" **Einstein** face un pas și mai important în dezvoltarea teoriei cuantelor, calculând pentru fluctuațiile energiei radiației electromagnetice închise într-un volum dat, o formulă compusă din doi termeni ce explică atât fluctuațiile Wien obținute din teoria corpusculară,

cât și fluctuațiile Rayleigh-Jeans caracteristice teoriei ondulatorii și exprimând astfel *sinteza corpuscular-ondulatorie a luminii*. Tot **Einstein** stabilește în 1912 legea fundamentală a fotoemisieii potrivit căreia orice reacție fotochimică pornește în prima fază prin absorbția unei singure cuante luminoase și printr-o transformare ulterioară, în faza a doua, a unui singur atom sau a unei singure molecule. Această lege a fost dovedită ulterior de activitatea de cercetare a lui **Emil Warburg** (1846-1931), **Max Bodenstein** (1871-1942) și **James Franck**.

Ipoteza cuantelor de lumină a primit un alt sprijin serios din partea fizicianului american **Arthur Compton**, cântareț din havaiană și campion de tenis, preocupat de natura razelor cosmice. El a studiat împrăștierea incoerentă a razelor X și a constatat că această împrăștiere se produce în parte cu aceeași lungime de undă - lucru care se știa deja pentru radiația luminoasă, lucru constatat și de **Röntgen** cu ocazia experiențelor cu raze X, dar apare totodată și o împrăștiere cu lungime de undă mai mare - deci cu frecvența mai mică. Teoria sa, obținută independent în același timp și de **P.D.Debye** nu era altceva decât aplicarea legilor de conservare a energiei și impulsului la interacțiunea cuantelor luminoase cu electronii liberi. Efectul este evident pentru razele X ale căror cuante au mare energie, deși el există de fapt pentru orice radiație electromagnetică.

În anul 1815 **William Prout** (1875-1850), a emis ipoteza că întrucât ponderile atomice ale elementelor sunt numere întregi, s-ar putea ca toți atomii să fie alcătuiți dintr-un constituent elementar - atomul de hidrogen. Această idee a fost abandonată până când în 1869, **Dimitri Ivanovici Mendeleev** (1834-1907) și **Lothar Meyer** (1831-1895) au

ordonat în mod independent elementele, după comportarea chimică, creînd astfel un sistem periodic, cunoscut de atunci sub numele de *tabelul lui Mendeleev*.

La începutul anului 1896, fizicianul francez **Henry Becquerel** (1852-1908), auzind de recenta descoperire a razelor X, a încercat să observe dacă materialele fluorescente prezintă această proprietate și sub acțiunea razelor X. Pentru aceste studii el a ales cristalele unui mineral denumit *uraniu* (dublu sulfat de uraniu și potasiu) și cu totul întâmplător a observat – datorită vremii nefavorabile – că acest cristal impresiona o placă fotografică învelită în hârtie neagră. În acest mod a fost descoperită *radioactivitatea* care la începuturile secolului XX a concentrat eforturile de cercetare a multor fizicieni și chimiști. Printre aceștia poloneza **Marie Sklodovska Curie** (1859-1934), împreună cu soțul său francez **Pierre Curie** (1859-1906) au căutat proprietățile radioactive ale minereurilor de uraniu. **Marie Curie** a constatat că minereurile de uraniu prezentau o radioactivitate de cinci ori mai mare decât ar fi presupus cantitatea de uraniu din minereu.

După o muncă sisifică - prelucrînd chimic o tonă de reziduuri de uraniu obținută de la guvernul austriac din zăcămintul de la Jachimov – Slovacia de azi, ea reușește să separe un nou element chimic mult mai radioactiv – *poloniu*, denumit astfel în cinstea țării sale. Împreună cu **Pierre Curie** descoperă astfel *radiul* pentru care iau premiul Nobel pentru Fizică (1903). Tot ei au descoperit în același timp cu **Gerhardt C. Schmidt** radioactivitate la thoriu – de milioane de ori mai intensă decât poloniul și radiul. Lista acestora a fost ulterior completată de alți cercetători cum ar fi: **Otto Hahn** care a descoperit *radiotoriul* (1904),

*mezotoriul I și II (1907) și protactiniul (1917) împreună cu Lise Meitner.*  
În 1900 **Rutherford** descoperă emanația gazoasă a thoriului.

În 1899, **Ernest Rutherford** care avea atunci 28 de ani, a găsit că în radiația penetrantă există trei feluri de radiații: a) *radiații alfa*, care ulterior s-au dovedit a fi ioni de heliu (doisprezece ani mai târziu cu experiențe de împrăștiere); b) *radiații beta* care pot trece prin foițe de aluminiu de câțiva milimetri formate din fascicule de electroni de mare viteză și c) *radiații gamma* ( $\gamma$ ) care puteau străbate plăci de plumb de câțiva cm, similare razelor X, dar cu lungime de undă mult mai mică.

Ulterior **Rutherford** și colaboratorul său **Soddy (1902)**, ajung la concluzia că fenomenul radioactivității își are origina în nucleu - ceea ce a condus la enunțarea *legii deplasării*: emisia unei particule alfa cu sarcina +2 și masa 4 conduce la apariția unui nou element aflat cu două căsuțe mai la stânga în tabelul lui Mendeleev, iar emisia unei particule beta - la apariția unui element aflat cu o căsuță mai la dreapta. S-a arătat că radiațiile gamma (descoperite de **Paul Villard** în 1900, însoțesc toate aceste tipuri de transformări. Pentru substanțele radioactive s-au introdus noțiunile de *durată de viață* și de *înjumătățire*.

Natura radiațiilor beta a fost ușor stabilit ca fiind formate din electroni de mare viteză, de cercetările făcute de **Ernest Dorn (1848-1916)**, **Jean Becquerel**, **Friederich Giesel (1852-1921)**, **Egon von Schweider (1873-1948)**. Pentru particulele alfa, după îndelungi încercări, **Rutherford** stabilește în 1903 prin experimente de deviere că raportul dintre sarcina și masa lor se potrivește ca semn și mărime cu ionii dublu ionizați ai atomilor de heliu. În 1904, **William Ramsay (1852-1916)** și **F. Soddy** au remarcat prezența heliului în compoziții radiului, ceea ce

demonstrează formarea heliului din radiu. În 1909, **Rutherford** împreună cu **T. Royds** confirmă identitatea particulelor alfa cu ionii de heliu, dovedind că particulele alfa neutralizate emit linia spectrală galbenă caracteristică heliului.

Cu aceste noțiuni s-au stabilit cele patru familii radioactive naturale: a) *seria Uraniului*  $U_{238}$ , ( $m=4n+2$ ), cu timp de înjumătățire de  $4,5 \times 10^9$  ani, b) *seria Thoriului* ( $m=4n$ ) cu timpul de  $1,3 \times 10^{10}$  ani, *seria Actiniului* ( $m=4n+3$ ) al cărui strămoș - *protactiniul* are timpul de înjumătățire de  $5 \times 10^8$  ani și *seria Neptuniului* ( $m=4n+1$ ), comparabile cu vârsta Universului. S-a constatat că dezintegrarea de tip alfa este cea mai lentă - lucru explicat de **G.Gamov**, **Roland Gurney** și **Edward Condon** prin barierele înalte de potențial electric ce înconjoară nucleeele, bariere ce nu pot fi penetrate decât prin efect tunel.

În anul 1911, un tânăr fizician danez de 26 de ani - **Niels Bohr**, absolvent al Universității din Copenhaga sosi la Manchester. În 1913 studiind modelul atomic al lui **Rutherford**, constată că acesta prezenta o serie de defecțiuni: prima constatare era că un atom nu ar fi putut exista decât o infimă fracțiune de secundă întrucât electronii ce gravitează cu viteze mari pe orbite sunt echivalenți cu oscilatori electrici și conform electrodinamicii clasice emit unde electromagnetice care pierzându-și energia s-ar mișca pe traiectorii în spirală căzând pe nucleu. Situația era tot atât de paradoxală ca și "catrastofa ultravioletelor" a lui **Jeans** de la radiația corpului negru. Inspirându-se din postulatele lui **Plank**, **Bohr** a făcut presupunerea că energia electronilor nu poate exista decât în anumite cantități fixe. Sub acțiunea unei cuante de lumină  $h\nu$ , un electron poate trece de pe starea fundamentală pe o stare excitată. Trecerea inversă se face bineînțeles cu emisiunea unei radiații electromagnetice de energie

$h\nu$ . Sunt posibile combinații între nivelele energetice ceea ce corespunde *principiului de combinare empiric* al spectroscopistului **Rydberg**, descoperit cu mult înainte de apariția mecanicii cuantice.

Teoria lui **Bohr** a fost puternic sprijinită inițial de descoperirea *seriei lui Balmer (1885)* în spectrul de emisie *vizibil* al hidrogenului (o linie roșie, una albastră și două violete) și ulterior de *seriile spectrale ale lui Theodore Lyman și Friederich Pashen* din *infraroșul îndepărtat*. Știind că razele orbitelor cuantice (presupuse inițial cercuri), cresc ca pătrate de numere întregi, **Bohr** a arătat că trebuie cuantificat *momentul cantității de mișcare* – mărime cunoscută din mecanica clasică sub denumirea de *acțiune*. Această generalizare a fost făcută de fizicianul german **Arnold Sommerfeld** care a introdus pentru fiecare nivel orbital și nivele în formă de elipsă a cărei excentricitate depindea tocmai de cuantificarea momentului cinetic.

