The list of courses presented in this document is indicative and provides an overview of the potential course structure within the selected degree programme. The final study programme, including the list of courses and their content, may be subject to modifications depending on the academic year in which the student commences their studies. The university reserves the right to make adjustments to the study programme while maintaining the overall academic objectives and intended learning outcomes of the degree.

l.p. No.	Przedmiot Course	Treści programowe Content
1.	Analiza danych fizyczynych i astronomicznych Data Analysis in Physics and Astronomy	Pakiety programowe do analizy danych i obliczeń statystycznych. Klasyczne wnioskowanie statystyczne. Bayesowskie wnioskowanie statystyczne. Eksporacja danych i wyszukiwanie struktury danych punktowych. Wymiarowość danych i metody redukcji wymiaru. Regresja i dopasowanie modelu. Klasyfikacja danych. Analiza szeregów czasowych. Statistical frameworks and data analysis. Classical statistical inference. Bayesian statistical inference. Data mining and searching for structure in point data. Data dimensionality and its reduction. Regression and model fitting. Data classification. Time series analysis.
2.	Astero- i heliosejsmologia Astero- and Helioseismology	Podstawowe zagadnienia i koncepcje: mod oscylacji, identyfikacja modów, model sejsmiczny gwiazdy, ewolucyjne zmiany czestotliwości pulsacji. Heliosejsmologia: krótka historia, właściwości oscylacji Slońca, relacje asymptotyczne, zasady inwersji heliosejsmicznej, inwersja dla rotacji i budowy Słońca. Pulsacje samowzbudzane: gwiazdy δ Scuti, β Cephei, SPB (Slowly Pulsating B-type), gwiazdy γ Doradus, ograniczenia na: profil rotacyjny, procesy mieszania pierwiastków, efektywność konwekcji, nieprzezroczystości gwiazdowe. Zwarte obiekty pulsujące: białe karły (WD: DAV, DBV, DOV), gorące podkarły (sdB, sdO), pulsujące białe karły i gorące podkarły jako „warunki brzegowe” do testowania teorii ewolucji, pulsujące WDs jako chronometry galaktyczne, pulsujące WDs jako kosmiczne laboratoria fizyki podstawowej. Pulsacje typu słonecznego: asterosejsmiczne sygnatury diagnostyczne, diagram asterosejsmiczny, relacje skalujące, gwiazdy ciągu głównego, podolbrzymy, czerwone olbrzymy. Basic issues and concepts: oscillation mode, identification of modes, seismic model of a star, evolutionary period changes. Helioseismology: short history, properties of solar oscillations, asymptotic relations, principles of helioseismic inversion, inversion for solar rotation and solar structure. Heat driven pulsators: δ Scuti stars, β Cephei stars, Slowly Pulsating B-type (SPB) stars, γ Doradus stars, constraints on: rotational profile, element mixing processes, efficiency of convection, opacity data. Compact pulsators: white dwarfs (WD: DAV, DBV, DOV), hot subdwarfs (sdB, sdO), WD and sdB pulsators as a boundary condition for stellar evolution theory, WD pulsators as Galactic chronometers,

		WD pulsators as cosmic laboratories for fundamental physics. Solar-like pulsators: asteroseismic diagnostic signatures, asteroseismic diagram, scaling relations, main sequence stars, subgiants, red giants.

3.	Astrofizyczna praktyka obserwacyjna Practical Astrophysics at Observatory	Część heliofizyczna: Zapoznanie się z instrumentarium heliofizycznym znajdującym się w Obserwatorium Astronomicznym w Białkowie – Duży Koronograf (LC), Teleskop Horyzontalny (HT), wielokanałowy spektrograf obrazujący podwójnego przejścia (spektrograf MSDP). Przedstawienie zasady działania spektrografu obrazującego MSDP. Spektroskopowe obserwacje heliofizyczne w linii spektralnej H-alpha wodoru z wykorzystaniem obu teleskopów słonecznych (LC, HT) i spektrografu obrazującego MSDP. Wprowadzenie teoretyczne do fizyki zjawisk aktywnych na Słońcu obserwowanych w Obserwatorium w Białkowie (rozbłyski słoneczne, protuberancje, włókna, erupcje). Opracowywanie danych MSDP i analiza zjawisk aktywnych na Słońcu zarejestrowanych w Obserwatorium Astronomicznym w Białkowie. Analiza spektralna linii H-alpha wodoru podczas różnych zjawisk aktywnych obserwowanych na Słońcu. Część astrofizyczna: Zapoznanie się z miejscem obserwacji i instrumentami obserwacyjnymi. Budowa teleskopu znajdującego się w obserwatorium IA UWr: optyka, montaż, detektor CCD, koło filtrów, autoguider, sterowanie, obsługa kopuły obserwacyjnej. Wprowadzenie do obserwacji astrofizycznych: warunki obserwacji, małe i duże teleskopy naziemne, teleskopy kosmiczne, fotometria, spektroskopia. Ogólne omówienie techniki obserwacji stosowanej w obserwatorium astrofizycznym IA UWr: fotometria wielobarwna, fotometria różnicowa, fotometryczne szeregi czasowe. Streszczenie tematyki badań prowadzonych w obserwatorium astrofizycznym IA UWr: fotometria wielobarwna gromad gwiazdowych (gromady otwarte i kuliste), wykresy barwa-jasność, zmienność fotometryczna gwiazd (gwiazdy pulsujące, zaćmieniowe, zmienne nieregularne). Omówienie i (częściowe) wykonanie typowego przebiegu obserwacji astrofizycznych: obrazy kalibracyjne (obrazy przed i po kalibracji), obserwacje wybranych obiektów, sposoby wykonania pomiarów fotometrycznych i krzywa blasku. Heliophysical part: Getting acquainted with the heliophysical instrumentation located at the Astronomical Observatory in Bialkow – Large Coronagraph (LC), Horizontal Telescope (HT), Multi-channel Subtractive Double-Pass spectrograph (MSDP spectrograph). Presentation of the principle of operation of the MSDP imaging spectrograph. Spectroscopic heliophysical observations in the hydrogen H-alpha spectral line, by the use both solar telescopes (LC, HT) and the MSDP imaging spectrograph. Theoretical introduction to the physics of solar active phenomena observed at the Bialkow Observatory (solar flares, prominences, filaments, eruptions). MSDP data processing and analysis of active phenomena recorded during observations at the Bialkow Observatory. Spectral analysis of the hydrogen H-alpha line during various active phenomena observed on the Sun. Astrophysical part: Acquaint to the observation site and observational instruments. Construction of the telescope located at the Astronomical Observatory in Bialkow: optics, mount, CCD detector, filter wheel, autoguider, telescope

		control, and operation of the observational dome. An introduction to astrophysical observations: observation conditions, small and large ground-based telescopes, space telescopes, photometry, spectroscopy. General discussion of the observation technique used at the astrophysical observatory of the University of Wrocław: multicolor photometry, differential photometry, and photometric time series. Summary of the research subjects studied at the astrophysical observatory of the University of Wrocław: multicolor photometry of star clusters (open and globular clusters), color-magnitude diagrams, photometric variability of stars (pulsating stars, eclipsing stars, irregular variables). Discussion and (partial) execution of a typical course of astrophysical observations: calibration frames (images before and after calibration), observations of selected objects, ways of performing of photometric measurements, and a light curve.

