

## Harmonogram postępowania rekrutacyjnego i zakres egzaminów

<p><b>Nabór wniosków:</b></p>	<p><b>1. Poczta tradycyjna</b> – na adres: Krakowska Interdyscyplinarna Szkoła Doktorska, Instytut Fizyki Jądrowej PAN, ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków w dniach <b>od 19.06.2023 r. do 23.06.2023 r</b></p> <p><b>2. ePUAP</b> – od 19.06.2023 r. do 23.06.2023 r., oryginały dokumentów przesłanych przez ePUAP należy przedstawić w sekretariacie KISD w celu potwierdzenia zgodności z oryginałem, najpóźniej do dnia egzaminu kwalifikacyjnego. Instrukcja składania wniosków przez ePUAP.</p> <p><b>3. Osobiście</b> – w siedzibie Instytutu Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN przy ul. Radzikowskiego 152 w Krakowie w Sekretariacie Krakowskiej Interdyscyplinarnej Szkoły Doktorskiej (bud. 5, parter, pok. 5224) w dniach: <b>od 19.06.2023 r. do 23.06.2023 r.,</b> <b>w godzinach 9.00 – 14.00.</b></p>
<p><b>Weryfikacja wniosków pod względem formalnym:</b></p>	<p><b>do 05.07.2023 r.</b></p>
<p><b>Publikacja szczegółowego harmonogramu egzaminu kierunkowego:</b></p>	<p><b>do 07.07.2023 r.</b></p>
<p><b>Egzaminy kwalifikacyjne do KISD</b> (ewentualne zmiany terminu będą umieszczane na stronie szkoły):</p>	<p><b>10-13.07.2023</b></p>
<p><b>Publikacja list rankingowych:</b></p>	<p><b>do 17.07.2023 r.</b></p>
<p><b>Publikacja listy doktorantów:</b></p>	<p><b>do 19.07.2023 r.</b></p>
<p><b>Termin na złożenie oświadczenia o podjęciu kształcenia w szkole doktorskiej:</b></p>	<p><b>do 26.07.2023 r.</b> <b>godz.14.00</b></p>
<p><b>Ogłoszenie rekrutacji uzupełniającej:</b></p>	<p><b>do 08.08.2023 r.</b></p>

## Zakres egzaminów:

### Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN:

forma egzaminu kierunkowego: **egzamin ustny**/prezentacja Kandydata\*  
form of the examination: oral exam/ Candidate's presentation

- 2 pytania z fizyki ogólnej + 2 pytania z zakresu tematyki badawczej realizowanej w Oddziale, do którego aplikuje kandydat.
- dla kandydatów do Oddziału Fizyki Teoretycznej 4 pytania z mechaniki kwantowej.

- 2 questions in general physics + 2 questions in the field of research carried out in the Department to which the candidate is applying
- for candidates to the Theoretical Physics Department 4 questions on quantum mechanics

zakres pytań/ scope of the examination:

#### **Pytania z fizyki ogólnej/** questions from general physics:

1. Wyjaśnij jaki układ odniesienia nazywamy inercjalnym, a jaki nieinercjalnym. Podaj przykłady takich układów. Wyjaśnij występowanie siły Coriolisa na powierzchni Ziemi i podaj skutki jej działania.  
The notions and examples of inertial and non-inertial frames; explain the Coriolis force and its effects on Earth's surface.
2. Podaj prawa rządzące sprężystymi i niesprężystymi zderzeniami w ramach mechaniki klasycznej. Wyjaśnij pojęcie parametru zderzenia oraz przekroju czynnego na zderzenie.  
The conservation laws in elastic and inelastic collisions in the framework of classical mechanics; explain the notions of impact parameter and cross-section.
3. Przedyskutuj równania ruchu mechaniki klasycznej w ujęciu Lagrange'a i Hamiltona.  
Discuss equations of motion of classical mechanics in the approaches of Lagrange and Hamilton; discuss the Liouville theorem.
4. Omów równanie ruchu harmonicznego; przedyskutuj pojęcia amplitudy, okresu i częstotliwości drgań. Scharakteryzuj drgania wymuszone oscylatora harmonicznego.  
Describe the equation of harmonic motion; discuss the notions of amplitude, period and frequency of vibrations. Explain the phenomenon of forced vibrations of a harmonic oscillator.