În prima decadă a dezvoltării sale, această teorie a putut explica cu succes proprietățile atomilor complecși, spectrul lor optic, interacțiunile chimice, etc. Incercările de a aplica această teorie în cazul atomilor și mai complecși cum ar fi metalele alcaline, nu au putut explica liniile spectrale ale acestora clasificate de **Pashen și Runge** și simultan de **Rydberg** în următoarele serii:

- *seria principală* – situată în *vizibil* și mai ales în *ultraviolet*, având liniile cele mai intense;

- *seria fină* – cu linii nete și fine situate în *ultraviolet și vizibil*;

- *seria difuză* – cu linii difuze în aceleași domenii ca și seria fină;

- *seria fundamentală* – cu linii în *infraroșu*.

Aceste serii sunt denumite după nivelele energetice pe care le generează: **s, p, d, f** și ele provin de la cuantificarea momentului cinetic orbital  $p_l = l\hbar$  și corespund respectiv valorilor de: **0,1,2,3**. Teoria **Bohr-Sommerfeld** a putut explica toate structurile caracteristice liniilor spectrale ale metalelor alcaline cu excepția structurilor de dublet și uneori a celei de-a treia linii numită *satelit*.

Experimental s-a constatat că separarea liniilor de dubleți crește cu masa atomului de la o valoare neglijabilă pentru *litium*, la mai mult de 400 Å pentru *cesiu*. Pentru a justifica această structură de dublet a liniilor spectrale, în 1925, **Goudsmit și Uhlenbeck** au introdus pentru electron o cuantificare pentru *momentul cinetic de spin* datorită rotației electronului în jurul axei proprii. Mărimea momentului cinetic de spin este  $p_s = s\hbar$ , iar într-un câmp magnetic exterior numărul cuantic magnetic de spin  $m_s = \pm \frac{1}{2}$ .

Momentul cinetic total al electronului va rezulta din compunerea momentului cinetic orbital cu cel de spin. Pentru a justifica liniile spectrale experimentale în Mecanica Cuantică s-au enunțat așa numitele *reguli de selecție*, care interzic anumite tranziții:  $\Delta l = \pm 1 (\Delta l \neq 0)$ , iar  $\Delta J = \pm 1$  sau 0. Tranzițiile cu  $\Delta J = 0$  sunt mai slabe și corespund liniilor satelit.

Experiențele de împrăștiere cu particule alfa efectuate de **Rutherford (1913)**, au arătat că atomul este format dintr-un nucleu în care se concentrează întreaga masă a atomului, încărcat cu **Z** sarcini pozitive (unde **Z** este numărul de ordine din Tabelul lui **Mendeleev**) și dintr-un număr egal de sarcini negative - electroni - ce gravitează după un *model planetar* în jurul nucleului. **Rutherford**, ajutat de tânărul matematician **R. H. Fowler**, ginerele său, a stabilit o formulă care

concorda foarte bine cu graficele de împrăștiere observate și anume că numărul de particule deviate cu unghiul  $\theta$ , este invers proporțional cu  $\sin^2 \frac{\theta}{2}$ , ceea ce a creat imaginea planetară a nucleului central înconjurat de un roi de electroni ce se mișcă sub acțiunea atracției coulombiene.

Această descoperire a permis și explicarea periodicității proprietăților elementelor din tabelul lui **Mendeleev**. Devierea cu unghiuri mari pentru anumite particule alfa împrăștiate constatată în 1913 de **Hans Geiger** (1881-1945) și **E. Marsden** combinată cu studiul razelor X efectuat de **H. G. Moseley** (1887-1915), au arătat că locul elementelor în sistemul periodic ne dă numărul de sarcini elementare pe care le poartă nucleul.

Ulterior în 1925, pe baza datelor spectrale ale lui **S. Goudsmit** și **G. E. Uhlenbeck**, care doreau să lămurească și periodicitatea spectrelor de linii, s-au atribuit electronului un moment magnetic și unul cinetic, cu valori discontinue, bine determinate și legate prin constanta lui **Plank**. În același an, **Wolfgang Pauli** stabilește *principiul de excluziune* care-i poartă numele, după care într-un atom nu pot exista doi electroni cu toate cele patru numere cuantice identice.

În acest fel s-a putut explica, controlat prin observații spectrale, de ce primele perioade ale sistemului lui **Mendeleev** cuprind câte 8 elemente, următoarea 18, o alta 32 și de ce fiecare perioadă începe cu un metal alcalin și se încheie cu un gaz inert.

Modelul atomic preconizat de **Rutherford** se referea de fapt la atomul de hidrogen sau la atomii hidrogenoizi. Pentru nucleeele celorlalte elemente mai grele a apărut *modelul protono-electronic al nucleului*, care



a persistat până la 1930, după care numărul electronilor din nucleu ar trebui să fie egal cu numărul de masă minus numărul de ordine, astfel ca să se anuleze o parte din sarcina electrică pozitivă. Spre exemplu în cazul heliului nucleul trebuia să fie format din 4 protoni și 2 electroni. Această ipoteză - foarte atrăgătoare în epocă explica *existența izotopilor*, dar nu putea explica de ce raza nucleului așa cum rezulta din experiențele lui **Rutherford** era de același ordin de mărime cu raza electronului. Apărea astfel ipoteza existenței în nucleu a unei alte particule, de aceeași masă cu protonul, dar neutră din punct de vedere electric.

O astfel de particulă - *neutronul* - este descoperită de **J. Chadwick** în 1930, prin experiențe de bombardare nucleelor elementelor ușoare (ca beriliul), cu fascicule de particule alfa. Aceasta a condus la elaborarea *modelului protono - neutronic al nucleului* de către **Heisenberg, Ivanenko, Tamm (1932)**, model care concepe nucleul format din protoni și neutroni, numărul de neutroni pentru un element  ${}^A_Z X$ , fiind egal cu  $N=A-Z$ .

Cu acest model s-au putut explica toate datele cunoscute cum ar fi: existența *izotopilor* - prin numere diferite de neutroni pentru același număr de protoni nucleici și existența *nucleelor izobare* - nuclee care au același număr de masă  $A$ , precum și stabilitatea acestora. Astfel s-a constatat că izotopii cu  $A > 209$  nu sunt stabili, însă se găsesc în natură, deoarece aparțin unor serii radioactive cu timp de înjumătățire foarte mare. De aici s-a tras concluzia că între protoni și neutroni există forțe de atracție foarte puternice - *forțe nucleare*, care se exercită doar la mică distanță, mult mai puternice decât forțele de repulsie electrostatică dintre protoni. Acest model a explicat și radioactivitatea nucleelor, iar ulterior a putut explica și emisia de radiații beta din nucleu, ca rezultat al

transformării neutronilor în protoni, sau al protonilor în neutroni, cu emisie de electroni în primul caz, sau de pozitroni în al doilea caz. În ambele procese, respectarea legilor de conservare explică și emisia unei alte particule - *neutrinel*.

*Neutrinel*, această particulă insesizabilă multă vreme, a fost pusă în evidență abea în 1955, când **Fred Reines** și **Cloyd Cowan** au reușit să o captureze în laboratorul de la Los Alamos unde au înconjurat un reactor nuclear cu un container imens umplut cu hidrogen. Ei s-au folosit de contoare de neutroni și pozitroni, care produceau semnal numai la ciocnirea simultană dintre un neutron și un pozitron - rezultat al reacției care producea apariția neutrinilor. În acest mod ei au obținut câteva semnale pe minut, care scădeau rapid la oprirea reactorului.

În această perioadă fizicienii care studiau reacțiile nucleare au folosit pentru determinări aparate simple cum ar fi *spintariscopul* - utilizat de **Rutherford**, dar ulterior s-au imaginat dispozitive mai perfecționate de accelerare a particulelor încărcate cum ar fi *betatronul*, *ciclotronul*, *sincrofazonul*, etc. iar pentru studierea efectelor reacțiilor nucleare - *camera Wilson*, *contoarele de particule Geiger-Müller* și *metoda plăcilor fotografice cu strat gros de emulsie*. Realizarea în 1932 de către fizicianul american **E. O. Lawrence** a primului ciclotron transformă tradiționalul laborator modest al fizicianului într-o veritabilă instalație industrială, controlată de aparatură electronică complicată și scumpă.

În 1934, **Irene Joliot-Curie** și **Frédéric Joliot-Curie**, bombardând cu raze alfa diferite ținte ușoare (aluminu), obțin pentru prima oară *izotopi instabili a căror radioactivitate a fost provocată artificial*. Cu această ocazie se constată și apariția unor raze cu încărcătură

electrică pozitivă - *pozitronii* - descoperiți cu câțiva ani în urmă în razele cosmice.