4.	Astrofizyka I Astrophysics I	Wprowadzenie, podstawowe definicje, parametry gwiazdowe: Astronomia jako nauka obserwacyjna, astrofizyka. Sfera niebieska, układy współrzędnych stosowane w astronomii. Paralaksa gwiazdowa, kosmiczna skala odległości, drabina odległości. Promieniowanie ciała doskonale czarnego. Widma gwiazd, strumień, temperatura efektywna. Klasyfikacja widmowa. Skala jasności, jasności bolometryczne, moc promieniowania, wskaźnik barwy. Parametry gwiazdowe. Wyznaczanie mas i promieni gwiazdowych. Wykres Hertzsprunga-Russella. Narzędzia astrofizyki: Widmo fal elektromagnetycznych, okna obserwacyjne. Obserwatoria naziemne i kosmiczne. Teleskopy. Detektory. Astronomia w podczerwieni, ultrafiolecie, promieniowaniu X i gamma. Techniki obserwacyjne: obrazowanie. Techniki obserwacyjne: fotometria. Techniki obserwacyjne: spektroskopia. Techniki obserwacyjne: interferometria optyczna i radiowa. Techniki obserwacyjne: astrometria. Techniki obserwacyjne: polarymetria. Atmosfery gwiazdowe: Opis pola promieniowania. Oddziaływanie światła i materii, nieprzezroczystość gwiazd. Transfer promienisty i konwekcyjny. Równanie transferu i jego formalne rozwiązanie. Równania równowagi hydrostatycznej i promienistej. Atmosfera szara, przybliżenie dyfuzyjne, przybliżenie LTE. Modele atmosfer gwiazdowych. Linie widmowe i ich profile, powstawanie linii widmowych. Obfitości atmosferyczne gwiazd. Wiek gwiazd. Struktura i ewolucja gwiazd: Materia międzygwiazdowa (MM), pył i gaz, absorpcja przez MM. Formowanie się gwiazd, twierdzenie o wiriale, masa Jeansa. Ewolucja przed ciągiem głównym. Wnętrza gwiazdowe, równowaga hydrostatyczna. Podstawowe równania. Źródła energii gwiazdowej, nieprzezroczystość, równanie stanu, transport energii. Modele wnętrz gwiazdowych. Degeneracja materii. Ewolucja na ciągu głównym. Ewolucja po głównym ciągu. Testowanie teorii ewolucji gwiazd (gromady gwiazdowe, pulsacje gwiazd). Zmienność gwiazdowa i jej pochodzenie. Słońce: Wnętrze Słońca. Atmosfera słoneczna. Aktywność Słońca, cykl słoneczny. Pulsacje słoneczne. Problem neutrin słonecznych. Introduction, basic definitions, stellar parameters: Astronomy as an observational science, astrophysics. Celestial sphere, coordinate systems used in astronomy. Stellar parallax, cosmic distance scale, distance ladder. Blackbody radiation. Stellar spectra, flux, effective temperature. Spectral classification. Magnitude scale, bolometric

		magnitude, luminosity, colour index. Stellar parameters. Determination of stellar masses and radii. Hertzsprung-Russell diagram. Tools of astrophysics: Electromagnetic spectrum, observing windows. Ground-based and space observatories. Telescopes. Detectors. Infrared, ultraviolet, X-ray and gamma astronomy. Observing techniques: imaging. Observing techniques: photometry. Observing techniques: spectroscopy. Observing techniques: optical and radio interferometry. Observing techniques: astrometry. Observing techniques: polarimetry. Stellar atmospheres: Description of radiation field. Interaction of light and matter, stellar opacity. Radiative and convective transfer. Transfer equation and its formal solution. Equations of hydrostatic and radiation equilibrium. Gray atmosphere, diffusion approximation, LTE approximation. Models of stellar atmospheres. Spectral lines and their profiles, formation of spectral lines. Atmospheric abundances of stars. Ages of stars. Stellar structure and evolution: Interstellar matter (IM), dust and gas, absorption by IM. Formation of stars, virial theorem, the Jeans mass. Pre-main sequence evolution. Stellar interiors, hydrostatic equilibrium. Basic equations. Sources of stellar energy, opacity, equation of state, transport of energy. Models of stellar interiors. Degeneracy of matter. Main-sequence evolution. Post-main-sequence evolution. Testing the theory of stellar evolution (stellar clusters, stellar pulsations). Stellar variability and its origin. The Sun: Solar interior. Solar atmosphere. Activity of the Sun, solar cycle. Solar pulsations. Solar neutrino problem.