5. Omów pojęcia momentu pędu i momentu siły. Przedstaw zasadę zachowania krętu oraz przykłady jej obowiązywania w przyrodzie.  
Describe the notions of angular momentum and torque; explain the angular momentum conservation and provide examples of its applications.
6. Podaj przykłady zachowanych wielkości fizycznych oraz odpowiadających im symetrii.  
Discuss the connection between symmetries and conserved quantities; give examples of conserved quantities and the respective symmetries.
7. Omów własności płynu idealnego, równanie jego ciągłości oraz podaj treść prawa, Bernoulliego.  
Ideal and nonideal fluids, continuity equation, Bernoulli law.
8. Omów pierwszą zasadę termodynamiki oraz pojęcia ciepła, energii wewnętrznej i ciepła właściwego.  
Describe the first law of thermodynamics and the notion of specific heat capacity.
9. Omów drugą zasadę termodynamiki oraz przedyskutuj pojęcia entropii i nieodwracalności procesu.  
Describe the second law of thermodynamics and discuss the notions of entropy and irreversibility of the process.
10. Przedyskutuj probabilistyczną definicję stanu równowagi oraz zjawisko fluktuacji. Discuss probabilistic definition of the state of equilibrium and the phenomenon of fluctuations.
11. Porównaj własności gazu doskonałego i rzeczywistego oraz przedstaw i omów równania opisujące stan tych gazów. Wyjaśnij pojęcie temperatury krytycznej.  
Compare properties of ideal and real gas and discuss their equations of state. Explain the notion of critical temperature.
12. Omów pojęcie przejścia fazowego oraz jego rodzaje. Zdefiniuj pojęcie parametru uporządkowania. Podaj i krótko scharakteryzuj przykłady znanych ci przejść fazowych.  
Describe the notion of a phase transition and its kinds; define the order parameter; give examples of phase transitions.
13. Podaj definicję temperatury oraz znane Ci skale termometryczne. Przedyskutuj rozkład prędkości cząsteczek w gazie.  
Describe the notion of temperature and define known to you temperature scales; discuss the velocity distribution of gas particles.
14. Przedstaw zasadę działania silnika cieplnego. Wyjaśnij pojęcie sprawności silnika cieplnego. Podaj przykłady różnych cykli termodynamicznych, w oparciu o które pracują silniki cieplne.  
Describe the notion of heat engine and its efficiency; give some examples of different thermodynamic cycles.

15. Omów prawa odbicia i załamania światła oraz pojęcie całkowitego wewnętrznego odbicia.  
Discuss the laws of light's reflection and refraction and the notion of a total internal refraction.
16. Omów zjawisko interferencji fal oraz zasadę superpozycji.  
Describe the phenomenon of wave interference and the superposition principle.
17. Omów zjawisko dyfrakcji fal oraz pojęcie zdolności rozdzielczej.  
Describe the phenomenon of wave diffraction and the notion of resolution.
18. Omów efekt Dopplera oraz przedstaw jego przejawy w akustyce, optyce i astrofizyce.  
Describe Doppler effect and discuss its occurrence in acoustics, optics and astrophysics.
19. Przedstaw zasadę działania lasera. Omów podstawowe typy laserów oraz podaj przykłady ich zastosowania w badaniach fizycznych.  
Explain principles of laser action; describe basic types of lasers and give examples of their applications in physics.
20. Omów zjawisko polaryzacji światła, sposoby jej uzyskiwania i pomiaru. Podaj przykłady wykorzystania polaryzacji światła w badaniach przyrody.  
Describe the phenomenon of light polarization in particular how to obtain and measure the polarization; give some examples how to exploit light polarization in research.
21. Dokonaj charakterystyki pola elektrostatycznego oraz magnetycznego oraz podaj prawa obowiązujące dla tych pól. Wyjaśnij zasadę superpozycji natężeń pól.  
Describe electrostatic and magnetic fields together with the respective physics laws; describe the superposition rule.
22. Podaj definicje oporu elektrycznego oraz prawo Ohma. Wyjaśnij od jakich wielkości fizycznych zależy opór przewodnika liniowego. Wyjaśnij pojęcia przewodności i oporu właściwego oraz gęstości prądu.  
Give the definition of electrical resistance and Ohm's law; describe the notions of conductivity, resistivity and current density.
23. Omów zjawisko indukcji elektromagnetycznej i podaj przykłady jego zastosowania. Wyjaśnij pojęcia współczynnika samoindukcji i indukcji wzajemnej.  
Describe the phenomenon of electromagnetic induction and give some examples of its applications; explain the notion of self-inductance and mutual inductance.
24. Podaj prawo Biota-Savarta oraz opis pola magnetycznego pochodzącego od prądu w przewodniku liniowym i kołowym oraz od solenoidu.  
Describe the Biot-Savart's law and give the description of magnetic field due to the current in a linear and circular conductor and due to a solenoid.