Tot în același an, fizicianul italian **Enrico Fermi** face experiențe cu neutroni încetiniți în straturi de apă sau parafină obținând ca rezultat apariția unor presupuși transuranieni. Chimii **Ida** și **Walter Noddak** de la Institutul de Chimie Fizică din Freiburg enunță pentru prima oară ideea că nucleele de uraniu bombardate cu neutroni se pot desface în fragmente mari.

În urma studiilor lui **Otto Hahn** și **Lise Meitner** în laboratoarele Institutului Kaiser din Berlin, dar și de **Joliot Curie** și **Savici** la Paris, s-a ajuns la concluzia că un nucleu de uraniu poate exploda sub acțiunea unui neutron lent, transformându-se în nuclee de bariu.

În 1939 apare teoria "*fisiunii nucleare*" elaborată de **Bohr** și **Weeler** în Statele Unite și de **Frenkel** în URSS, cu care ocazie se poate elibera o energie enormă – de circa 150 – 200 MeV pentru un nucleu fisivat.

**F. Joliot Curie**, în 1939, în colaborare cu **Holban**, **Kovarski** și **Perrin**, arată într-un articol posibilitatea unei *reacții în lanț a fisiunii nucleare* în care după fiecare fisiune se produc 2 – 3 neutroni excedenți. Această posibilitate a fost arătată în același an de fizicianul ungar **I. Szillard**, refugiat în USA și apoi de fizicianul sovietic **I. Kurceatov**.

Acestea au fost fenomenele care au stat la baza dezvoltării reacțiilor nucleare în lanț în reactoare nucleare și apoi la dezvoltarea bombei atomice cu fisiune, experimentată prima oară la *Alamogordo* în USA și folosită apoi împotriva Japoniei la Hiroshima și Nagasaki în 1945, ceea ce a dus la terminarea bruscă a celui de-al doilea Război Mondial.

În 1944, **V. I. Weksler** și **Mac Millan** au avansat ideea de construcție a *sincrociclotronului* prin care un câmp cu frecvența lent variabilă corectează rămânerea în urmă a particulelor din ciclotron din cauza variației masei cu vitezele mari. Cu acest aparat s-au obținut energii de 100 MeV și s-au obținut pentru prima oară *pioni* în laborator.

În 1945, **Kerat** construiește în USA primul *betatron* pentru electroni cu câmp magnetic variabil și în care câmpul electric era produs prin inducție. Astfel s-au obținut fascicule electronice de până la 100 MeV, care prin ciocnire cu o țintă produceau raze gama, ceea ce a permis studiul *efectului fotoelectric nuclear*, *regenerarea mezonilor* etc. Aplicând principiile autofazării și focalizării tari, cu ajutorul unor câmpuri magnetice speciale care compensau reculul de radiație al electronilor (**Sokolov 1949**), s-au conceput *betatroane gigantice* dintre care putem cita pe cele de la *Brookhaven* și *Berkley*, care accelerau protoni până la 2,6 BeV, respectiv 6,5 BeV. În 1957 la *Dubna* s-a pus în funcțiune *sincrofazotronul de protoni* de 10 BeV, iar la *CERN (Geneva)* – un accelerator de protoni de 25 BeV. Ulterior aceste instalații gigant au proliferat.

Tot acum s-au construit *acceleratorii liniari de protoni și electroni*, pe principiul undei electromagnetice progresive (*Stanford USA* – accelerator liniar de electroni până la 1000 MeV), utilizați pentru cercetarea structurii nucleelor. Cu un asemenea accelerator fizicianul american **R. Hofstadter** a studiat structura protonului și neutronului (1956), lucrare laureată cu premiul Nobel în 1961. El a studiat electronii deviați de câmpurile puternice din nuclee cu ajutorul unui spectrometru

magnetic, punând în evidență existența unui *nor mezon* – care permit măsurarea cu precizie a dimensiunii nucleonilor.

În această perioadă s-au perfecționat și mijloacele de detecție a particulelor prin *detectori Cerenkov*, *camera cu scânteii*, *camera cu bule* a lui **D. Gesler** (1952), pentru care acesta a primit premiul Nobel în 1960.

Toate aceste succese experimentale au fost posibile ca realizare și interpretare prin dezvoltarea explozivă a *Fizicii Teoretice*, în particular a *Mecanicii Cuantice*. Astfel în 1924 fizicianul francez **Luis de Broglie** meditănd la dualismul einsteinian undă de lumină - foton, enunță ideea că și particulele atomice pot avea un caracter ondulator, cu o lungime de undă legată de impuls prin *constanta de acțiune  $h$* . Celebrele unde de Broglie contribuie astfel la clarificarea existenței stărilor staționare și a energiei discrete a orbitelor electornice din jurul nucleelor. **De Broglie** a fost frapat de uimitoarea analogie matematică dintre dinamica punctului material și ecuațiile opticii geometrice, semnalată la sfârșitul secolului trecut de fizicianul irlandez **Hamilton**.

Pornind de la considerații diferite, în 1926 **E. Schrödinger** a stabilit pentru undele de Broglie asociate particulelor, o ecuație cu derivate parțiale de tipul ecuației undelor, a cărei rezolvare în considerarea condițiilor la limită conduce la concluzia existenței unei mulțimi discrete pentru valorile energetice.

Aplicată atomului de hidrogen această teorie a condus la aceleași nivele de energie ca în teoria lui **Bohr**, ceea ce permitea deducerea formulei lui **Balmer** pentru spectrul hidrogenului. **Schrödinger** a aplicat în acest scop o teorie din matematica clasică - *problema determinării valorilor caracteristice ale unei ecuații cu derivate parțiale de ordinul al*

*doilea*. În ecuația lui **Schrödinger** funcția de undă este imaginată ca o funcție scalară cu valori complexe.

Între timp, în 1925, **M. Born**, **W. Heisenberg** și **P. Jordan** au creat independent o mecanică cuantică de aspect diferit, dar identică matematic cu teoria lui **Schrödinger**, stabilită de acesta în 1926 și în care relația lui **de Broglie** dintre lungimea de undă și impuls intervine asemănător.

Tot pe baza mecanicii ondulatorii, în 1926, **Max Born** a demonstrat împrăștierea particulelor alfa de către substanță. În 1928, **G. Gamow** explică emisia de particule alfa din nucleele radioactive, arătând că nucleul atomic este înconjurat de o barieră de potențial prin care particulele alfa se strecoară cu o anumită probabilitate prin *efect tunel*.

Printre alte realizări remarcabile ale mecanicii ondulatorii putem cita reducerea legăturii chimice dintre doi atomi identici la o *energie de schimb* în lucrarea clasică a lui **W. Heitler** și **P. London** în 1927 cu referire la molecula de hidrogen.

Pentru explicarea unor fenomene mai complexe ca *efectul Zeeman* și *efectul Stark*, în care sistemul atomic e supus acțiunii externe a unui câmp magnetic, respectiv electric, **E. Schrödinger** transpune în mecanica ondulatorie metodele clasice din mecanica cerească, dezvoltând *teoria perturbațiilor* și elaborând astfel o metodă de modelare matematică. Tot **Schrödinger** stabilește și *ecuația de propagare* pentru cazul unui sistem format de  $n$  particule ce evoluează într-un spațiu de configurație cu  $3n$  dimensiuni.

În paralel cu cercetările lui **Schrödinger** din Elveția, la Göttingen în Germania, în reputata școală de fizică teoretică condusă de **Max Born**, tânărul asistent **Werner Heisenberg** pune bazele *mecanicii matriciale*, în care teoria cuantică este construită fără modelul clasic, introducând mărimile fizice observabile. Într-un articol celebru, publicat în *Zeitschrift für Physik*, el ia în considerare tranzițiile electronilor de la o stare la alta, în spațiul configurațiilor,  $(p, q)$ , construind prin *metoda corespondenței* un tablou matricial cu frecvențele și intensitățile liniilor spectrale emise. El a stabilit reguli de adunare și multiplicare ale acestor tablouri de numere, care, așa cum au remarcat ulterior **Born și Jordan (1925)**, s-au dovedit identice cu calculul matricial din algebra liniară. Ecuațiile canonice ale lui **Hamilton** sunt rescrise cu ajutorul matricilor, demonstrând că ele satisfac principiul conservării energiei și sunt de acord cu legea frecvențelor lui **Bohr**. **Heisenberg** reușește să găsească o metodă pentru calculul valorilor discrete ale energiei atomului.

În 1926, **Schrödinger**, într-un memoriu demonstrează identitatea dintre mecanica ondulatorie și mecanica matricială, arătând că se pot construi cu ajutorul funcțiilor de undă mărimi ce au proprietățile matricilor introduse de **Heisenberg**. **Schrödinger** arată că fiecărei mărimi fizice  $i$  se poate asocia un operator și că folosind funcțiile de undă proprii ale sistemului atomic considerat, se pot forma matrici identice cu cele stipulate de teoria lui **Heisenberg**. În acest mod, prin unificarea celor două metode se semnează actul de naștere al *mecanicii cuantice* și actuale. Sinteza propriu-zisă a fost consacrată de fizicianul englez **Paul A.M. Dirac** în mai multe memorii publicate în *Proceedings of The Royal Society*, reunite în 1930 în cartea sa de referință *The Principles of Quantum Mechanics*. Aici el arată că principiul fundamental al Mecanicii

Cuantice este *principiul superpoziției*, iar starea cuantică este reprezentată simbolic printr-o rază în spațiul Hilbert complex.