5.	Astrofizyka II Astrophysics II	Końcowe etapy ewolucji gwiazdowej: Supernowe z kolapsującym jądrem. Astronomia neutrin. Białe karły. Fizyka materii zdegenerowanej. Granica Chandrasekhara. Gwiazdy neutronowe, pulsary. Gwiazdowe czarne dziury. Błyski gamma. Promieniowanie kosmiczne, teleskopy Cerenkowa. Ciasne układy podwójne: Ewolucja gwiazd podwójnych. Dyski akrecyjne. Zjawiska pływowe. Supernowe typu Ia. Połączenia gwiazd. Fale grawitacyjne i ich detekcja. Układ Słoneczny, planety pozasłoneczne: Układ Słoneczny, planety. Elementy mechaniki nieba (orbity, prawa Keplera). Małe ciała w Układzie Słonecznym. Formowanie się planet. Planety pozasłoneczne, techniki wykrywania. Ewolucja układów planetarnych. Galaktyki: Galaktyka Drogi Mlecznej (składniki, kinematyka, centralna supermasywna czarna dziura). Typy galaktyk i ich parametry. Formowanie się i ewolucja galaktyk. Aktywne jądra galaktyk i kwazary. Wielkoskalowa struktura Wszechświata. Soczewkowanie grawitacyjne. Kosmologia: Równania Friedmanna. Modele kosmologiczne, ich parametry i testowanie. Ekspansja Wszechświata i jej przyspieszanie. Wczesny Wszechświat. Inflacja. Pierwotna nukleosynteza. Mikrofalowe promieniowanie tła. Ciemna materia i ciemna energia. Teorie zmodyfikowanej grawitacji. Final stages of stellar evolution: Core-collapse supernovae. Neutrino astronomy. White dwarfs. Physics of degenerated matter. Chandrasekhar limit. Neutron stars, pulsars. Stellar black holes. Gamma-ray bursts. Cosmic rays, Cerenkov telescopes. Close binary stars: Evolution of binary stars. Accretion disks. Tidal phenomena. Type Ia supernovae. Stellar mergers. Gravitational waves and their detection. Solar System, extrasolar planets: Solar System, planets. Elements of celestial mechanics (orbits, Kepler laws).

		Small bodies in the Solar System. Formation of planets. Extrasolar planets, detecting techniques. Evolution of planetary systems. Galaxies: The Milky Way Galaxy (components, kinematics, the central supermas-sive black hole). Types of galaxies and their parameters. Formation and evolution of galaxies. Active galactic nuclei and quasars. The large-scale structure of the Universe. Gravitational lensing. Cosmology: Friedmann equations. Cosmological models, their parameters and testing. Expansion of the Universe and its acceleration. Early Universe. Inflation. Primordial nucleosynthesis. Microwave background radiation. Dark matter and dark energy. Theories of modified gravity.

6.	Astrofizyka relatywistyczna Relativistic Astrophysics	Wstęp: planety, gwiazdy, galaktyki – skale i jednostki. Przegląd mechaniki statystycznej i wprowadzenie pojęcia równania stanu – fizyka równowagowa. Opis struktury i ewolucji gwiazd przy użyciu pojęcia równowagi hydrostatycznej; podejście newtonowskie i opis w ramach ogólnej teorii względności. Zrozumienie odłączenia promieniowania i materii w opisie atmosfer gwiazdowych – nieprzezroczystość i średnia droga swobodna. Introduction: planets, stars, galaxies – scales and units. Reviewing statistical mechanics and introducing the concept of an equation of state – equilibrium physics. Describing structure and evolution of stellar objects using the concept of hydrostatic equilibrium; Newtonian and general relativistic approaches. Understanding the decoupling of radiation from matter to describe stellar atmospheres – opacity and mean-free path.
7.	Astrofizyka wysokich energii High-energy Astrophysics	Wielkości fizyczne i jednostki stosowane w astrofizyce wysokich energii. Techniki obserwacyjne (detektory, optyka Woltera, teleskopy z modulacją apertury). Astronomia rentgenowska i gamma (rozwój techniki rejestracji i analizy danych satelitarnych). Elektromagnetyczne procesy w materii (rozpraszanie kulombowskie, straty jonizacyjne, promieniowanie hamowania, termiczny bremsstrahlung). Oddziaływanie promieniowania z materią i polem magnetycznym (promieniowanie Czerenkowa, rozpraszanie comptonowskie, odwrotny efekt Comptona, promieniowanie synchrotronowe, absorpcja synchrotronowa, promieniowanie synchrotron-self-compton, tworzenie par elektron-pozyton, anihilacja pozytonów i elektronów). Dyski akrecyjne (wydajność procesu akrecji dla białych karłów i gwiazd neutronowych, wydajność procesu akrecji dla czarnych dziur dla metryk Schwarzschilda i Kerra, typy akrecji, limit jasności Eddingtona, czarne dziury w rentgenowskich układach podwójnych i AGN, cienkie dyski akrecyjne, grube dyski akrecyjne, zasilanie dysku akrecyjnego, wpływ pola magnetycznego na dysk akrecyjne). Promieniowanie kosmiczne (skład promieniowania kosmicznego, widmo energetyczne, modulacja promieniowania kosmicznego, chemiczna zawartość pierwiastków w promieniowaniu kosmicznym, najwyższe energie promieniowania kosmicznego, Wielkie Pęki Atmosferyczne (kaskady elektromagnetyczne i mionowe), metody rejestracji, projekty obserwacyjne, rozkład promieniowania kosmicznego, gęstość energii, odcięcie Greisena-Zatsepina-Kuzmina). Astronomia neutrinowa (opis właściwości neutrin, źródła astrofizyczne neutrin, detekcja neutrin, obserwacje neutrin słonecznych i problem ich ilości, oscylacje neutrin, inne źródła neutrin, promieniowanie kosmiczne i atmosfera ziemska, wybuchy supernowych (mechanizm powstawania neutrin i obserwacje), AGN – mechanizmy powstawania

		neutrin). Błyski gamma (właściwości obserwacyjne, wyznaczanie odległości, miejsca formowania się błysków, proponowane modele, obserwacja zjawisk kilonowa - detekcja fal grawitacyjnych, odległości, masy, detekcja promieniowania Gamma). Physical quantities and units used in high-energy Astrophysics. Observation techniques (detectors, Voltaire optics, aperture modulated telescopes). X-ray and gamma astronomy (development of techniques for recording and analysing satellite data). Electromagnetic processes in matter (Coulomb scattering, ionisation losses, braking radiation, thermal bremsstrahlung). Interaction of radiation with matter and magnetic field (Cherenkov radiation, Compton scattering, inverse Compton effect, synchrotron radiation, synchrotron absorption, synchrotron-self-compton radiation, formation of electron-positron pairs, positron and electron annihilation). Accretion disks (accretion efficiency for white dwarfs and neutron stars, accretion efficiency for black holes for Schwarzschild and Kerr metrics, accretion types, Eddington luminosity limit, black holes in X-ray binaries and AGN, thin accretion disks, thick accretion disks, powering the accretion disk, influence of the magnetic field on the accretion disk). Cosmic rays (composition of cosmic rays, energy spectrum, modulation of cosmic rays, chemical content of elements in cosmic rays, the highest energies of cosmic rays, Great Atmospheric Air Showers (electromagnetic and muon cascades), recording methods, observation projects, distribution of cosmic rays, energy density, Greisen-Zatsepin-Kuzmin cutoff). Neutrino astronomy (description of neutrino properties, astrophysical sources of neutrinos, detection of neutrinos, observations of solar neutrinos and the problem of their quantity, neutrino oscillations, other neutrino sources, cosmic rays and the Earth's atmosphere, supernova explosions (neutrino formation mechanism and observations), AGN – mechanisms of neutrino formation). Gamma-ray bursts (observation properties, determination of distances, burst formation sites, proposed models, observation of kilonova phenomena - detection of gravitational waves, distances, masses, detection of gamma rays).