25. Scharakteryzuj paramagnetyki, diamagnetyki i ferromagnetyki.  
Characterize para- dia- and ferromagnetics.
26. Omów zjawisko rezonansu w obwodach drgających, zasadę powstawania fal elektromagnetycznych oraz wyjaśnij pojęcie prądu przesunięcia.  
Describe the phenomenon of a resonance in a LC circuit, the principles of generation of electromagnetic waves.
27. Omów równania Maxwella oraz główne cechy fal elektromagnetycznych.  
Maxwell's equations, electromagnetic waves.
28. Omów hipotezę atomowa budowy materii. Na jej podstawie przedstaw jakościowe wytłumaczenie własności ciał stałych, cieczy i gazów.  
Describe the hypothesis that matter is composed of atoms; based on it give a qualitative explanation of properties of solids, liquids and gases.
29. Dokonaj charakterystyki metali, półprzewodników i izolatorów.  
Characterize metals, semiconductors and insulators.
30. Przedyskutuj zjawisko ruchów Browna oraz jego związek z hipotezą atomowa. Discuss the phenomenon of Brown's motion and its connection with the hypothesis of atoms.
31. Przedstaw główne postulaty szczególnej teorii względności. Omów eksperyment Michelsona-Morleya oraz wynikające z niego wnioski fizyczne.  
Describe main assumptions of the specific theory of relativity and Michelson-Morley experiment.
32. Omów transformacje Galileusza i Lorentza. Podaj relatywistyczne prawo dodawania prędkości. Wyjaśnij pojęcie równoważności masy i energii.  
Describe Galileo and Lorentz transformations; give the relativistic rules of summing up the velocities; explain the notion of equivalence between matter and energy.
33. Przedyskutuj relatywistyczne skrócenie długości oraz dylatacje czasu; na czym polega paradoks bliźniąt?  
Discuss the relativistic length contraction, time dilation and twins paradox.
34. Przedyskutuj główne postulaty ogólnej teorii względności oraz najważniejsze testy doświadczalne tej teorii.  
Discuss main assumptions of the general theory of relativity and its main experimental tests
35. Omów równanie Schrodingera oraz przedyskutuj implikacje jego rozwiązania dla poziomów energetycznych atomu wodoru.  
Describe Schrodinger equation and discuss its solutions for the hydrogen atom.

36. Przedstaw zasadę nieoznaczoności Heisenberga oraz pojęcie drgań zerowych układu kwantowo-mechanicznego. Explain the Heisenberg uncertainty relations and the notion of zero-degree oscillations in a quantum system.
37. Przedstaw podstawowe idee mechaniki kwantowej na przykładzie rozpraszania cząstek na dwóch szczelinach.  
Discuss main ideas of quantum mechanics at the example of a double slit experiment.
38. Omów zjawiska fotoelektryczne i Comptona oraz dokonaj charakterystyki promieniowania ciała doskonale czarnego.  
Describe the photoeffect and characterize the spectrum of a perfect black body.
39. Scharakteryzuj zjawiska nadprzewodnictwa i nadciekłości. Podaj przykłady zachowań układów nadprzewodzących i nadciekłych oraz podstawy kwantowej interpretacji tych efektów.  
Characterize phenomena of superconductivity and superfluidity; give some examples of its properties and basics of its quantum interpretation.
40. Przedstaw główne założenia standardowej teorii Wielkiego Wybuchu wszechświata oraz najważniejsze argumenty obserwacyjne za jej słusznością.  
Give basic assumptions of a standard Big Bang cosmology and main experimental arguments in favour of it.