În acest mod **Dirac** introduce corespondența dintre stări și vectorii din spațiul vectorial hilbertian al fazelor. Dirac a fost influențat în această concepție de seminariile matematicianului **David Hilbert** pe care le-a frecventat la Școala de Fizică Teoretică din Göttingen. **Dirac (1939)** folosește concepțiile vectorilor contravarianți și covarianți din geometria diferențială, introducând două categorii de vectori unitari: *vectorii ket* notați cu simbolul  $| \psi \rangle$  și *vectorii bra*  $\langle \psi |$ , cu care enunță *teoria transformărilor stărilor* în care operatorii (observabilele) sunt *operatori liniari*; prin acțiunea lor asupra vectorilor-stări se generează alți vectori - stări. Dirac, în rezolvarea acestor probleme, a fost condus la elaborarea funcției improprii  $\delta$  - care îi poartă numele și în acest mod a contribuit la fundamentarea unui nou domeniu matematic - *calculul distribuțiilor din analiza funcțională*. Aceste noi concepte au fost sintetizate și dezvoltate de matematicianul **F.E. Neumann** în lucrarea "*Bazele matematice ale mecanicii cuantice*" în 1932.

**Einstein (1925)** și ulterior **Max Born (1926)** leagă undele asociate particulelor - undele de Broglie, de noțiunea de *probabilitate*, arătând că pătratul modulului funcției de undă complexă reprezintă pătratul amplitudinii unde și este în acest mod măsura intensității unde. Aceasta a permis lui **Heisenberg** în 1927 să enunțe pentru microparticule *principiul de nedeterminare* care îi poartă numele.

Mecanica cuantică s-a dovedit o teorie de importanță covârșitoare pentru dezvoltarea fizicii moderne, iar fondatorii ei: **L. de Broglie**, **E. Schrödinger** și **Heisenberg** au fost laureați ai premiului Nobel în 1929.



Pe baza acestor teorii fizicianul teoretician **Wolfgang Pauli** (1900-1961) emite în 1925 *principiul de excluziune* care îi poartă numele și după care saturația cu electroni a nivelurilor energetice pentru atomii cu mai mulți electroni (descoperită empiric în 1924 de fizicianul englez **Stoner**) se datorează imposibilității pentru doi electroni din același atom de a avea stări cuantice riguros identice – reprezentate prin aceleași numere cuantice - adică în limbajul mecanicii cuantice stările realizate în natură pentru electroni sunt stări antisimetrice.

Acest principiu completat cu ipoteza existenței spinului electronic a lui **Goudsmit și Uhlenbeck** în 1925, a permis interpretarea spectrului de heliu de către **Heisenberg** (1927), precum și dezvoltarea metodelor aproximative de calcul pentru atomii cu mai mulți electroni -**L. Thomas** (1927), **E. Fermi** (1928). Tot acum a fost elaborată și metoda de calcul a *câmpurilor self-consistente*. (**D. Hartree** (1929), **J.C. Slater** (1930) și **V. Fock** (1930).

Mecanica cuantică a condus la *teoria moleculei de hidrogen* (**W. Heitler și F. London** în 1927), la *teoria moleculelor homeopolare*, *teoria cuantică a valenței chimice* și dezvoltarea unui nou domeniu de cercetări - *chimia cuantică*.

Ideea *forței de schimb* a lui **Heitler și London** pentru hidrogen a condus la recunoașterea celor două stări alotropice ale hidrogenului *orto* și *para* studiate de **Eucken și Hiller** (1929), iar ulterior a fost aplicată de **I. Frenkel și W. Heisenberg** (1928) în explicarea feromagnetismului.

O altă aplicație remarcabilă a mecanicii cuantice a fost descoperirea *efectului tunel* de către **G. Gamow** în 1928 - adică trecerea unei particule printr-o barieră statică de potențial în baza conceptului de undă asociată particulei. Cu acest efect, **Gamow**, iar ulterior **Condon** și

**Gurney (1929)** au putut explica dezintegrarea alfa a substanțelor radioactive, iar **R. Fowler și Nordheim** - emisia la rece a electronilor din metal.

În 1927, **W. Pauli** elaborează prima teorie a electronului cu spin și moment magnetic propriu, servindu-se de analogia dintre spin și polarizarea luminii.

Incercând generalizarea relativistă a teoriei cuantice, în 1926, simultan, **O. Klein, V. Fock și W. Gordon** au obținut o ecuație de unde de ordinul doi, cunoscută sub numele de *ecuația Klein-Gordon*, care descria mișcarea unei particule fără spin și care după descoperirea mezonului a fost folosită pentru reprezentarea pionilor cu spin nul.

În 1928, **P. Dirac**, folosind ecuația de undă relativistă de ordinul al doilea și utilizând operatorii din ecuația lui **Schrödinger**, a introdus niște operatori suplimentari care îi poartă numele. Astfel el reușește să linearizeze expresia operatorială și obține ecuația de undă relativist-invariantă a electronului, care astăzi se numește *ecuația lui Dirac*.

Teoria relativistă a lui Dirac reușește să explice structura fină a liniilor spectrale atomice, și pentru prima oară în mod satisfăcător și *efectul Zeeman anormal*.

Ecuația lui Dirac introduce pentru electron stări de energie pozitivă și negativă între care pot avea loc tranziții foarte frecvente - *paradoxul Klein*. **Dirac**, pentru a evita impasul teoriei sale, a elaborat "*teoria lacunelor*" - adică a golurilor pe nivelele cu energie negativă prezicând astfel existența unei particule pozitive, identică cu electronul - descoperită mai târziu în 1932 - *pozitronul*.

În această perioadă apare *teoria cuantică a câmpurilor*, concepută inițial de **Dirac** în 1927 prin cuantificarea părții radiative (transversale) a undelor electromagnetice. Ulterior **Heisenberg** și **Pauli** (1929) formulează *principiul variațional al electrodinamicii*, iar apoi **Dirac**, **Fock** și **Podolsky** generalizează teoria cuantică a radiației sub forma așa numitei *teorii multitemporale*.

Teoria cuantică a câmpurilor a studiat problemele frânării particulelor în câmp coulombian - **C. Möller** și **H. Bethe** (1932), teoria efectului Compton - **D. Klein** și **Y. Nishina** (1929), teoria radiației de frânare a electronilor - **Bethe** (1934) și **W. Heitler** (1933), teoria producerii de perechi electron-pozitron prin radiații  $\gamma$  - **Heitler** și **F. Sauter** (1933) etc.

Mai putem menționa *teoria cuantică a câmpurilor vectoriale* cu contribuția deosebită a fizicianului român **Alexandru Proca** ale cărui ecuații au servit ulterior la descrierea mezonilor de spin 1.

Aplicarea mecanicii cuantice la *teoria nucleului atomic* are drept începuturi *teoria dezintegrării  $\alpha$*  elaborată de **Gamow** în 1928 și apoi de **Condon** și **Gurney** (1929) pe baza efectului tunel. Aplicând teoretic efectul tunel la calculul pătrunderii în nucleu a particulelor rapide, s-a dovedit că protonii prezintă o eficiență sporită față de particulele  $\alpha$ , ceea ce a intensificat efectul construirii de acceleratoare de protoni.

În 1932, **D.D. Ivanenko** și **W. Heisenberg** emit prima oară ipoteza că nucleeele sunt constituite din *neutroni* și *protoni*. **Heisenberg** elaborează prima teorie a nucleului atomic, considerând în afara forțelor coulombiene și *forțele de schimb nucleare*, care se exercită numai la distanțele foarte mici din nucleu și care asigură stabilitatea nucleelor.

În aceeași epocă (1932-1933), **W. Pauli**, la sugestia lui **E. Fermi**, emite ipoteza existenței unei particule neutre de masă foarte mică - *neutrino*, iar la Congresul de Fizică de la *Solvay* din 1933, arată că un nucleu  $\beta$  radioactiv emite în același timp cu electronul și un neutrino. Pe baza acestei comunicări **E. Fermi** elaborează ulterior (1933-1934) *teoria dezintegrării  $\beta$* , folosind formalismul teoriei cuantice a câmpului. În acest context putem cita și *teoria câmpului forțelor nucleare*, elaborată de **E. Tamm** și **D. Ivanenko** (1934) în care interacția dintre nucleoni are loc prin emisie virtuală de perechi electroni-neutrino și ulterior prin resorbția lor.

În 1935, fizicianul japonez **Yukawa** emite ipoteza că forțele nucleare sunt transportate de o nouă particulă numită *mezon* de spin întreg, definit ca o cuantă în câmpul nucleului.

Odată cu apariția acceleratorilor liniari de protoni și electroni s-au putut întreprinde cercetări legate de structura nucleonilor.

