

## **Wymogi do egzaminu kierunkowego z dyscypliny nauki fizyczne dla doktorantów Szkoły Doktorskiej UP**

1. Pomiar w mechanice kwantowej (redukcja wektora stanu). Relacje nieoznaczoności, przykłady oraz ich znaczenie, stany koherentne.
2. Sposoby opisu ewolucji unitarnej w mechanice kwantowej. Obraz Schroedingera, Heisenberga i Diraca – porównanie.
3. Oddziaływanie atomu z falą elektromagnetyczną, rachunek zaburzeń z czasem, złota reguła Fermiego.
4. Obroty. Składanie krętów. Współczynniki Clebscha-Gordana. Nieredukowalne operatory tensorowe. Twierdzenie Wignera-Eckarta, reguły wyboru dla symetrii względem obrotów.
5. Oddziaływanie spin-orbita, sprzężenie L-S (Russella - Saundersa) oraz sprzężenie j-j.
6. Normalny efekt Zemana, anomalny efekt Zemana, efekt Paschena-Backa.
7. Liniowy oraz kwadratowy efekt Starka.
8. Klasyczny i kwantowy opis cząsteczek dwuatomowych.
9. Struktura krystaliczna: 1) układy krystaliczne (typ sieci krystalicznej, kierunki i płaszczyzn w kryształach) 2) techniki dyfrakcji na kryształach przy użyciu promieniowania X, wiązki elektronów, wiązki neutronów i promieniowania synchrotronowego.
10. Własności cieplne ciał stałych: 1) drgania sieci (fonony), model Einsteina i Debye'a, 2) elektrony w kryształach (gaz Fermiego elektronów swobodnych), wkład elektronowy do ciepła właściwego, 3) ciepło właściwe doświadczalne metali, 4) masa efektywna elektronu i przykładowe ciepło właściwe układów zwanych ciężkich fermionowych ( $UBe_{13}$  lub  $CeAl_3$ ).
11. Magnetyzm ciał stałych: 1) teoria kwantowa magnetyzmu (reguły Hunda dla jonów grupy metali 3d i 4f), 2) uporządkowanie magnetyczne (zależność podatności magnetycznej od temperatury, punkt Curie, temperatura Neela, namagnesowanie nasycenia, struktura domena), 3) właściwości magnetyczne przykładowego układu np.  $Nd_2Fe_{14}B$ .
12. Nadprzewodnictwo: 1) teoria BCS dla nadprzewodników klasycznych (pary elektronowe Coopera, nadprzewodnik w zewnętrznym polu magnetycznym, przerwa energetyczna, tunelowanie Josephsona), 2) nadprzewodniki wysokotemperaturowe, 3) nadprzewodniki na bazie żelaza, 4) konkurencja między magnetyzmem a nadprzewodnictwem w wybranych systemach na bazie pierwiastków grupy lantanowych lub na bazie uranu (np.  $UPt_3$  lub  $UGe_2$ ).
13. Układy niskowymiarowe (cienkie warstwy, nanostruktury) 1) krystalografia (np. rekonstrukcja i relaksacja), 2) techniki dyfrakcyjne (LEED, RHEED, XRR), 3) techniki obrazowania (SEM, STM, AFM), 4) topologia przykładowej powierzchni Si(111).
14. Właściwości jąder atomowych w stanie podstawowym – ładunek, rozmiar, masa, energia wiązania, momenty elektryczne i magnetyczne, parzystość, siły jądrowe. modele jądrowe.
15. Promieniotwórczość – naturalne rodziny i rozpady promieniotwórcze, aktywność promieniotwórcza i prawo rozpadu, reakcje jądrowe i sztuczna promieniotwórczość.
16. Oddziaływania nadsubtelne – zjawisko Mössbauera i magnetyczny rezonans jądrowy.
17. Reakcja rozszczepienia jądra i reaktory jądrowe w energetyce.
18. Reakcja syntezy termojądrowej - energia jądrowa w gwiazdach i kontrolowana reakcja termojądrowa.

## Literatura:

- [1] L.I. Schiff , Mechanika kwantowa, Wydawnictwo Naukowe PWN .
- [2] L.D. Landau, J.M. Lifszyc, Mechanika kwantowa, Teoria nierelatywistyczna, PWN.
- [3] Mark Fox, A Student's Guide to Atomic Physics, Cambridge University Press.
- [4] F. Schwabl, Quantum Mechanics, Springer.  
[https://www.academia.edu/29197961/Quantum\\_Mechanics\\_Franz\\_Schwabl\\_4th\\_Edition](https://www.academia.edu/29197961/Quantum_Mechanics_Franz_Schwabl_4th_Edition)
- [5] R. P. Feynman, R. B. Leighton i M. Sands, Feynmana wykłady z fizyki, Mechanika kwantowa, PWN.
- [6] C. Kittel, Wstęp do fizyki ciała stałego, PWN, Warszawa, 2011.
- [7] J. Spalek, Wstęp do fizyki materii skondensowanej, PWN, Warszawa, 2015.
- [8] A. Szewczyk, Magnetyzm i nadprzewodnictwo, PWN, Warszawa, 2012.
- [9] E. Skrzypczak, Z. Szeliński, Wstęp do fizyki jądra atomowego i cząstek elementarnych, PWN, 2019.
- [10] J. Massalski, Fizyka jądrowa, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2008.
- [11] D. H. Perkins, Wstęp do fizyki wysokich energii, PWN, 2019.
- [12] G. Jezierski, Energia jądrowa wczoraj i dziś, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2010.