**Pytania z podstawowych zagadnień fizyki cząstek elementarnych-dla kandydatów do Oddziału Fizyki i Astrofizyki Cząstek/ Questions on the basic issues of particle physics - for candidates for the Division of Particle and Astroparticle Physics:**

1. Porównanie zderzeń w kolajderze ze zderzeniami na stałej tarczy. Zderzacze liniowe i kołowe. Porównanie zderzaczy  $ee$  i  $pp$ .  
Compare beam collisions on fixed target with those at colliders. Linear and circular accelerators. Compare  $ee$  vs  $pp$  colliders.
2. Omów budowę i działanie współczesnego zderzacza. Światłość zderzacza.  
Describe construction and operation of modern collider. The notion of luminosity.
3. Oddziaływanie fotonów z materią. Kalorymetry elektromagnetyczne.  
Interactions of photons with matter. Electromagnetic calorimeters.
4. Przekrój czynny; przestrzeń fazowa; szerokość rozpadu.  
The notions of cross-section, phase space and decay width.
5. Oddziaływanie cząstek naładowanych z materią.  
Interactions of charged particles with matter.

6. Detektory gazowe i krzemowe.  
Gaseous and silicon detectors.
7. Sposoby identyfikacji cząstek.  
Methods of particle identification.
8. Detekcja hadronów i dżetów. Kalorymetry hadronowe.  
Detection of hadrons and jets. Hadronic calorimeters.
9. Model Standardowy: skład i podstawowe własności elementarnych fermionów i bozonów.  
The Standard Model: particle composition and basic properties of elementary fermions and bosons
10. Liczby kwantowe C, P i T.  
Quantum numbers: C, P and T.
11. Porównanie cech elektrodynamiki i chromodynamiki kwantowej.  
Compare key features of quantum electrodynamics and quantum chromodynamics.
12. Podstawy teorii elektroslabej. Główne testy doświadczalne tej teorii.  
Basic features of electroweak theory. Main experimental tests of electroweak theory.
13. Mechanizm Higgosa. Odkrycie bozonu Higgosa.  
Higgs mechanism. Discovery of the Higgs boson.
14. Liczba lekkich neutrin; ewidencja eksperymentalna.  
Number of light neutrinos; experimental evidence.
15. Kolor: dowody doświadczalne.  
Color quantum number: experimental evidence.
16. Główne cechy modelu partonów; rozpraszanie głęboko nieelastyczne lepton-nukleon.  
Main features of the parton model; deep inelastic lepton-nucleon scattering.
17. Macierz CKM; masy i mieszanie kwarków.  
CKM matrix, quark masses and mixing.
18. Podstawowe własności plazmy kwarkowo-gluonowej.  
Basic features of quark-gluon-plasma.
19. Oscylacje neutrin; badania neutrin atmosferycznych i słonecznych.  
Neutrino oscillations; studies of atmospheric and solar neutrinos.

20. Podstawowe cechy promieniowania kosmicznego.  
Basic features of cosmic rays.
21. Problemy Modelu Standardowego. Przykład teorii poza Modelem Standardowym  
Shortcomings of the Standard Model. Example of theory beyond the Standard Model
22. Podstawowe własności wielkich pęków atmosferycznych.  
Basic properties of extensive air showers
23. Bezpośrednie i pośrednie techniki detekcji astrofizycznych cząstek naładowanych, promieniowania gamma i neutrin.  
Direct and indirect detection techniques of astrophysical charged particles, gamma rays, and neutrinos.
24. Astrofizyczne źródła cząstek i promieni gamma o wysokich energiach. Podstawowe procesy prowadzące do emisji wysokoenergetycznych cząstek.  
Astrophysical sources of high-energy gamma rays and particles. Basic processes leading to high energy particle emission.
25. Eksperymentalna ewidencja na istnienie słabych prądów neutralnych. Odkrycie bozonów W i Z.  
Experimental evidence for weak neutral currents. Discovery of the W and Z bosons.

**Pytania z podstawowych zagadnień fizyki ciała stałego – dla kandydatów do Oddziału Fizyki Materii Skondensowanej/ Questions on the basic issues of solid state physics - for candidates for the Division of Condensed Matter Physics:**

1. Sieć krystaliczna, układy krystalograficzne, grupy przestrzenne.  
Crystal lattice, crystallographic systems, space groups.
2. Dynamika sieci układów przestrzennie periodycznych: strefy Brillouina, twierdzenie Blocha, relacje dyspersji fononów.  
Dynamics of spatially periodic systems: the Brillouin zones, the Bloch theorem, phonon dispersion relations.
3. Makroskopowe własności ciał stałych: podatność elektryczna i magnetyczna, sprężystość materiałów.  
Macroscopic properties of solids: electric and magnetic susceptibilities, elasticity of materials.
4. Struktura elektronowa ciał stałych: izolatory, półprzewodniki, półmetale, metale.  
Electronic structure of solids: insulators, semiconductors, semi-metals, metals.
5. Definicja materii miękkiej według Pierre-Gilles de Gennes'a. Wytłumaczyć tę definicję i podać przykłady materii miękkiej.