Astfel **R. Hofstadter** în 1956, studiază structura protonului și neutronului, lucrare laureată cu premiul Nobel în 1956. Cu această ocazie el a pus în evidență existența unui *nor mezon* al nucleonilor și le-a măsurat dimensiunile.

Cercetările de acest tip au fost completate și de fapt precedate de datele obținute din studiul razelor cosmice, sesizate prima oară de fizicianul elvețian **Albert Gorkel** în 1909, care a constatat că la înălțimea de 4 km peste nivelul mării, un electroscoap se descarcă cu viteză mare față de nivelul mării. Experiențele au fost confirmate de **V. Hess**, care în 1912-1913 aduce dovada incontestabilă a razelor cosmice, pentru care e distins cu premiul Nobel în 1927.

**Milikan**, în 1923, înconjurând cu plăci de plumb aparatul de înregistrare, a pus în evidență puterea mare de pătrundere a acestor raze. Ulterior, în 1925 **Milikan** studiind absorbția treptată a radiației cosmice în apă, constată uniformitatea ei la suprafața pământului, precum și dependența intensității de presiunea aerului (*efectul bariometric*) O primă ipoteză asupra naturii lor a fost emisă de **Milikan**, care le considera de natură electromagnetică, asemănătoare razelor  $\gamma$ .

La înregistrarea razelor cosmice s-au folosit camere de ionizare, camere Wilson, contori **Geiger-Müller**, plăci cu strat fotoemulsiv, iar în 1933 **Blackett** și **Occhialini** folosesc un "telescop" de contori combinat cu o cameră Wilson. Cu aceste metode se pune în evidență natura corpusculară a acestor raze - **D. Skobelțîn** (1927), cu ajutorul unei camere Wilson plasată în câmp magnetic.

În 1932, **C. Anderson**, utilizând câmpuri magnetice mult mai puternice le determină natura particulelor din care sunt alcătuite, precum și energia lor de de  $3-15 \cdot 10^9$  eV, de mii de ori mai mare ca a particulelor emise de substanțe radioactive.

În 1933, **Rossi** constată în razele cosmice două feluri de componente: *dure*, care penetrează substanțele, proporțional cu densitatea electronică a substanțelor (**Street** și **Stevenson**, 1935) și *moi*. În 1939 **Auger** descoperă în atmosferă jerbe atmosferice largi, care ulterior, în straturile superioare apar în formă de cascadă.

În aceste jerbe, în 1932, **Carl D. Anderson** constată în componenta moale a radiației, cu ajutorul camerelor Wilson traiectorii de electroni rapizi și pozitroni. Aceasta a fost prima constatare experimentală a existenței pozitronului, confirmată tot în razele cosmice, în 1933, cu ajutorul unei camere Wilson comandată de contoare Geiger, de **Blanchett**

și **Occhialini** care au sugerat că la ciocnirea unui nucleu cu un foton de energie mai mare ca 1 MeV are loc formarea de perechi electron-positron. Această descoperire importantă a arătat pentru prima oară *posibilitatea transformării reciproce dintre forma corpusculară a materiei (electroni, pozitroni) și forma ondulatorie (fotoni)*, în conformitate cu teoria lacunelor elaborată de **P. Dirac**. Descoperirea a fost strălucit confirmată ulterior de **Anderson** și **Nedermeer** în SUA, soții **Joliot-Curie** și **Y. Thibaud** în Franța, **A. Alihanov** și **A. Alihanian** în URSS, iar teoria formării jerbelor în casacadă a fost elaborată ca atare în 1937 de fizicianul indian **Bhabha**, de englezul **Heitler**, de americanii **Carlson**, **Oppenheimer** și justificată teoretic de **Landau**, **Rummer**, **Tamm** și **Belenki**.

În componenta dură a razelor cosmice **Neddermeyer** și **Anderson** descoperă cu camera Wilson noi particule pozitive și negative cu masă intermediară între electron și proton, pe care le-au numit *mezoni*, confirmând astfel ipoteza fizicianului japonez **H. Yukawa** (1935) în ceea ce privește existența unor particule încărcate, de circa 207 ori mai grele ca electronul, care ar putea confirma existența forțelor internucleare.

Ulterior, în razele cosmice dure s-au descoperit *muoni* (sau *mezoni*  $\mu$ ), *pioni* (sau *mezoni*  $\pi$ ), ceva mai grei (273 mase electronice) - particule instabile conform măsurătorilor lui **Williams** și **Roberts** (1940), **Rasetti** (1941). Acești mezoni se formează din razele cosmice la circa 16 km altitudine din ciocnirea protonilor din radiația primară cu atmosfera - **Johnson** (1938).

Descoperirea mezonilor în razele cosmice și importanța pionilor în explicarea forțelor internucleare a condus efortul fizicienilor în

realizarea de reacții nucleare provocate de particule de foarte mare energie în *betatroane*, *sincrociclotroane*, *bevatroane* (**Brookhaven**, **Berkley**), *sincrofazotroane de protoni* (*Dubna*, *Cern*) și în *acceleratoare liniare de protoni și electroni* - bazate pe principiul undei progresive. Cu acestea din urmă **R. Hofstädter** studiază structura nucleonilor (1956).

Simultan, din cercetările în radiația cosmică apar primele particule supragrele - *hiperonul neutru*  $\Lambda_0$  cu masa de 2180 mase electronice - **Rochester și Butler** (1947), *mezonii grei sau kaonii* (1949) cu mase de 1000 mase electronice, *hiperonii*  $\Sigma$  și  $\Xi$  (1953) cu mase de 2300 mase electronice, particule instabile ( $10^{-10}$  sec) - așa-numite *particule stranii* care interacționează puternic cu nucleele atomice avînd la dezintegrare o comportare de interacție slabă, analogă dezintegrării  $\beta$ . Ulterior, în marile acceleratoare s-a dovedit - **Pais** (1952) că generarea unui hiperon este însoțită întotdeauna de un kaon.

Cu aceleași acceleratoare se descoperă în 1955 *antiprotonul* de către **Segre** și al., în 1956 - *antineutronul* de **Picioni** și al., precum și antiparticulele kaonilor și hiperonilor.

Fizica nucleară din această epocă cunoaște un avânt deosebit începînd cu punerea în funcțiune în 1942 a primului reactor nuclear de către **E. Fermi** la Chicago - ceea ce a permis repetarea reacțiilor nucleare de captură clasice (**Fermi**, **Pontecorvo** ș.a.) cu fluxuri mult mai puternice de neutroni și producînd cantități apreciabile de radionuclizi moi.

Se realizează acum progrese importante în *fizica neutronilor* cu crearea unui capitol nou - *optica neutronilor* (**Hughes**, **Goldberger**, **Bacon**, **Burgy** ș.a.) se dezvoltă *spectroscopia nucleară magnetică de particule încărcate* (1947-1959) prin lucrările lui **K. Siegbahn**, **T. Gerholm**, **J. Slătis**, **V.M. Kelman**, **G. Ewan**, (școala de la Upsala -

Suedia), *spectroscopia de scintilație* (**Kalman, Hofstädter, Birks** ș.a.), *deteția cu semiconductori cu rezoluție sporită* (**McKay, Lark-Horovitz** ș.a.).

În 1949, **M. Goepert-Mayer** și **Hans Jensen**, elaborează *modelul păturilor nucleare* - premiul Nobel 1964, completat ulterior cu *modelul nucleelor deformate* - **A. Bohr** (fiul lui Niels Bohr), **B. Mottelson, S.G. Nilson**.

În 1958, **R.L. Mössbauer** (premiul Nobel 1963), descoperă efectul care îi poartă numele - absorbția de rezonanță de către nucleu a radiației gama, fără pierdere de energie prin recul - ceea ce a permis realizarea unei tehnici spectroscopice cu putere de rezoluție neatinsă până atunci - cu numeroase aplicații în fizică, chimie și biologie. Cu acest efect **Pound și Rebka** (1960) măsoară deplasarea gravitațională a frecvenței unui foton, iar **Pound și Frauenfeldar** pun în evidență *efectul Zeeman nuclear* - tehnică actuală în fizica corpului solid și chimia cuantică.

Mai putem menționa și progresele în *sintetizarea elementelor transuraniene* - grupul lui **Seaborg** a obținut încă din timpul războiului *neptuniul* și *plutoniul*, urmate ulterior de *americium*, *berkelium*, *californium*, *einsteinium*, *fermiul*, *mendeleevium*, *nobelium*, *laurencium* etc.



## Capitolul VI

### FIZICA CORPULUI SOLID ȘI SEMICONDUCTORII

Primele preocupări ale fizicii corpului solid apar din observațiile făcute încă din antichitate asupra mineralelor și pietrelor prețioase din natură care prezentau forme regulate și culori remarcabile.

Idei legate de structura elementelor de simetrie ale stării cristaline le găsim încă din 1611 într-o lucrare a lui **Johannes Kepler**, care a ajuns la concluzia că zăpada are o structură hexagonală și că aceasta ar fi constituită din sfere strâns împachetate.

În 1669, **Niels Stensen** (1638-1686), din cercetarea cristalului de stîncă (cuart), a tras concluzia că între fețele solidelor naturale apar întotdeauna aceleași unghiuri indiferent de forma lor concretă. În același an **Erasmus Bartholinus** (1625-1698) observă la spatul de Islanda dubla refracție a luminii, pe care în 1678 **Huygens** o explică cu ajutorul teoriei ondulatorii.