8.	Astronomia galaktyczna Galactic Astronomy	Ogólna budowa Galaktyki. Wymiana materii między gwiazdami a ośrodkiem międzygwiazdowym. Postaci materii międzygwiazdowej w Galaktyce: gaz i pył, ekstynkcja, poczerwienienie. Gromady gwiazdowe: kuliste i otwarte, gromada ruchoma. Droga Mleczna w bliskiej i dalekiej podczerwieni. Ruch Słońca względem gwiazd: apeks, centroid. Układ LSR i prędkości swoiste. Wyznaczanie prędkości LSR względem środka Galaktyki. Wyznaczanie prędkości swoistej Słońca. Prosty model rotacji Galaktyki: wektor prędkości gwiazdy względem Słońca. Metoda Oorta badania rotacji Galaktyki. Stałe Oorta. Rotacja różnicowa Galaktyki: interpretacja geometryczna. Krzywa rotacji Galaktyki z obserwacji radiowych obłoków HI. Wyznaczanie odległości Słońca od środka Galaktyki. Szacowanie masy Galaktyki ze stałych Oorta. Modele rozkładu masy w Galaktyce. Funkcja rozkładu jasności powierzchniowej galaktyk. Masa widzialna a masa dynamiczna Galaktyki. Ciemna materia. Rozkłady prędkości gwiazd: gwiazdy szybkie i powolne, orbity. Rozkłady składowych prędkości swoistych gwiazd powolnych: elipsoida, dyspersja. Zależność między dyspersją prędkości a typem widmowym i metalicznością. Asymetryczny rozkład

		składowej rotacyjnej prędkości swoistych. Mechanizm rozpraszania orbit gwiazdowych prowadzący do wzrostu dyspersji prędkości swoistych. Kinematyka dysku i halo. Zliczenia gwiazd: metodologia. Związek między zliczeniami gwiazd a ich rozkładem przestrzennym. Wszechświat Kapteyna. Funkcje LF, ILF i SFR. LF dla gwiazd z otoczenia Słońca i dla gwiazd gromad kulistych. Skala wysokości i jej zależność od typu widmowego. Odkrycie ramion spiralnych Galaktyki. Stabilność ramion spiralnych i fale gęstości. Mechanizm powstawania gwiazd w ramionach spiralnych. Odkrycie poprzeczki Galaktyki. Populacje gwiazdowe Galaktyki. Gruby dysk. Rozmieszczenie gazu i pyłu w Galaktyce. Model ELS powstania Galaktyki: zapadanie swobodne i dyssypacja. Model SZ powstania Galaktyki: akrecja. Ewolucja chemiczna Galaktyki. Wiek i rozmieszczenie gromad kulistych. Pochodzenie dysku grubego. Środek Galaktyki. General structure of the Galaxy. Interchange of matter between stars and ISM. Forms of ISM: gas and dust, extinction, reddening. Stellar clusters: globular and open, moving cluster. Milky Way in near and far infrared. Velocity of the Sun with respect to neighbouring stars: apex, centroid. LSR and peculiar velocities. Determination of Solar LSR velocity in respect to the Galaxy centre. Determination of the peculiar velocity of the Sun. Simple model of the Galaxy rotation: velocity vector of a star in respect to the Sun. Oort's approach to the Galaxy rotation. Oort's constants. Differential rotation of the Galaxy: geometric interpretation. Galactic rotation curve from radio observations of HI clouds. Determination of the Sun – galactic center distance. Estimation of the Galaxy mass from Oort's constants. Models of mass distribution in the Galaxy. Surface brightness of galaxies. Visual versus dynamical mass of the Galaxy. Dark matter. Distribution of stellar velocities: fast and slow stars, orbits. Distribution of components of peculiar velocities for slow stars: ellipsoid and dispersion. Relationship between velocity dispersion, spectral type and metallicity. Asymetric distribution of the rotational component of the peculiar velicities. Scattering of the stellar orbits leading to the increase of the peculiar velocity dispersion. Disc and halo kinematics. Star counts methodology. Relation between star-counts and their space distribution. Kapteyn's universe. LF, ILF and SFR functions. LF for galactic disc and for stars in GC. Height scale and its dependence on spectral type. Discovery of spiral arms in the Galaxy. Stability of spiral arms and density waves. Mechanism of star formation in spiral arms. Discovery of galactic bar. Stellar populations of the Galaxy. Thin and thick discs. Gas and dust distribution in the Galaxy. ELS model of the Galaxy orogin: free infall and energy dissipation. SZ model of the Galaxy formation: acrection. Chemical evolution of the Galaxy. Age and spatial distribution of globular clusters. Origin of the thick disc. Centre of the Galaxy with a black hole.

9.	Astronomia pozagalaktyczna	Składniki Galaktyki Drogi Mlecznej: gwiazdy a materia międzgwiazdowa, obiekt centralny, krzywa rotacji, populacje, skład chemiczny i kinematyka. Klasyfikacja galaktyk normalnych, sekwencja Hubble'a, różne systemy klasyfikacji galaktyk. Parametry glo-