Definition of soft matter according to Pierre-Gilles de Gennes. Explain this definition and give examples of soft matter.

6. Przejścia fazowe: klasyfikacja Ehrenfesta, przykłady przemian fazowych I i II rodzaju, teoria Landaua przejść fazowych drugiego rodzaju.  
Phase transitions: the Ehrenfest classification, examples of phase transitions of I and II order, the Landau theory of the second order phase transitions.
7. Termodynamiczne własności materiałów: pojemność cieplna, najprostsze modele ciał stałych, model Debye'a i model Einsteina.  
Thermodynamic properties of materials: heat capacity, the simplest models of solids, the Debye and the Einstein models.
8. Materiały magnetyczne i ich zastosowanie (magnesy twarde, miękkie i półtwarde).  
Magnetic materials and their applications (hard, soft and semi-hard magnets).
9. Wyjaśnij pojęcia: zjawisko magnetokaloryczne, zjawisko magnetosprężyste, magnetostrykcja i magnetoopór.  
Explain terms: magnetocaloric effect, magnetoelastic effect, magnetostriction and magnetoresistance.
10. Fazy częściowo nieuporządkowane: fazy plastyczno-krystaliczne i konformacyjnie nieuporządkowane, stany przechłodzone i szkliste. Wpływ nieporządku molekularnego na własności materii miękkiej.  
Partially disordered phases: plastic-crystal phases and conformationally disordered phases, supercooled and glassy states. Influence of molecular disorder on properties of soft matter materials.
11. Zjawisko uporządkowania bliskiego i dalekiego zasięgu w materii miękkiej. Przykłady struktur uporządkowanych dalekozasięgowo w jednym, w dwóch lub w trzech wymiarach.  
The phenomenon of short and long range order in soft matter. Examples of long-range ordered structures in one, two or three dimensions.
12. Nadprzewodnictwo: podstawowe mechanizmy i zastosowania.  
Superconductivity: basic mechanisms and applications.
13. Magnetoptyczny efekt Kerra: definicja i zastosowanie.  
The magneto-optic Kerr effect: definition and application.
14. Ferroiki, multiferroiki i domeny ferroiczne.  
Ferroics, multiferroics and ferroic domains.
15. Nanostruktury węglowe: fullereny, nanorurki, grafen...  
Carbon nanostructures: fullerenes, nanotubes, graphene...

16. Własności materiałów niskowymiarowych (cienkie warstwy, nanocząstki, kropki, druty i studnie kwantowe).  
Properties of low-dimensional materials (thin layers, nanoparticles, dots, wires and quantum wells).
17. Fotelektryczne zjawisko wewnętrzne; diody świecące i zasady fotowoltaiki.  
Internal photoelectric effect; light-emitting diodes and photovoltaic principles.
18. Pośrednie stany skupienia i materia miękka: rodzaje mezofaz z klasyfikacją faz ciekłokrystalicznych. Mikroskopia w świetle spolaryzowanym jako jedna z metod identyfikacji mezofaz.  
Mesophases and soft matter: types of mesophases with the classification of liquid crystal phases. Polarized light microscopy as one of the methods of mesophase identification.
19. Dyfrakcyjne metody w badaniach struktury ciał stałych: sieć odwrotna, prawo Bragga, zastosowanie różnych rodzajów promieniowania.  
Diffraction methods in the studies of structure of solid state materials: reciprocal lattice, Bragg's law, the use of different types of radiation.
20. Spektroskopia w podczerwieni jako metoda badania własności materii skondensowanej.  
Infrared spectroscopy as a method to study properties of condensed matter.
21. Ruchy stochastyczne w materii skondensowanej widziane metodą spektroskopii relaksacyjnej (szerokopasmowa spektroskopia dielektryczna).  
Stochastic motions in condensed matter as seen by relaxation spectroscopy (broadband dielectric spectroscopy).
22. Badanie struktury powierzchni ciał stałych: skaningowy mikroskop elektronowy, transmisyjny mikroskop elektronowy.  
Surface structure studies of solids: scanning electron microscope, transmission electron microscope.
23. Magnetyczne techniki pomiarowe (statyczne, dynamiczne, magnetometr SQUID). Magnetic measuring techniques (static, dynamic, SQUID magnetometer).
24. Spektroskopia anihilacji pozytonów jako metoda badań materii skondensowanej. Positron annihilation spectroscopy as a method of condensed matter research.
25. Zjawisko Mössbauera (ogólnie) i przykłady jego zastosowania do badania ciał stałych.  
The Mössbauer effect (in general) and examples of its use to study solids.