În 1688, **Domenico Guglielmini**, (1655-1708) extinde legea construcției unghiurilor asupra cristalelor unor săruri. În 1690, în cartea sa "Traité de la lumière", Huygens concepe pentru spatul de Islanda o structură de rețea spațială compusă din mici particule elipsoidale.

În 1772, **Jean-Baptiste Rome d'Isle** (1736-1790) extinde legea construcției unghiurilor dintre fețele cristaline remarcînd că mărimea fețelor cristaline depinde de condițiile apărute întâmplător în cursul creșterii cristalului.

În 1773, **Tobern Bergman** (1735-1784) și în 1782, **René-Just Haüy** (1743-1822) concep structura cristalină sub forma de zidărie compusă din mici cărămizi paralelipedice care prezintă o triplă peridiocitate.

Lucrările de referință ale lui **Christian Samuel Weiss** (1780-1856), **Franz Ernst Neumann** (1798-1895), **Friederich Mohs** (1773-1839), **Karl Friederich Naumann** (1797-1873) și ale lui **William Hallows Miller** (1801-1880) au condus la caracterizarea fiecărei fețe cristaline prin tripleți de indici legați de cunoașterea axelor cristalului.

În 1830, **J.F.C. Hessel** (1796-1872) pe baza unor demonstrații geometrice, arată că există maximum 32 de clase de cristale. În 1867 **A. Galolin** (1828-1892) ajunge independent la aceeași sistematizare, ceea ce pune bazele cristalografiei geometrice.

Ulterior s-a descoperit că simetriile cristaline sunt determinante pentru unele proprietăți cum ar fi propagarea luminii sau elasticitatea. Astfel la spatul de Islanda, caracterizat de birefrință se constată numai o singură axă optică. În 1812, **Jean-Baptiste Biot** descoperă primul cristal biax, *mica*, iar în 1813, **David Brewster** (1781-1868) confirmă existența a două axe optice la *topaz* și extinde în 1818 lista cristalelor birefringente al peste 100.

În 1833, **Franz Newmann** crează teoria elastică a luminii prin propagarea prin cristale. În 1824, înainte de apariția teoriei cinetico-moleculare a gazelor, **Ludwig August Seeber** (1793-1855) enunță ideea că distanțele dintre atomi în corpurile solide sunt determinate de forțele care acționează între atomi, ceea ce poate explica elasticitatea și dilatarea termică.

În 1850, **Auguste Bravais** (1811-1863) a dedus cele 14 rețele spațiale care îi poartă numele folosind numai operații de translație, iar ulterior, în 1879, **Leonhardt Sohncke** (1842-1897) aplică în cristalografie elemente din *teoria grupurilor* din algebră.

Dezvoltarea industrială a secolului al XIX-lea, în special în domeniile metalurgiei și electrotehnicii a stimulat studiul proprietăților fizice ale metalelor.

**Lorentz** a fost primul care a încercat în această epocă să explice proprietățile metalelor elaborând o teorie electronică a stării metalice în cadrul fizicii clasice cunoscute până atunci. Această teorie s-a lovit de mari dificultăți în special în explicarea proprietăților lor termice și magnetice, iar acest fapt a pus în evidență faptul că microprocesele din cadrul corpului solid au un caracter principal diferit de cele din fizica clasică.

Specificul cuantic al fenomenelor din corpul solid a fost pus în evidență de **Einstein** (1907) și **Debye** (1911) prin elaborarea unei *teorii a căldurilor specifice*, bazată pe ideea că un cristal se comportă din punct de vedere termic ca un colectiv de  $N$  oscilatori ( $N$  = numărul de particule din cristal) cu energiile cuantificate. Ulterior, în 1912, **W. Friederich** și **P. Knipping**, verificând o presupunere mai veche a lui **Max von Laue**, reușesc să pună în evidență comportarea cristalului ca o rețea de difracție pentru razele X.

În 1913, cei doi frați **Bragg** (**W.H.** și **W.L.**) realizează același lucru pentru cristalele de NaCl, confirmând faptul că la nodurile rețelei geometrice cristaline cu forme regulate se pot afla atomi, ioni sau molecule.

În deceniile care urmează au fost investigate prin aceste metode de difracție mii de specii cristaline anorganice și organice, reușindu-se determinarea centrelor de greutate ale atomilor ca și distribuțiile spațiale ale sarcinilor electronice chiar și pentru configurațiile foarte complicate ale silicaților de către **C. Menzer (1925)** - pe cristalele de granat.

Ulterior, pentru investigarea structurilor cristaline se folosesc fluxuri de electroni (**C. J. Davisson, L.H. Germer și G.P. Thomson, 1927**), fluxuri de atomi de heliu și hidrogen la energii de sutimi de eV (**O. Stern, 1929** și **Th.M. Johnson, 1931**), neutroni proveniți de la ținte bombardate din ciclotroni (**D.P. Mitchele și P.N. Powers, 1936**) sau din reactoare de uraniu (**E. Fermi și L.Marshall, 1947**).

Se elaborează *teoria dinamică a difracției razelor X* pe rețele cristaline - **C.G. Darwin (1914)** și **P.P. Ewald (1917)** și ulterior definitivată de **Max von Laue (1931)**. **P. Debye (1914)** pune în evidență teoretic influența agitației termice asupra maximelor de interferență, lucru confirmat prin numeroase măsurători de **W.L. Bragg** și colaboratorii în perioada 1926-1933.

Se dezvoltă și cercetarea teoretică a proprietăților fizice ale cristalelor ionice - **E. Madelung, 1909**, cu contribuții experimentale aduse de **P.P. Ewald, M. Born, J.E. Mayer, V.M. Goldsmith, L. Pauling**.

Proprietățile termice ale rețelei sunt studiate teoretic de **M. Born (1912)** și **von Karman (1913)** și mai târziu de **M. Blockman (1933-1937)**.

Apariția mecanicii cuantice nerelativiste a permis aplicarea statisticii cuantice Fermi-Dirac electronilor de conducție din metale,

permițându-i lui **Pauli** (1927) să calculeze *susceptibilitatea paramagnetică de spin a unui gaz electronic degenerat* (cazul metalelor) și să arate că, în primă aproximație, această mărime este independentă de temperatură. Cu același model s-a justificat căldura specifică a metalelor în domeniul temperaturilor joase.

**A. Sommerfeld** elaborează *teoria fenomenelor de transport în metale* în cazul gazului electronic degenerat, ceea ce permite justificarea legilor experimentale ale *emisiei termoionice* și *emisiei Schottky*.

Calculul stărilor staționare ale electronilor în cristale se face în *aproximația teoretică Born-Oppenheimer*, (1927), în care se tratează separat mișcările nucleelor de cele ale electronilor. Ulterior apare *aproximația monoelectronică* în limitele *modelului câmpului selfconsistent* al lui **D.R. Hartree** (1928) și **V. Fock** (1930). Câmpul selfconsistent al cristalului, periodic în raport cu vectorii translaționali ai rețelei cristaline, conduce, prin rezolvarea *ecuației Schrödinger*, la punerea în evidență a spectrului energetic din corpul solid, compus din benzi energetice permise, separate de intervale de benzi interzise - *modelul zonelor* - indicat calitativ de **M.J.O. Strutt** (1927) și dezvoltat ulterior de **L. Brillouin** (1930), **P.M. Morse** (1930) și **R. Peierls** (1930), prin legarea sa de apariția intervalelor interzise cu condiția de reflexie selectivă Bragg pentru undele electronice asociate electronilor din cristal.

În 1928, **F. Bloch** demonstrează că funcția de undă a electronului în cristal este la fel ca cea a electronului liber, dar amplitudinea undei este modulată cu amplitudinea rețelei cristaline. F. Bloch a folosit *aproximația electronilor strâns legați*, exprimând pentru funcția de undă monoelectronică o combinație liniară de funcții de undă atomice, aceasta în contrast cu modelul lui **Brillouin**, al *electronilor aproape liberi*.

În 1931, **A.H. Wilson** explică prin *modelul zonelor* principalele proprietăți electrice, magnetice, optice, termice etc. din corpul solid. Tot prin acest model s-a putut explica semnul pozitiv al constantei Hall la unele metale și aliaje, ceea ce indica existența unor purtători de curent cu sarcină pozitivă. Acest lucru a fost făcut de **W. Heisenberg (1931)** care a introdus noțiunea de *gol pozitiv* - ulterior folosită în fizica semiconductorilor.

Modelul zonelor a impus noi metode de calcul în Fizica Solidului, cum ar fi *metoda celulară* - **E. Wigner și F. Seitz, 1933-1934**, **W. Shockley, 1937**, **J.C. Slater, 1934**, **G. Wannier, 1938** și *metoda undelor plane ortogonalizate* (**C. Herring, 1940**).

