

С. М. Федоткін*

Институт ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: sfedot@kinr.kiev.ua

УСЕРЕДНЕНА ПО ВСІХ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОНАХ ІМОВІРНІСТЬ АНІГІЛЯЦІЇ ПОЗИТРОНІВ, ВИПУЩЕНИХ ПРИ β^+ -РОЗПАДІ

Запропоновано наближений метод для розрахунку ймовірності однофотонної анігіляції випущеного в процесі β^+ -розпаду позитрона з атомним електроном, усередненої по всіх електронах дочірнього атома. Опис електронів проводиться в рамках статистичної моделі Томаса - Фермі. Це наближення дає змогу досить просто обчислювати середні ймовірності різних процесів за участю всіх електронів атома. Повна ймовірність однофотонної анігіляції обчислюється з використанням наближеного аналітичного виразу для густини електронів атома. Отримано непогане узгодження між ймовірностями, обчисленими в запропонованому підході, і оцінками, отриманими у рамках квантової механіки.

Ключові слова: анігіляція, β^+ -розпад, атомна оболонка, К-електрон, наближення Томаса - Фермі.

С. Н. Федоткин*

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

*Ответственный автор: sfedot@kinr.kiev.ua

УСРЕДНЕННАЯ ПО ВСЕМ АТОМНЫМ ЭЛЕКТРОНАМ ВЕРОЯТНОСТЬ АННИГИЛЯЦИИ ПОЗИТРОНОВ, ИСПУЩЕННЫХ ПРИ β^+ -РАСПАДЕ

Предложен приближенный метод для расчета вероятности однофотонной аннигиляции испущенного в процессе β^+ -распада позитрона с атомным электроном, усредненной по всем электронам дочернего атома. Описание электронов проводится в рамках статистической модели Томаса - Ферми. Это приближение позволяет достаточно просто вычислять средние вероятности различных процессов с участием всех электронов атома. Полная вероятность однофотонной аннигиляции вычисляется с использованием приближенного аналитического выражения для плотности атомных электронов. Получено неплохое согласие между вероятностями, вычисленными в предложенном подходе, и оценками, полученными в рамках квантовой механики.

Ключевые слова: β^+ -распад, аннигиляция, атомная оболочка, приближение Томаса - Ферми.

S. N. Fedotkin*

Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: sfedot@kinr.kiev.ua

AVERAGED OVERALL ATOMIC ELECTRONS PROBABILITY OF POSITRONS ANNIHILATION AT β^+ -DECAY

An approximate method for calculating the probability of single-photon annihilation of a positron with an atomic electron at the β^+ -decay averaged over all electrons of the daughter atom is proposed. The electrons are described in the framework of the Thomas - Fermi statistical model. This approximation makes it easy the calculation of the average probabilities of various processes involving all the electrons of the atom. The total probability of single-photon annihilation is calculated using an approximate analytical expression for the atomic electrons' density. A good agreement between the probabilities calculated in the proposed approach and the estimates obtained in the framework of quantum mechanics was obtained.

Keywords: annihilation, β^+ -decay, atomic shell, K-electron, Thomas - Fermi approximation.

REFERENCES

1. W.R. Johnson, D.J. Buss, C.O. Carrol. Single-Quantum Annihilation of Positrons. *Phys. Rev.* 135(5) (1964) A1232.
2. S. Shimizu, T. Mukoyama, Y. Nakayama. Radiationless Annihilation of Positron in Lead. *Phys. Rev.* 173(2) (1968) 405.