**Pytania z podstawowych zagadnień fizyki ciała stałego i fizyki jądrowej - dla kandydatów do Oddziału Zastosowań Fizyki (NO6) oraz Centrum Cyklotronowego Bronowice (CCB)/ Questions on basic issues of solid state physics and nuclear physics - for candidates for Division of Applications of Physics and Cyclotron Center Bronowice:**

1. Wyjaśnij pojęcie plazmy oraz podaj przykłady współcześnie prowadzonych badań nad tym stanem materii.  
Explain what is plasma and give some examples of modern studies involving this state of matter.
2. Omów mechanizm oddziaływania neutronów z materią, wyjaśnij pojęcia neutronów termicznych, dyfrakcji i polaryzacji neutronów.  
Describe the interaction mechanism of neutrons with matter. Explain the following terms: i) thermal neutrons, ii) neutron diffraction and iii) neutron polarization.
3. Omów zasadę działania reaktora jądrowego. Wyjaśnij pojęcia reakcji łańcuchowej, moderatora neutronów, uranu wzbogaconego. Podaj dwa przykłady różnych typów reaktorów i wyjaśnij różnice w ich budowie.  
Describe the working principle of a nuclear reactor. Explain the following terms: i) chain reaction, ii) neutron moderator and iii) enriched uranium. Name two types of nuclear reactors and explain the differences between them..
4. Scharakteryzuj metody detekcji neutronów, w zależności od ich energii. Zaproponuj metodę pomiaru strumienia neutronów prędkich mając do dyspozycji detektor strumienia neutronów termicznych.  
Characterize various neutron detection methods, according to their energy. Propose a method of fast neutron flux measurements by using a detector of thermal neutrons.
5. Omów próby praktycznej realizacji kontrolowanej reakcji syntezy termojądrowej. Omów różnice pomiędzy magnetycznym i inercyjnym utrzymaniem plazmy. Przedstaw zasadę działania wybranego urządzenia fuzyjnego.  
Discuss practical attempts to achieve the controlled thermonuclear fusion reaction. Explain differences between magnetic and inertial plasma confinement. Give an example of fusion device.
6. Na przykładzie protonów, omów oddziaływanie wysokoenergetycznych cząstek naładowanych z ośrodkiem materialnym. Omów rozkłady głębokościowe dawki dla różnych rodzajów promieniowania.  
Taking protons as an example, discuss interaction of high energy charged particles with matter. Discuss depth dose distributions for different kinds of ionizing radiation.
7. Zdefiniuj pojęcia dawki oraz fluencji dla protonów. Podaj związek pomiędzy tymi wielkościami. Podaj definicję zasięgu wiązki jonów, omów metody pomiaru lub oszacowania zasięgu wiązki protonów.  
Explain the concept of dose and fluence for protons. Discuss the relationship between those quantities. Give the definition of ion beam range and discuss the method of measurement or evaluation of proton beam range