Pentru calculul structurilor electronice ale metalelor și aliajelor au adus contribuții **F. Seitz (1933)**, **J. Bardeen (1936)**, **E. Wigner (1934)**, **J.C. Slater (1934)**, **H.M. Krutter (1935)**, **N.F. Mott și H. Jones (1934-1936)**, **L. Pauling (1938)**, pentru halogenurile alcaline, **W. Shockley (1936)**, **D.H. Eving și F. Seitz (1936)**, **R.W. Pohl (1938)**, pentru cristalele covalente **L. Pauling (1931)** și **J.L. Slater (1931)**, iar pentru semiconductori **W. Schottky (1930)**, **G. Wagner (1930-1933)**, **A.H. Wilson (1931)**, **R.H. Fowler (1933)**.

Unele proprietăți optice ale cristalelor au fost explicate prin existența defectelor în rețeaua cristalină: **I.I. Frenkel (1926)**, **I.H. De Boer (1937)**, **N.F. Mott și R.W. Gurney (1938)**.

Teoria conductibilității electrice a cristalelor a fost demarată de **W.V. Houston (1928-1929)**, pe baza modelului zonelor, prin ideea că într-o rețea cristalină perfectă drumul liber mijlociu al electronilor ar trebui să fie infinit. Prin luarea în considerație a împrăștierei electronilor

pe oscilațiile și/sau defectele rețelei cristaline s-au elaborat modele fizice mai realiste: **F. Bloch** (1928-1930) - *modelul ionilor deformabili*, **L. Nordheim** (1931) - *modelul ionilor nedeformabili*, **J. Bardeen** (1937), **R. Peierls** (1934), obținându-se pentru multe metale remarcabile concordanțe cu datele experimentale.

Mecanica cuantică a adus un însemnat aport și în interpretarea proprietăților magnetice ale corpului solid. Astfel **I.I. Frenkel** (1928) face legătura între energia de schimb și ordonarea feromagnetică, iar **W. Heisenberg** (1928), pe baza *modelului Heitler-London* pentru molecula de hidrogen, calculează spectrul energetic al unui cristal feromagnetic, interpretând ordonarea feromagnetică ca pe un efect cuantic de corelare a energiei sistemului de electroni cu valoarea momentului total de spin al electronilor prin interacțiunea de schimb, fundamentând cuantic *modelul câmpului molecular* al lui **P. Weiss**.

**Weiss** face și o a doua ipoteză în ceea ce privește existența *domeniilor de magnetizare spontană* a substanțelor feromagnetice, ipoteză confirmată experimental prin *salturile Barkhausen* și pusă în evidență pe microscopul metalografic prin tehnica elaborată de **Bitter** (1933).

**L.D. Landau** și **E.M. Lifschitz** (1935) pun bazele teoretice ale *structurii de domenii* în cristalele feromagnetice, luând în considerare și comportarea acestora în regim dinamic.

La temperaturi joase **Bloch** tratează feromagnetismul elaborând *teoria undelor de spin* (1930) - teorie aplicată ulterior în studiul ~~altor~~ forme de magnetism ordonat: *feri* și *antiferomagnetismul*. Această teorie introduce, la fel ca asocierea cvasiparticulelor - *fononi*, asociate

vibrațiilor rețelei cristaline, alte cvasiparticule specifice asociate undelor de spin numite *feromagnoni*.

Utilizând cuantificarea mișcării electronului în câmp magnetic, **L.D. Landau** explică *diamagnetismul orbital al electronilor de conducție* din corpul solid, suprapus *paramagnetismului de spin*, ambele independente de temperatură. **R. Peierls** extinde în 1930 aceasta teorie și în cazul electronilor strâns legați. **W.J. de Haas** și **P.M. Van Alphen** descoperă în 1931, la temperaturi joase, că susceptibilitatea diamagnetică are o variație periodică cu câmpul magnetic aplicat – fenomen explicat tot cu diamagnetismul orbital al electronilor din cristale.

**J.H. Van Vleck**, **Akulov** și **Döring** au importante teorii în domeniul anizotropiei magnetice, iar **Kersten**, **Preisach**, **J.F. Brown** și **E.I. Kondorski** se ocupă de teoriile proceselor de magnetizare, lucrări care se reflectă în elaborarea tehnologiei materialelor magnetice.

**H. Bethe** (1929-1930), **H.A. Kramers** – 1929, **W.G. Penney** și **R. Schlopp** – 1932 pun bazele teoriei câmpului cristalin și explică astfel *paramagnetismul cristalelor ionice*. **J.H. Van Vleck**, în 1931, elaborează *teoria cuantică a susceptibilității paramagnetice*.

În această epocă se dezvoltă tehnicile de obținere a temperaturilor foarte joase prin demagnetizare adiabatică și se dezvoltă cercetări în domeniul spectroscopiei cristaline.

În 1911, **Kammerling-Onnes** descoperă că sub 4,2°K rezistivitatea mercurului se anulează, iar peste patru ani pune în evidență faptul că acest fenomen numit *supraconductivitate* este influențat de un câmp magnetic exterior care determină tranziția de la un conductor normal la unul supraconductor. Ulterior proprietăți supraconductoare sunt



descoperite la multe alte metale susceptibile de a fi folosite astfel în dispozitive de comutație de curent.

Contribuții la explicarea teoretică a supraconductivității sunt aduse de **W. Meissner** și **R. Ochsenfeld** în 1933, care arată că supraconductorii au o comportare puternic diamagnetică atunci când rezistența lor electrică scade dramatic și că atunci în interiorul lor inducția se anulează.

În 1935, **F.** și **H. London** elaborează *teoria clasică a supraconductivității*, cu care ocazie aduc în legea lui Ohm un factor de corecție care ține seama de efectul Meissner. În plus, **W.H. Keesom** și colaboratorii au arătat în 1932, că la supraconductorii aflați la temperatura de tranziție, căldura specifică prezintă o discontinuitate similară unei transformări de fază de ordinul doi. Aceasta a permis stabilirea legăturii între căldura specifică electronică și câmpul critic și elaborarea în 1933 de către **W.H. Keesom**, **A.J. Rutgers** și **C.J. Gorter** a *teoriei termodinamice a tranziției*, iar în 1937, **L.D. Landau** a preconizat în supraconductoare existența unor structuri intermediare în care zonele de conductor normal alternează cu zonele supraconductoare – fenomen confirmat experimental ulterior de **A.G. Meșkovski** și **A.I. Salnicov** (1947).

După cel de-al doilea război mondial fizica corpului solid devine una din principalele ramuri ale fizicii moderne. În 1949, **W. Schockley** descoperă *efectul de tranzistor* în structuri de tip **p-n-p**, iar **J. Bardeen** și **W.N. Brattain** (1949) inventează *tranzistorul* denumit inițial – trioda cu cristal. Aceste lucrări au fost recompensate cu premiul Nobel pentru Fizică și au fost punctul de plecare al unei noi ramuri a electronicii – bazată pe dezvoltarea elementelor active de circuit semiconductoare.

Acum se dezvoltă rapid metodele de obținere a materialelor semiconductoare cu puritate înaltă și cu structură cristalină cât mai perfectă, metodele de impurificare controlată și obținerea de noi compuși în laborator cu proprietăți semiconductoare. Aceasta contribuie la progresul *fizicii semiconductorilor* – ramură desprinsă din fizica solidului și la aplicarea ei în dispozitivele electronice miniaturizate din electronică și automatizări.

În fizica semiconductorilor se remarcă lucrările lui **Sgockley, Kohn, Luttinger, Bardeen, Duesselhans, A.F. Joffe, Kittel-Néel, Esaki** ș.a.

Un rol important joacă și cercetările în direcția noilor materiale magnetice oxidice – *feritele* și aplicarea lor în domeniul frecvențelor înalte, în automatică și în tehnica de calcul. În domeniul frecvențelor înalte utilitatea lor a fost prima oară remarcată de **J.L. Suck** încă din 1938. Ele au fost de asemeni folosite în anii războiului în tehnica microundelor (radar).

În a doua jumătate a deceniului al cincilea se dezvoltă noi teorii în formele de magnetism ordonat: feromagnetismul, antiferomagnetismul, ferimagnetismul, cu contribuții esențiale din partea lui **L. Néel, G. Van Vleck, Ch. Kittel, J.B. Goodenough, H.A. Kramers, P. Andersen**.

Aceste fenomene de magnetism ordonat au fost investigate experimental prin *difracția magnetică cu neutroni* de către **O. Holstein, T. Halpern, S. Suhl, E. Wellan, E. F. Bertant, R. Nathans, S.Y. Pickart**, care au pus în evidență “rețelele” ionilor paramagnetici în cristale. Numărul de subrețele magnetice a fost investigat prin *efect*

Mössbauer cu care ocazie s-a determinat intensitatea câmpului intern în regiunea nucleului ionului de Fe.

S-au descoperit mai multe forme de rezonanță magnetică și anume:

- rezonanța feromagnetică – pusă în evidență de **J.N. Griffiths** în 1946 – pe metale și aliaje feromagnetice și pe compuși oxidici ferimagnetici și justificată teoretic de **Ch. Kittel** (1947) și **G. Van Vleck** (1950).