	Extragalactic Astronomy	balne galaktyk: masy, rozmiary, moce promieniowania, skład, populacje gwiazdowe. Obserwacyjne dowody istnienia ciemnej materii. Widma galaktyk a ich skład. Metody wyznaczania odległości do galaktyk. Formowanie się galaktyk, scenariusze ewolucji galaktyk, znaczenie zderzeń i łączenia się galaktyk w ich ewolucji. Grupa Lokalna, składniki i charakterystyka. Najbliższe galaktyki: galaktyka karłowata w Strzelcu, Obłoki Magellana, M31 i M33. Galaktyki karłowate: typy i własności. Gromady Virgo i Coma, wielkoskalowa struktura Wszechświata. Zunifikowany model AGN-u, galaktyki Seyferta, blazary, radiogalaktyki. Galaktyki aktywne, źródła promieniowania nietermicznego w galaktykach aktywnych. Kwazary i ich widma, interpretacja widm kwazarów. Supermasywne czarne dziury, zależności pomiedzy masami supermasywnych czarnych dziur a innymi parametrami galaktyk. Soczewkowanie grawitacyjne: warunki i przykłady powstawania pierścieni Einsteina, obrazów podwójnych i wielokrotnych. Soczewkowanie słabe i mikrosoczewkowanie. Components of the Milky Way Galaxy: stars vs interstellar matter, central object, rotation curve, populations, chemical composition and kinematics. Classification of normal galaxies, Hubble sequence, different galaxy classification systems. Global parameters of galaxies: masses, sizes, luminosities, composition, stellar populations. Observational evidence for the existence of dark matter. Spectra of galaxies versus their composition. Methods for determining distances to galaxies. Formation of galaxies, galaxy evolution scenarios, the importance of collisions and mergers of galaxies in their evolution. The Local Group, components and characteristics. The nearest galaxies: Sagittarius dwarf galaxy, Magellanic Clouds, M31 and M33. Dwarf galaxies: types and properties. Virgo and Coma clusters of galaxies, the large-scale structure of the Universe. The unified model of the AGN, Seyfert galaxies, blazars, radio galaxies. Active galaxies, sources of non-thermal radiation in active galaxies. Quasars and their spectra, interpretation of quasar spectra. Supermassive black holes, relations between supermassive black hole masses and other galaxy parameters. Gravitational lensing: conditions and examples of the formation of Einstein rings, double and multiple images. Weak lensing and microlensing.

10.	Dokonania współczesnej fizyki i astrofizyki Highlights of Modern Physics and Astrophysi*cs*	Opracowanie, prezentacja i dyskusja wybranych zagadnień współczesnej fizyki i astrofizyki, z naciskiem na najważniejsze osiągnięcia, przełomowe odkrycia i wiodące kierunki prowadzonych aktualnie badań, a także znaczenie badań z pogranicza fizyki i astronomii. Przegląd literatury i innych źródeł na wybrany temat, przygotowanie streszczenia, wygłoszenie referatu, dyskusja omawianych zagadnień, opracowanie pisemne wybranego zagadnienia. Presentation and discussion of selected topics of modern physics and astrophysics, with emphasis placed on major achievements, groundbreaking discoveries and leading trends of current research, as well as the impact of astrophysical research on science and civilization. Review of literature and other sources on a given topic, preparing an abstract of oral presentation, delivering a talk, scientific discussion, writing an essay.
11.	Elektrodynamika kwantowa Quantum Electrodynamics	Formalizm lagranżowski, twierdzenie Noether. Kwantowanie pól skalarnych, Diraca i elektromagnetycznego. Równanie Kleina-Gordona, równania Diraca. Reguły Feynmana. Macierz S i przekroje czynne. Tożsamości Warda-Takahashiego, wzory redukcyjne LSZ, twierdzenie optyczne. Lagrangian formalism and Noether theorem. Quantization of scalar, Dirac and electromagnetic fields. Klein-Gordon and Dirac equations. Feynman rules. S matrix and cross sections. Ward-Takahasi identities, LSZ reduction formulas, optical theorem.

12.	Etyka badań naukowych Ethics in Research	Specyfika etyki, etyka kodeksowa a sytuacyjna, różnica między kodeksami etycznymi a przepisami prawnymi, wybrane zapisy kodeksów etycznych; prawo autorskie a etyczny wymiar plagiatu, etyczne podstawy prawa autorskiego, prawo autorskie w obszarze badań naukowych, obszary graniczne: autoplagiat, kryptocytat, problem powielania publikacji i "salami slicing", wiarygodność badań, normy regulujące współautorstwo prac; etyczne aspekty recenzowania publikacji: konflikt interesów, wyzwania związane z anonimowością recenzji, problem stronniczości, poufność danych, zakres ekspertyzy; etyczne aspekty prawa patentowego; konflikt interesów w badaniach naukowych; fałszowanie wyników badań; społeczna odpowiedzialność naukowca; problemy współczesnego świata; problemy etyki badań naukowych związane z pracą na uczelni: zamknięte środowisko naukowe, mobbing (seksualność, cielesność), mobbing słowny, typy mobbingu specyficzne dla środowiska uczelni, wykorzystywanie przewagi instytucjonalnej: relacja nauczyciel-student, promotor-doktorant, naukowiec doświadczony bardziej-mniej). The specifics of ethics, code ethics vs. situational ethics, the difference between ethical codes and laws, selected provisions of ethical codes; copyright law and the ethical dimension of plagiarism, the ethical foundations of copyright law, copyright law in the field of scientific research, borderline areas: self-plagiarism, cryptocitation, the problem of duplication of publications and "salami slicing", the credibility of research, the norms governing co-authorship of papers; ethical aspects of reviewing publications: Conflict of interest, challenges to the anonymity of reviews, the problem of bias, confidentiality of data, scope of expertise; ethical aspects of patent law; conflict of interest in scientific research; falsification of research results; social responsibility of the scientist; problems of the modern world; problems of research ethics related to work at the university: closed scientific environment, bullying (sexuality, carnality), verbal bullying, types of bullying specific to the university environment, use of institutional advantage: teacher-student relationship, promoter-doctoral student, scientist experienced more-less).
13.	Fale grawitacyjne Gravitational Waves	Równania Einsteina, przybliżenie liniowe, przybliżenie pozanewtonowskie. Matematyka i fizyka fal grawitacyjnych. Astrofizyczne i kosmologiczne źródła promieniowania grawitacyjnego. Postać fali grawitacyjnej dla układów podwójnych. Detekcja fal grawitacyjnych.

		Einstein's equations, linear approximation, post-Newtonian approximation. Mathematics and physics of gravitational waves. Astrophysical and cosmological sources of

		gravitational radiation. Gravitational waveforms of binary systems. Detection of gravitational waves.

