

O CERCETARE DE INTERES INTERNAȚIONAL

Dr. hab., prof. univ. **Florentin PALADI**

E-mail: fpaladi@usm.md

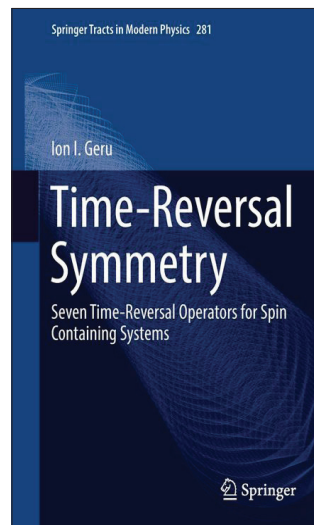
Universitatea de Stat din Moldova

Monografia *Time-reversal Symmetry – Seven Time-Reversal Operators in Spin Containing Systems*, apărută în anul 2018 la Editura „Springer”, Secția Springer Tracts in Modern Physics, Vol. 281, și semnată de Ion I. Geru, membru corespondent al Academiei de Științe a Moldovei, doctor habilitat în științe fizico-matematice, profesor universitar, este dedicată uneia dintre cele mai importante simetrii în fizică. Autorul prezintă rezultatele cercetărilor pe plan mondial în domeniul simetriei inversării timpului în fizica newtoniană și relativistă (Capitolul 1), în mecanica cuantică și teoria câmpurilor cuantificate (Capitolul 2). De asemenea, sunt puse în evidență cazurile de violare a acestei simetrii în fizica mezonilor, nucleelor atomice, atomilor, moleculelor, supraconductorilor ș.a. (Capitolul 10. *Violarea simetriei inversării timpului*).

În dinamica și electrodinamica clasică ecuațiile de mișcare nu-și schimbă forma (rămân *invariante*) la inversarea timpului, se schimbă numai direcția mișcării, fiind vorba de reversibilitatea dinamică a timpului. Pe de altă parte, se atestă ireversibilitatea statistică a timpului, cauzată de creșterea entropiei unui sistem termodinamic în procesele ireversibile.

Cu totul alta este situația în fizica cuantică. În cazul acesteia, hamiltonianul sistemului cuantic este invariant în raport cu așa-numitul operator de inversare a timpului T cu proprietăți antiunitare și, ca urmare, se poate produce o degenerare suplimentară a nivelurilor energetice cauzată de simetria inversării timpului. E. Wigner, care în anul 1932 a introdus operatorul inversării timpului în mecanica cuantică, a stabilit când are sau nu are loc degenerarea suplimentară a nivelurilor energetice sub influența simetriei inversării timpului în sisteme moleculare (criteriile lui Wigner a, b și c). Peste cinci ani, aceste criterii au fost generalizate de către K. Herring pentru sisteme periodice cu simetrie de translație în spațiu (criteriile a, b și c ale lui Herring).

Monografia conține și un șir de rezultate noi obținute de către autor privind rolul simetriei inversării timpului. În Capitolul 3, *Grupuri punctiforme de simetrie magnetică*, au fost construite în premieră grupuri punctiforme noi de simetrie magnetică în patru culori care se referă la sistemele cu degenerare Kra-



Ion I. GERU: *Time-reversal Symmetry – Seven Time-Reversal Operators in Spin Containing Systems*. Springer Tracts in Modern Physics. Vol. 281, 2018. 362 p.

mers a nivelurilor energetice. Datorită proprietăților de simetrie ale acestor grupuri, în clusteri magnetici trihomonucleari trei ioni paramagnetici echivalenți cu spin semiîntreg nu pot ocupa vârfurile unui triunghi echilateral. Deoarece grupurile punctiforme de simetrie magnetică în patru culori au fost obținute prin extinderea a 32 de grupuri clasice punctiforme de simetrie cu implicarea operatorului de inversare a timpului T , distorsiunile structurale respective sunt o consecință a simetriei inversării timpului. Monografia oferă date experimentale care confirmă această concluzie (Capitolul 4. *Clusteri trimerici cu degenerare Kramers și simetria inversării timpului*).

În Capitolul 5, *Simetria inversării timpului în sisteme cu spectrul de cvasi-energie*, pentru prima dată s-a demonstrat teoretic existența unui tip nou de degenerare a nivelurilor de cvasi-energie în cazurile în care operatorul de inversare a timpului nu comută cu operatorul de translație în timp, însă fiecare dintre acești doi operatori comută separat cu operatorul cvasi-energiei. Operatorul de inversare a timpului nu comută cu operatorul de translație în timp atunci când raportul dintre cvasi-energie și energia cuantei de radiație a câmpului monocromatic cu amplitudine

înalță nu este un număr întreg sau semiîntreg. În aceste condiții nivelurile de cvasi-energie sunt degenerate (dublete de cvasi-energie), chiar dacă teorema Kramers nu are loc. În cazul dat, degenerarea nivelurilor de cvasi-energie se datorează parțial simetriei inversării timpului și parțial simetriei translării în timp.