- rezonanța paramagnetică – obținută prima oară de **Zavoiski** (1945) și aplicată în studiul nivelelor Zeeman ale ionilor paramagnetici din cristale, ceea ce a condus la descoperirea principiului de funcționare al MASER-ului cu două nivele de către **Townes**, dispozitiv realizat apoi experimental în 1954 de către **Gordon, Zeiger, Townes** și **Bloembergen** și ulterior de **Basov** și **Prohorov** (1958) sub forma MASER-ului cu trei nivele.

Structura energetică zonală a corpului solid a fost studiată prin rezonanța ciclotronică într-o gamă de frecvențe care a fost extinsă treptat de la undele centimetrice la infraroșu – **G. Dresselhans, A.F.Kip, Ch. Kittel, B. Lax** în 1953. În anul 1956, **Azbel** și **Kaner** prevăd un nou tip de rezonanță ciclotronică la metale – cunoscut sub numele de *efectul Azkel-Kaner*, pus în evidență la bismut și staniu de **Kip** și **Aubrey** în 1957.

Structura energetică a corpului solid a fost investigată și prin *efectul de Haas-Van Alphen*, descoperindu-se aspecte noi ca *deplasarea magnetică a limitei benzii de absorbție în cristalele semiconductoare* (**Burstein** și **Picus**, 1956) și *absorbția magnetică oscilatorie* (**Zwerdling, Lax, Gress**, 1956).

Un mare succes al fizicii solidului îl constituie realizarea *laserului cu joncțiune semiconductoare* – **R.N. Hall, G.E. Fenner, J.D. Kingsley** și colaboratorii pe joncțiuni de GaAs. În 1968, **J.I. Aferov** și colaboratorii au construit un *laser cu heterostructuri* – constituit din semiconductori diferiți și funcționând la temperatura camerei. Ulterior s-au realizat mai multe tipuri de laseri cu semiconductori, cum ar fi laseri cu InP (**K. Weiser** și **R.S. Levitt** – 1963), InAs (**I. Melnlailis, R. Reidiker** – 1963), la temperatura de 77°K, laserii cu GaPAs (**J. Holonyak** – 1963 – la 77°K), GaInAs (**I. Melngailis, A.S. Strauss** – 1963 – la 1,9°K) și laseri cu variație continuă a frecvenței de radiație – cum ar fi sistemul InAs-InP (**F.B. Alexander** – 1964).

Mai târziu s-au realizat laseri cu semiconductori cu mecanisme de pompare bazate pe electroni rapizi, cum ar fi: *laserul cu CdS* (**N. Basov** și colaboratorii – 1964), *laserul cu GaSe* (**N. Basov** și colaboratorii – 1965), *laserul cu GaAs* (**D.A. Gusano, J.D. Kingsley** – 1965) și *laseri pompați optic* cu radiația de la alte lasere: laserul cu InSb pompat optic cu radiația unui laser GaAs (**Jr. Phelan** și colaboratorii – 1965) și laserul cu GaAs pompat optic de la un laser cu rubin (**N. Basov** și colaboratorii – 1965).

Tehnologiile de obținere a tranzistoarelor **p-n-p** apărute în anii '50, se bazau inițial pe alierea pe suport de germaniu, dar începând cu anul 1958 apare tehnologia de difuzie în siliciu, care a condus la apariția *tranzistoarelor planare epitaxiale n-p-n*, mult mai performante, cu frecvențe limită superioare și puteri mult mai mari. Aceste procese sunt legate de procedeele de creștere a monocristalelor de siliciu orientate după anumite plane cristaline - de regulă planul (111) cu ajutorul razelor X și

impurificate riguros controlat cu impurități de tip **n** sau **p**. Procedeele au fost inventate în 1959 de **Hoerni** și stă la baza actualelor tipuri de dispozitive semiconductoare și a circuitelor integrate.

Intrucât tranzistorii clasici prezentau o frecvență limitată superior de capacitățile joncțiunilor, s-au realizat așa numiții *tranzistori drift* de către **H.Kroemer** în 1953, prin crearea unui câmp electric suplimentar în porțiunea din baza tranzistorului cu ajutorul unui gradient descrescător de impurități care accelerează trecerea purtătorilor minoritari.

În această perioadă încep să apară și dispozitivele semiconductoare speciale, cum ar fi:

- *tranzistorul unijoncțiune (TUI)* numit și *diodă cu două baze*, construit de **J.B.Gunn** în 1953, care prezintă caracteristici cu pantă negativă și poate fi folosit astfel ca generator de oscilații. În 1967 apare un tip nou de TUI cu patru straturi, mult mai performant.

- *tiristorul* - este un dispozitiv semiconductor conceput pentru comutația de curent, compus din patru straturi **p-n-p-n** și care are trei borne. Acest dispozitiv a fost realizat de **Moll** și **Tanenbaum** în 1956 și în varianta mai simplificată cu două borne care se numește *diodă Shockley* sau *dinistor*. S-au mai produs și variante având de la patru la șapte regiuni **n** și **p** succesive, numite respectiv *diac* sau *triac* și utilizate în electrotehnică la comanda curenților alternativi.

- *tranzistorul cu efect de câmp* - un dispozitiv activ cu purtători majoritari bazat pe efectul de câmp, inventat de **Schockley** în 1952 și utilizat extensiv în circuitele actuale în comenzi și telecomunicații. În 1963, **K.P.Weimer** obține experimental acest tip de tranzistor utilizând inițial straturi subțiri de **SiO<sub>2</sub>**, **SiO**, **CaFe<sub>2</sub>**, **TiO<sub>2</sub>**, **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**, etc. Ulterior, alți

cercetători obțin același tip de dispozitiv, utilizând și alte straturi subțiri semiconductoare ca **Te**, **CdSe**, **InSb**, **ZnTe**, **HgSe**, **PbTe**, etc.

- *diodele tunel* - bazate pe *efectul Gunn* (1963), obținute la început pe **GaAs** și ulterior și pe alți semiconductori cum ar fi: **InP**, **InSb**, **GaSb**, **GaAs<sub>1-x</sub>**, și folosite ca generatori de microunde.

Perfecționarea tehnologiilor a condus la apariția circuitelor integrate monolitice care au căpătat o răspândire aproape exclusivă în tehnica modernă prin crearea pe aceeași plăcuță cristalină de circuite complexe active și pasive care îndeplinesc funcții electronice complexe. În aceste dispozitive se folosesc atât tehnici clasice - difuzie, epitaxie, cât și tehnici speciale - tehnici MOS, implantare ionică, etc. În aceste circuite se regăsesc atât elemente active clasice - tranzistoare cu joncțiuni, tranzistoare drift, tiristori, cât și structuri MOS (metal-oxid-semiconductor) cu efect de câmp. Prin procedee adecvate schemele înglobează și elemente pasive capacitivi, rezistori, inductanțe.

Pentru necesitățile din dispozitivele calculatoarelor au fost realizate circuitele integrate TTL (transistor-transistor-logic), iar tehnologiile de tip MOS au condus la apariția explozivă a circuitelor LSI (large scale integrated) sau VLSI (very large scale integrated).

Un salt calitativ remarcabil este realizat de apariția *microprocesoarelor* - circuite actuale care înglobează într-un singur chip electronic blocurile de bază dintr-un calculator cum ar fi: magistralele de date, registrele, sistemele de memorie (de tip ROM, EPROM sau RAM). Aceste microprocesoare evoluează rapid și au dus la apariția calculatoarelor extrem de performante actuale.

---

Perfecționarea acestor tehnici a evoluat și în direcția *circuitelor integrate liniare*, inițial prin *amplificatoare diferențiale*, iar ulterior prin *scheme de amplificatoare operaționale integrate*.

## **BIBLIOGRAFIE**

- [1] **J.D.Bernal** - *Știința în istoria societății* - București, Ed.Politică, 1964;
- [2] **F.Cajori**.- *A Hystory of Physics*-New-York, Mac Millan, 1929;
- [3] **Max von Laue**.- *Istoria Fizicii*- București, Ed. Științifică, 1963;
- [4] **Valeriu Novacu**.- *Istoria Fizicii*- Ed. Didactică și Pedagogică, 1966;
- [5] **George G. Moisil**.- *Cascada modelelor în Fizică*, Ed.Albatros, București, 1985;
- [6] **A.Migdal** - *De la îndoială la certitudine*, Ed.Politică, București, 1989;
- [7] **Vl. Lvov** - *Albert Einstein*, Ed. Științifică, București, 1960;
- [8] **Max Born** - *Fizica în concepția generației mele*, Ed.Științifică, 1960;
- [9] **George Thomson** - *Inspirație și descoperire*, Ed.Enciclopedică Română, 1973;
- [10] **M. E .Omeleanovski** - *Dialectica în Fizica Modernă*, Ed.Politică, 1982;
- [11] **Octav Onicescu** - *Invățați ai lumii*, Ed.Albatros, București, 1975;

**Tehnoredactare computerizată: Onicescu C.I. Cristian**







---

---

**Tiparul s-a executat sub cda 751/2000  
la Tipografia Editurii Universității din București**

---

---



ISBN 973-575-496-7

Lei 23300

<https://biblioteca-digitala.ro> / <https://unibuc.ro>