14.	Fizyka astrocząstek Astroparticle Physics	Wstęp (Model standardowy (MS) dla cząstek elementarnych. Fermiony I bozony w MS. Jednostki stosowane w astrofizyce i fizyce cząstek elementarnych. Jednostki naturalne). Formalizm Lagrange'a (Wstęp. Pola klasyczne. Lagranżjan dla pól skalarnych. Wielkości zachowywane z funkcji Lagrange'a. Transformacja Lorentza. Niezmienność w globalnych transformacjach cechowania. Twierdzenie Noether). Pola skwantowane (Pola spinorowe i równanie Diraca. Pole skalarne i równanie Kleina-Gordona. Kwantyzacja pola skalarnego. Pola wektorowe i kwantowa elektrodynamika: klasyczne pole elektromagnetyczne, lagranżjan pola elektromagnetycznego, kwantyzacja pola elektromagnetycznego. Operator ewolucji. Twierdzenie Wicka. Diagramy Feynmana. Przekrój Motta i Rutherforda. Fenomenologia oddziaływań słabych. Czas życia neutronu i rozpady beta. Oddziaływania neutralne. Oddziaływania neutrino-elektron. Mechanizm Higgsa łamania symetrii oddziaływania elektrosłabego). Termiczna ewolucja Wszechświata (Fizyka ery leptonowej: regres w termodynamice, termodynamika ultrarelatywistycznych i nierelatywistycznych gazów, anihilacja cząstka-antycząstka i odłączenie neutrin. Nukleosynteza. Rekombinacja: rekombinacja helu, rekombinacja wodoru). Promieniowanie kosmiczne (Pierwotne promieniowanie kosmiczne. Wtórne promieniowanie kosmiczne. Promienie rentgenowskie i gamma. Skład promieniowania kosmicznego. Promieniowanie kosmiczne o bardzo wysokich energiach. Interakcja promieniowania kosmicznego w mikrofalowym promieniowaniem tła). Supernowe i gwiazdy neutronowe (Ewolucja gwiazd i gwiazdy wybuchające jako supernowe. Faza kolapsu. Emisja neutrin. Nukleosynteza w supernowych. Gwiazdy neutronowe jako laboratoria fizyki cząstek elementarnych. Struktura gwiazd neutronowych: Równanie stanu i równowaga grawitacyjna. Chłodzenie gwiazd neutronowych za pomocą neutrin. Chłodzenie aksjonowe gwiazd neutronowych. Fizyka magnetosfery gwiazdy neutronowej: skład, przyspieszanie cząstek, emisja synchrotronowa). Fizyka neutrin (Oddziaływania neutrin z materią, przekrój czynny. Masy neutrin. Neutrina słoneczne. Neutrina z supernowych. Oscylacje neutrin i ich propagacja przez materię. Neutrina atmosferyczne. Teleskopy neutrinowe, efekt Czerenkowa w wodzie i lodzie. Źródła neutrin o wysokich energiach). Introduction (The standard model (SM) of elementary particles. Fermions and bosons in SM. Units in astrophysics and elementary particle physics. Natural units.) Lagrange formalism (Introduction. Classical fields. Lagrangian for scalar fields. Conserved quantities from the Lagrange function. Lorentz-Transformation. Invariance under global gauge transformations. Noether's theorem.) Quantized fields (Spinor fields and Dirac equation. Scalar field and Klein-Gordon equation. Quantization of the scalar field. Vector fields and quantum electrodynamics: the classical electromagnetic field, lagrangian of

		the electromagnetic field, quantization of the electromagnetic field. The evolution operator. Wick's Theorem. Feynman's diagrams. Mott and Rutherford cross-section. The phenomenology of weak interactions. Lifetime of the neutron and beta-decays. Neutral interactions. Neutrino-electron interaction. Higgs mechanism of electroweak symmetry breaking.) Thermal evolution of the Universe (Physics at lepton era: a recourse in thermodynamics, thermodynamics of ultra-relativistic and non-relativistic gases, particle-antiparticle annihilation and neutrino decoupling. Nucleosynthesis. Recombination: helium-recombination, hydrogen-recombination.) Cosmic rays (Primary cosmic rays. Secondary cosmic rays. X-rays and γ-rays. The abundances of cosmic rays. Ultra-high energy cosmic rays. Particle acceleration mechanisms. Interaction with CMB radiation.) Supernovae and neutron stars (Stellar evolution and supernova progenitors. Collapse phase. Neutrino emission. Nucleosynthesis in supernovae. Neutron stars as laboratories for particle physics. Structure of neutron stars: Equation of state and gravitational equilibrium. Neutrino cooling of neutron stars. Axion cooling of neutron stars. Physics of neutron star magnetosphere: composition, particle acceleration, synchrotron emission.) Neutrino physics (Neutrino interactions with matter, crosssection. Neutrino masses. Solar neutrinos. Supernova neutrinos. Neutrino oscillations and propagation through matter. Atmospheric neutrinos. Neutrino telescopes, Cherenkov effect in water and ice. Sources of high-energy neutrinos.)

15.	Fizyka neutrin Neutrino Physics	Historia fizyki neutrin: rozpad beta, hipoteza Pauliego, teoria Fermiego, odkrycie neutrina w latach 1950-tych, odkrycie neutrina mionowego. Neutrina w Modelu Standardowym, procesy z prądem naładowanym i prądem neutralnym. Neutrino Diraca i Majorany. Oddziaływania neutrin z elektronami, hadronami i jądrami. Detekcja neutrin. Masa neutrin, oscylacje neutrin, eksperymenty z oscylacjami neutrin. Parametry oscylacji neutrin. Neutrina słoneczne, strumień neutrin słonecznych, neutrina pp, cykl CNO. Deficyt neutrin słonecznych. Efekt MSW dla neutrin słonecznych. Neutrina z wybuchów supernowych, rozproszone ("diffuse") widmo neutrin, informacje z SN1987. Reliktowe neutrina jako pozostałość po Wielkim Wybuchu. Leptogeneza, pomiar łamania CP w oscylacjach neutrin. Astrofizyczne źródła neutrin wysokoenergetycznych. Teleskopy neutrinowe, eksperymenty IceCube oraz km3net. A short history of neutrino physics: beta-decay, Pauli hypothesis, Fermi theory, discovery of neutrino in 1950s, discovery of muon neutrino. Neutrinos in the Standard Model, charge current and neutral current processes. Dirac and Majorana neutrino. Neutrino interactions with electrons, hadrons and nuclei. Detection of neutrinos. Neutrino mass, neutrino oscillations, neutrino oscillation experiments. Neutrino oscillation parameters. Solar neutrinos, solar neutrino flux, pp neutrinos, CNO cycle. Deficit of solar neutrinos. MSW effect for solar neutrinos. Supernovae neutrinos, diffuse neutrino spectrum, information from SN1987. Relic neutrinos as Big Bang remnants. Leptogenesis, measurement of CP violation in neutrino oscillations. Astrophysical sources of high-energy neutrinos. Neutrino telescopes, IceCub, km3net experiments.