În Capitolul 6, *Transformarea interacțiunii de schimb de tip antiferomagnetic în interacțiune de schimb de tip feromagnetic în clusteri dimerici*, s-a introdus noțiunea de inversare combinată a timpului. Pe baza acestei noțiuni s-a demonstrat cum poate fi schimbat semnul constantei interacțiunii de schimb în clusteri magnetici binucleari și, respectiv, cum pot fi inversate nivelurile de spin ale acestora. Schimbarea semnului constantei interacțiunii de schimb în clusteri magnetici binucleari este echivalentă cu substituirea unuia dintre ionii clusterului cu „ion inversat în timp”, ceea ce înseamnă că funcțiile de undă ale acestui ion sunt inversate în timp în comparație cu funcțiile de undă ale ionului nesubstituit. Important este că hamiltonianul sistemului este invariant în raport cu transformarea de inversare combinată a timpului. Astfel, în particular, clusterul binuclear $3d^9-3d^9$ cu interacțiune de schimb de tip antiferomagnetic poate fi transformat în cluster $3d^9-3d^1$ cu interacțiune de schimb de tip feromagnetic și viceversa, ceea ce este confirmat experimental. Ca urmare, s-a propus o metodă de sintetizare a compușilor coordinativi binucleari, ale căror proprietăți magnetice pot fi prezise în prealabil.

În Capitolul 7, *Există oare analogie între efectul Jahn-Teller și instabilitatea populațiilor nivelurilor de spin în clusteri cu degenerare Kramers și număr impar de atomi?*, s-a demonstrat teoretic că în cazul clusterilor trihomonucleari formați din ioni cu spin semiîntreg, o asemenea analogie există numai atunci, când simetria inversării timpului este violată în mod specific, astfel încât sub acțiunea operatorului inversării timpului să-și schimbe semnul numai operatorul proiecției spinului pe axa z a fiecăruia dintre ionii clusterului magnetic.

În Capitolul 8, *Grupuri neabeliane și abeliane de simetrie, care conțin operatori de inversare a timpului*, autorul a construit grupuri neabeliane și abeliane de simetrie (pentru sisteme cu și, respectiv, fără degenerare Kramers a nivelurilor energetice) de ordinul 8 și 16 cu operatorul T în calitate de element al acestor grupuri. S-a demonstrat că există încă șase operatori de inversare a timpului. Sub acțiunea fiecăruia dintre

aceștia nu toți trei operatori ai proiecțiilor spinului își schimbă semnul, ci numai doi sau numai unul (în total șase variante). Acești operatori noi au fost numiți *operatori de inversare parțială a timpului*, operatorul T în contextul dat fiind *operator de inversare totală a timpului*.

În Capitolul 9, *Factorizarea operatorului Wigner de inversare a timpului și reducerea simetriei inversării timpului*, s-a demonstrat că operatorul T poate fi prezentat în formă de produs a doi sau trei operatori de inversare parțială a timpului (în total există cinci forme echivalente de factorizare a operatorului T). În literatura de specialitate se considera că dacă hamiltonianul sistemului cuantic nu este invariant în raport cu operatorul T , atunci are loc violarea T -simetriei cu dispariția acestei simetrii. Însă, după cum s-a demonstrat în capitolul 9, există șase posibilități de reducere a T -simetriei până la una din șase simetrii de inversare parțială a timpului. S-a demonstrat, de asemenea, că în fiecare din șase cazuri de reducere a T -simetriei această simetrie poate fi restabilită dacă se postulează că fiecărei particule cu spin îi corespunde o metaparticulă cu metaspin, după analogie cu restabilirea legii conservării parității prin introducerea antiparticulelor (1957). Concepția de metaparticule și metamaterie a fost lansată de către E. Wigner în anul 1970 ca o variantă de restabilire în principiu a T -simetriei violate. Însă atunci nu erau cunoscuți operatorii de inversare parțială a timpului și nu era clar cum de introdus aceste metaparticule.

Deoarece fiecărei particule cu spin din Univers îi corespund șase tipuri de metaparticule cu metaspin, din punct de vedere teoretic aceasta înseamnă că, pe lângă Univers și Antiunivers, există șase metauniversuri. Această concluzie importantă cu conținut cosmologic urmează să fie confirmată prin date experimentale și, în primul rând, prin descoperirea metaparticulelor.

Un alt rezultat valoros, prezentat în Secția 10.7 a monografiei, este metoda de inversare virtuală a timpului propusă de autor pentru testarea spectroscopică a simetriei inversării timpului în orice domeniu spectral și confirmată experimental prin datele spectroscopiei RES în Laboratorul de Chimie Cuantică, Cataliză și Metode Fizice al Institutului de Chimie.

Lucrarea este accesibilă on-line, pe <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-01210-6> (linkul Editurii „Springer”).