3. R. Present, S. Chen. Nuclear Disintegration by Positron-*K* Electron Annihilation. *Phys. Rev.* 85 (1952) 447.
4. T. Mukoyama, S. Shimizu. Nuclear excitation by positron annihilation. *Phys. Rev. C* 5 (1972) 95.
5. I.N. Vishnevskiy et al. Nuclear excitation under the influence of photonless positron annihilation. *Pis'ma ZHETF (JETP Letters)* 30 (1979) 394. (Rus)
6. D.P. Grechukhin, A.A. Soldatov. Excitation of a nucleus upon annihilation of positrons on the K-shell of heavy atoms. *ZHETF (JETP)* 74 (1978) 13. (Rus)
7. G.P. Borozhenets, I.N. Vishnevskiy, V.A. Zheltonozhskiy. Excitation of the nucleus upon annihilation of positrons in the process of β^+ -decay. *Yadernaya Fizika* 43(1) (1986) 14. (Rus)
8. V.M. Kolomiyets, O.G. Puninskiy, S.N. Fedotkin. Excitation of a nucleus upon annihilation of a positron with a K-electron in the process of β^+ -decay. *Izvestiya AN SSSR. Ser. Fizicheskaya* 52(1) (1988) 12. (Rus)
9. P. Morrison, I.I. Schiff. Radiative *K* capture. *Phys. Rev.* 58(1) (1940) 24.
10. R.J. Glauber, P.C. Martin. Radiative Capture of Orbital Electrons. *Phys. Rev.* 104(1) (1956) 158.
11. P.C. Martin, R.J. Glauber. Relativistic Theory of Radiative Orbital Electron Capture. *Phys. Rev.* 109(4) (1958) 1307.
12. S.N. Fedotkin. Atomic ionization at annihilation of positrons emitted at β^+ -decay. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 12(4) (2011) 335. (Rus)
13. S.N. Fedotkin. The effect of the nuclear Coulomb field on atomic ionization at positron-electron annihilation in β^+ -decay. *Eur. Phys. J. Conf. Ser.* 93 (2015) 01046.
14. C.F. Fischer. *The Hartree - Fock Method for Atoms* (N.Y., London: John Wiley & Sons, 1977). 308 p.
15. *Electronic and Atomic Collision*. Ed. by G. Watel, P.G. Burke (North-Holland, Amsterdam, 1978) 747 p.
16. K. Smith, R.J.W. Henry, P.G. Burke. Scattering of Electrons by Atomic Systems with Configurations $2p^q$ and $3p^q$. *Phys. Rev.* 147 (1966) 21.
17. L.H. Thomas. The calculation of atomic fields. *Math. Proc. Camb. Phil. Soc.* 23(5) (1927) 542.
18. E. Fermi. Statistical method to determine some properties of atoms. *Rendiconti Lincei* 6 (1927) 602; E. Fermi. Eine statistische Methode zur Bestimmung einiger Eigenschaften des Atoms und ihre Anwendung auf die Theorie des periodischen Systems der Elemente. *Z. Phys.* 48(1-2) (1928) 73.
19. P. Gombas. *Die Statistische Theorie des Atoms und ihre Anwendungen* (Wien: Springer-Verlag, 1949) 399 p.
20. *Theory of the Inhomogeneous Electron Gas*. Ed. by S. Lundqvist, N.H. March (New York and London, Plenum Press, 1983). 394 p.
21. M. Brack, R.K. Bhaduri. *Semiclassical Physics* (USA, Westview Press, Boulder, 2003) 458 p.
22. S. Seriy. Modern Ab-Initio Calculations on Modified Tomas-Fermi-Dirac Theory. *Open Journal of Modelling and Simulation* 3(3) (2015) 57362.
23. V.Ya. Karpov, G.V. Shpatakovskaya. Inclusion of the Discreteness of the Electronic Spectrum in the Statistical Model of Free Ions. *JETP Letters* 98 (2013) 348.
24. G.V. Shpatakovskaya. Semiclassical model of the structure of matter. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk (Physics-Uspekhi)* 55(5) (2012) 429.
25. T. Tietz. Simple Analytical Eigenfunctions of Electrons in Thomas - Fermi Atoms. *Zs. Naturforsch.* 23a (1968) 191.
26. S.N. Fedotkin. Annihilation of positrons, emitted at β^+ -decay with electrons of the daughter's atom. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 11(3) (2010) 233. (Rus)
27. S.N. Fedotkin. Cross-section of the photoeffect averaged over the atomic electrons. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 17(3) (2016) 226. (Rus)
28. J. Lindhard. Influence of crystal lattice on motion of energetic charged particles. *Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk.* 34(14) (1965) 64 p.
29. O.B. Firsov. The simplified Thomas-Fermi-Dirac equation and approximation of its calculation for an atomic potential. *Rad. Eff.* 61(1-2) (1982) 73.
30. E. Fermi. Le orbite ∞ s degli elementi. *Mem. Accad. d'Italia* 6(1) (1934) 119.
31. *The decay schemes of radionuclides. Energy and radiation intensity*. Part 1 - 2 (Moskva, 1987). (Rus)
32. D.A. Kirzhnits, Yu.Ye. Lozovik, G.V. Shpatakovskaya. Statistical model of a substance. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk* 117(01) (1975) 3. (Rus)