8. Wyjaśnij pojęcie względnej skuteczności biologicznej (WSB) oraz podaj definicję WSB. Omów zmienność WSB dla protonów i cięższych jonów wraz z energią.  
Explain the concept of Relative Biological Effectiveness (RBE), give the definition of RBE. Discuss RBE variability for protons and heavier ions as a function of energy.
9. Wymień i scharakteryzuj zakresy pracy gazowego detektora promieniowania. Przedstaw budowę i zasadę działania komory jonizacyjnej oraz różnice w działaniu: komory jonizacyjnej, licznika proporcjonalnego oraz licznika Geigera-Mullera.  
Name and characterize the operating regions of the gaseous ionization detector. Discuss the construction and explain the working principle of the ionization chamber. Explain the differences in working principles of: ionization chamber, proportional counter and Geiger-Muller counter
10. Wyjaśnij na czym polegają różnice w budowie i zasadzie działania aktywnego i pasywnego detektora promieniowania jonizującego. Przedstaw po jednym przykładzie metody fizycznej wykorzystującej i) detektor aktywny ii) detektor pasywny.  
Explain the differences in the construction and working principles of active and passive detectors of ionizing radiation. Present a selected physical method that uses i) a passive detector and another physics method that involves ii) an active detector.
11. Wykaż, że zarówno podczas syntezy jak i rozpadu jąder promieniotwórczych wydzielana jest energia. Wyjaśnij pojęcie ciepła reakcji i niedoboru masy.  
Show that in both cases of fusion and fission reactions vast amount of energy is released. Define the reaction energy "Q-value" and explain the mass defect (or mass deficit) term.
12. Dokonaj charakterystyki promieniowania jonizującego, przedstaw dwa przykłady wytwarzania tego promieniowania, wyjaśnij pojęcie średniego czasu życia dla izotopów promieniotwórczych oraz podaj jego związek z czasem połowicznego rozpadu promieniotwórczego.  
Describe the properties of ionizing radiation. Give two examples of how to produce such radiation. Explain what is the mean lifetime of a radioactive isotope and how it is related to its half-life.
13. Omów metodę datowania węglem  $^{14}\text{C}$ , wyjaśnij pojęcie abundancji.  
Describe  $^{14}\text{C}$  dating method. Explain the abundance term.
14. Zaproponuj materiały jakie można wykorzystać do budowy osłon radiologicznych przed promieniowaniem różnego typu. Uzasadnij swoje propozycje.  
Propose some materials for radiological shielding for different types of ionizing radiation. Justify your choice of materials.
15. Podaj przykłady trzech dowolnych typów detektorów promieniowania jonizującego i omów zasadę ich działania.  
Give three examples of ionizing radiation detectors and explain how they work.
16. Omów budowę i zasadę działania kwadrupolowego analizatora mas.  
Discuss the construction and principle of operation of the quadrupole mass analyzer.

17. Scharakteryzuj szeregi promieniotwórcze występujące w przyrodzie. Wymień rodzaje i opisz warunki istnienia równowagi promieniotwórczej pomiędzy izotopami.  
Characterize the radioactive series found in nature. List the types and describe the conditions for the existence of a radioactive equilibrium between isotopes.
18. Podaj prawo Geigera-Nuttalla oraz interpretację zaproponowaną przez G. Gamowa. Wyjaśnij, jak ta reguła manifestuje się w widmie promieniowania alfa.  
Give the Geiger-Nuttall law and the interpretation proposed by G. Gamow. Explain how this rule manifests itself in the alpha spectrum.
19. Przedstaw sposób otrzymania frakcji radowej (Ra) i polonowej (Po) przez Marię Skłodowską-Curie i jej współpracowników.  
Show how Maria Skłodowska-Curie and her associates received the radium (Ra) and Polonium (Po) fractions.
20. Przedstaw metodę datowania młodych osadów opartą o izotop promieniotwórczy  $^{210}\text{Pb}$ .  
Present the dating method of recent deposits based on the  $^{210}\text{Pb}$  isotope.
21. Omów budowę i zasadę działania skanera Pozytonowej Tomografii Emisyjnej (PET) oraz jego podstawowe parametry. Porównaj skaner PET z rentgenowskim tomografem komputerowym (CT).  
Explain the construction and working principles of Positron Emission Tomography (PET) scanner. Compare PET scanner with the X-ray Computed Tomography (CT) scanner.
22. Omów podstawy fizyczne działania: i) cyklotronu, ii) synchrociklotronu oraz iii) synchrotronu. Porównaj metody uwzględnienia efektów relatywistycznych podczas przyspieszania cząstek w tych akceleratorach.  
Discuss the physical principles of i) cyclotron, ii) synchrociklotron iii) synchrotron operation. Compare the methods of including the relativistic effects observed during particle acceleration in these facilities.
23. Omów zjawisko termoluminescencji oraz jego wykorzystanie w dozymetrii promieniowania jonizującego i datowaniu.  
Discuss the phenomenon of thermoluminescence and its use in dosimetry of ionizing radiation and dating.
24. Objaśnij podstawy fizyczne działania typowych pasywnych dawkomierzy osobistych stosowanych w ochronie radiologicznej.  
Explain the physical principles of the typical passive personal dosimeters used in radiation protection.
25. Omów metodę Czochralskiego wzrostu kryształów. Wymień inne metody wzrostu kryształów z fazy roztopionej.  
Discuss the Czochralski method of crystal growth. List other methods of crystal growth from the melt.