16.	Grawitacja obliczeniowa Computational Gravity	Grawitacja obliczeniowa i wykorzystanie nowoczesnych narzędzi komputerowych (Mathematica i niektóre elementy oprogramowania Cadabra). Różne obliczenia symboliczne i numeryczne w ramach Ogólnej Teorii Względności. Komputerowe rozwiązywanie równań Einsteina (rozwiązanie Friedmanna-Lemaître'a-RobertsonaWalkera, wyprowadzenie rozwiązania Reissnera–Nordströma, itd.). Modele grawitacyjne (zmodyfikowane teorie, wyższe wymiary, stała kosmologiczna, zasada wariacyjna). Sprzężenie grawitacji z teorią skalarną, elektromagnetyzmem. Czarne dziury (orbity w czasoprzestrzeni Schwarzschilda i Kerra, osobliwości i niezmiennik Kretschmanna). Wybrane zjawiska kosmologiczne i astrofizyczne. Computational gravity and the use of modern computer tools (Mathematica and some elements of Cadabra software). Various symbolic and numerical computations within the framework of General Relativity. Computer-assisted solving of Einstein equations (Friedmann–Lemaître–Robertson–Walker, deriving Reissner–Nordström solution, etc.). Gravitational models (modified theories, higher dimensions, cosmological constant, variation principle). Coupling gravity to scalar theory, electromagnetism. Black holes (orbits in Schwarzschild and Kerr spacetimes, black hole singularities and Kretschmann invariant). Selected cosmology and astrophysical phenomena.

17.	Gwiazdy zmienne Variable Stars	Kryteria używane do klasyfikacji gwiazd zmiennych. Historia odkrywania gwiazd zmiennych, katalogi gwiazd zmiennych. Ogólny podział gwiazd zmiennych, gwiazdy wykazujące jednocześnie różne typy zmienności. Rodzaje cefeid, wykorzystanie cefeid jako świec standardowych, metoda Baade'ego-Wesselinka, progresja Hertzsprunga. Gwiazdy pulsujące głównego pasa niestabilności. Gwiazdy pulsujące ciągu głównego, zmienne typu Beta Cephei i SPB. Zwarte gwiazdy pulsujące (białe karły, gorące podkarły). Pulsacje na gałęzi czerwonych olbrzymów. Słońce jako gwiazda pulsująca, pulsacje typu słonecznego, ich natura i metody detekcji. Gwiazdy podwójne: kryteria klasyfikacji, efekty bliskości i efekty pływowe. Wyznaczanie parametrów składników układów podwójnych (w tym mas, promieni i wieku). Gwiazdy kataklizmiczne i prekataklizmiczne, gwiazdy nowe. Gwiazdy wykazujące zmienność rotacyjną, pulsary. Zjawiska zaćmieniowe w układach gwiazda-inny obiekt (np. gwiazda-planeta). Mikrosoczewkowanie, sposoby detekcji i wykorzystanie. Masowe fotometryczne przeglądy nieba – motywacje i przykłady. Metody detekcji zmienności, automatyczna klasyfikacja gwiazd zmiennych. Criteria used to classify variable stars. History of the discovery of variable stars, catalogues of variable stars. General classification of variable stars, stars exhibiting simultaneously different types of variability. Types of Cepheids, use of Cepheids as standard candles, Baade-Wesselink method, Hertzsprung progression. Pulsating stars in the classical instability strip. Pulsating stars of the main sequence, Beta Cephei and SPBtype variables. Compact pulsating stars (white dwarfs, hot sub-dwarfs). Pulsating types of red giants. The Sun as a pulsating star, solar-type oscillations, their nature and detection methods. Binary stars: classification criteria, proximity effects and tidal effects.

		Determination of the parameters of the components of binary systems (including masses, radii and ages). Cataclysmic and pre-cataclysmic stars, novae. Stars exhibiting rotational variability, pulsars. Eclipsing phenomena in star-other object (e.g. star-planet) systems. Microlensing, detection methods and use. Massive photometric sky surveys – motivations and examples. Variability detection methods, automatic classification of variable stars.

18.	Gwiazdy zwarte Compact Stars	Obserwacje gwiazd zwartych (GZ). Własności GZ. Równanie stanu dla skorupy GZ. Gęsta materia jądrowa i materia kwarkowa we wnętrzu GZ. Struktura GZ w opisie ogólnej teorii względności. Procesy neutrinowe i chłodzenie GZ. Narodziny GZ: supernowe i gwiazdy proto-neutronowe. Emisja fal grawitacyjnych i formowanie się czarnej dziury. Badanie materii GZ w laboratoriach ze zderzaczami ciężkich jonów. Observations of Compact Stars (CS). CS properties. Equation of state for the CS crust Dense nuclear matter and quark matter in the CS interior. General relativistic CS structure. Neutrino processes and CS cooling. CS at birth: Supernovae and protoneutron stars. Gravitational wave signals and black hole formation. Exploring CS matter in heavyion collision laboratories.
19.	Język angielski (poziom B2+) English (B2+ level)	Zasoby leksykalno-gramatyczne języka angielskiego odpowiadające biegłości na poziomie B2+ Europejskiego Systemu Opisu Kształcenia Językowego. Tematyka z zakresu nauk ścisłych, w szczególności fizyki i astronomii. Specjalistyczne słownictwo i struktury gramatyczne używane w środowisku akademickim, umożliwiające rozumienie i analizę fachowych tekstów i wykładów oraz opisywanie i prezentowanie zagadnień astrofizycznych. Vocabulary and grammar resources of the English language corresponding to proficiency at B2+ level of the Common European Framework of Reference for Languages. Topics within the field of sciences, in particular physics and astronomy. Specialized vocabulary and grammar structures used in academic environment, enabling the student to understand and analyse professional texts/lectures, as well as to describe and present astrophysical issues.
20.	Język polski dla cudzoziemców (poziom A1) Polish for Foreigners (A1 level)	Zasób słownictwa oraz zasady gramatyczne konieczne do osiągnięcia biegłości na poziomie A1 Europejskiego Systemu Opisu Kształcenia Językowego. Tematyka związana z życiem codziennym. Vocabulary and grammar rules necessary to achieve fluency at level A1 of the Common European Framework of Reference for Languages. Topics related to everyday life.
21.	Kosmologia teoretyczna i obserwacyjna	Historia kosmologii. Kosmologia newtonowska, równania Friedmanna i wszechświat zdominowany przez materię. Relatywistyczne uogólnienie równań Friedmanna: wszechświat zdominowany przez promieniowanie, stała kosmologiczna, ogólne równania stanu. Propagacja światła w rozszerzającym się wszechświecie: przesunięcie ku czerwieni i odle-