## Requirements for the specialization examination in the discipline of physical sciences for PhD students of the Doctoral School – UP

1. Measurement in quantum mechanics (reduction of the vector state). Uncertainty relations, examples and their meaning, coherent states.
2. Description of a unitary evolution in quantum mechanics. Schroedinger, Heisenberg and Dirac picture - a comparison.
3. Time dependent perturbation scheme. The interaction of an atom with an electromagnetic wave. Fermi's Golden Rule.
4. Rotations, addition of angular momentum. Clebsch-Gordan coefficients. Irreducible tensor operators. Wigner-Eckart theorem, selection rules for rotation symmetry.
5. Spin-orbit interaction, L-S coupling (Russell - Saunders) and j-j coupling.
6. Normal Zeman effect, anomalous Zeman effect, Paschen-Back effect.
7. Linear and quadratic Stark effect.
8. Classical and quantum description of diatomic molecule.
9. Crystal structure: 1) crystal structure (types of lattices, crystallographic and surface orientations in crystals), 2) diffraction techniques by means of X-ray, electron beam, neutron beam and synchrotron light.
10. Thermal properties of solids: 1) Crystal vibrations (phonons), Einstein's and Debye's model, 2) Electrons in crystals (Free electron Fermi gas), heat capacity of the electron gas, 3) Experimental heat capacity of metals, 4) effective electron mass and exemplary heat capacity in the so-called heavy Fermion system (UBe13 or CeAl3).
11. Magnetism in solids: 1) quantum theory of magnetism (Hund's rules applied for 3d ions and Rare-Earth ions), 2) magnetic order (temperature dependence of magnetic susceptibility, Curie point, Neel temperature, saturation magnetization, domain structure), 3) magnetic properties of exemplary system Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B.
12. Superconductivity: 1) BCS theory for classical superconductors (Cooper pairs, superconductors in external fields, energy gap), 2) High-Tc superconductors, 3) Fe-based superconductors. 4) competition between magnetism and superconductivity in selected RE-based or U-based systems (e.g. UPt3 or UGe2).
13. Low dimensional systems (thin films, nanostructures): 1) crystallography (e.g. reconstruction and relaxation), 2) diffraction techniques (LEED, RHEED, XRR), 3) imaging techniques (SEM, STM, AFM), 4) topology of exemplary surface Si(111).
14. Properties of atomic nuclei in the ground state - charge, size, mass, binding energy, electric and magnetic moments, parity, nuclear forces. nuclear models.
15. Radioactivity - natural radioactive families and decays, radioactive activity and decay law, nuclear reactions and artificial radioactivity.
16. Hyperfine interactions - the Mössbauer effect and nuclear magnetic resonance.
17. The nuclear fission reaction and nuclear reactors in the power industry.
18. The fusion reaction - nuclear energy in stars and a controlled thermonuclear reaction.

### Literature:

- [1] L. I. Schiff, Quantum Mechanics (Pure & Applied Physics), McGraw Hill.
- [2] L.D. Landau, J.M. Lifshitz, Quantum Mechanics: Non-Relativistic Theory, Pergamon Press ltd.
- [3] M. Fox, A Student's Guide to Atomic Physics, Cambridge University Press.
- [4] F. Schwabl, Quantum Mechanics, Springer.

[https://www.academia.edu/29197961/Quantum\\_Mechanics\\_Franz\\_Schwabl\\_4th\\_Edition](https://www.academia.edu/29197961/Quantum_Mechanics_Franz_Schwabl_4th_Edition)

- [5] R. P. Feynman, R. B. Leighton and M. Sands, The Feynman Lectures on Physics, Quantum Mechanics, Addison-Wesley. <https://www.feynmanlectures.caltech.edu/>
- [6] Charles Kittel, Introduction to Solid State Physics, NY Wiley, 2011.
- [7] M.P. Marder, Condensed Matter Physics, NY Wiley, 2010.  
Online: DOI:10.1002/9780470949955.
- [8] L.-P. Levy, Magnetism and Superconductivity, Springer, 2000.
- [9] J. Basdevant, J. Rich, and M. Spiro, Fundamentals in Nuclear Physics, Springer, 2005.
- [10] W. Demtröder, Particle and Nuclear Physics, Springer, 2021.
- [11] V.I. Chizhik, Y.S. Chernyshev, A.V. Donets, V. Frolov, A. Komolkin, and M.G. Shelyapina, Magnetic Resonance and Its Applications, Springer, 2014.
- [12] P. Gütlich, E. Bill, and A.X. Trautwein, Mössbauer Spectroscopy, Springer, 2011.