	Theoretical and Observational Cosmology	głość kątowa. Wszechświat De Sittera i inflacja kosmologiczna. Niejednorodny wszechświat, ewolucja niestabilności w teorii Newtona (ilościowo). Relatywistyczna teoria niestabilności grawitacyjnych. Fluktuacje w scenariuszu inflacyjnym i fluktuacje pierwotne. Kosmiczne tło mikrofalowe i parametry kosmologiczne. Ciemna materia i powstawanie się struktur. History of cosmology. Newtonian cosmology, Friedmann equations and matter dominated universe. Relativistic generalization of Friedmann equations: radiation dominated universe, cosmological constant, general equations of state. Light propagation in expanding universe: red shift and angular distance. De Sitter universe and cosmological inflation. Inhomogeneous universe, evolution of instabilities in Newtonian theory (quantitative). Relativistic theory of gravitational instabilities. Fluctuations in inflationary scenario and primordial fluctuations. Cosmic Microwave Background and cosmological parameters. Dark matter and structure formation.
22.	Metody obliczeniowe I Computational Methods I	Operacje podstawowe. Równania różniczkowe zwyczajne. Problemy wartości brzegowych. Funkcje specjalne, transformacje Fouriera i kwadratura Gaussa. Basic operations. Ordinary differential equations. Boundary value problems. Special functions, Fourier transformation and Gauss quadrature.
23.	Metody obliczeniowe II Computational Methods II	Liczby losowe i techniki Monte Carlo. Równania różniczkowe cząstkowe. Metody cząsteczkowe, hydrodynamika cząstek rozmytych. Random numbers and Monte Carlo techniques. Partial differential equations. Particle code problems and smoothed particle hydrodynamics.

24.	Nierównowagowa fizyka statystyczna Non-Equilibrium Statistical Physics	Podstawy teorii kinetycznej (Funkcja rozkładu, równowaga szczegółowa. Równanie kinetyczne Boltzmanna. Twierdzenie H, przejście do hydrodynamiki. Gazy słabo niejednorodne. Współczynniki transportu: przewodnictwo cieplne, lepkość ścinania i objętościowa. Zależności Osangera. Dynamiczne wyprowadzenie RKB z hierarchii Bogoliubowa. Transport przez promieniowanie w atmosferach gwiazdowych jako proces kinetyczny. Przewodnictwo cieplne i lepkość ścinania materii gwiazdowej w reżimie niezdegenerowanym). Procesy dyfuzji (Równanie Fokkera-Plancka. Dyfuzja ciężkich cząstek w gazie, jonizacja i rekombinacja. Nieprzezroczystości plazmy wieloskładnikowej w gwiazdach). Układy zdegenerowane (Ciecze kwantowe. Kwaziczą̨stki i ich kinetyka. Zastosowania: pochłanianie dźwięku w gazach Fermiego, transport w metalach i ciekłym helu. Zastosowania do białych karłów: przewodnictwo elektryczne gazu elektronowego w reżimie zdegenerowanym. Zastosowania do gwiazd neutronowych: lepkość ścinania i przewodnictwo cieplne materii neutronowej w reżimie zdegenerowanym z teorii cieczy Fermiego). Metody zaawansowane (Funkcje Greena w kinetyce, podejście RTF. Metody operatorów projekcji. Wzory Wyrażenia dla współczynników transportu, energia własna elektronu i wygaszanie Landaua w białych karłach. Obliczanie współczynników transportu materii kwarkowej w gwiazdach neutronowych z wyrażeń Kubo).

		Basics of kinetic theory (Distribution function, detailed balance, Boltzmann kinetic equation. The H-theorem, transition to hydrodynamics. Weakly inhomogeneous gases. Transport coefficients: thermal conduction, shear, and bulk viscosity Onsager's relations. Dynamical derivation of the BKE from Bogolyubov hierarchy. Radiative transport in stellar atmospheres as a kinetic process. Thermal conductivity and shear viscosity of stellar matter in the non-degenerate regime.) Diffusion processes (FokkerPlanck equation. Diffusion of heavy particles in a gas, ionization, and recombination. Stellar opacities in multi-component plasma.) Degenerate systems (Quantum liquids, quasiparticles, and their kinetics. Applications: sound attenuation in Fermi gases, transport in metals and liquid helium. Applications to white dwarfs: electrical conduction of electron gas in the degenerate regime. Applications to neutron stars: shear viscosity and thermal conductivity of neutron matter in the degenerate regime from Fermi-liquid theory.) Advanced methods (Green's functions methods in kinetics, real-time contour formulation of the theory. Projection operator methods, Kubo formula for transport coefficients Electron self-energy and Landau damping in white dwarf stars. Computation of transport coefficient of quark matter in neutron stars from Kubo formulas.)

25.	Ogólna teoria względności i grawitacja General Relativity and Gravitation	Szczególna Teoria Względności: czasoprzestrzeń Minkowskiego, transformacje Lorentza, obserwatorzy przyspieszający. Zasada równoważności Einsteina. Rachunek tensorowy. Rozmaitości, pola tensorowe. Geometria afiniczna i metryczna: koneksja, transport równoległy, metryka, geodezyjne, krzywizna. Tensor energii-pędu. Równania Einsteina. Granica newtonowska. Testy Ogólnej Teorii Względności. Geometria Schwarzschilda, czarne dziury, równowaga hydrostatyczna gwiazd. Kosmologia: równania Friedmanna, przyspieszająca ekspansja, ciemna energia, ciemna materia. Fale grawitacyjne. Special Theory of Relativity: Minkowski spacetime, Lorentz transformations, accelerated observers. Einstein's Equivalence Principle. Tensor calculus. Manifolds and tensor fields. Affine and metric geometry: conncection, parallel transport, metric, geodesics, curvature. Energy-momentum tensor. Einstein's equations. Newtonian limit. Tests of General Relativity. Schwarzschild's geometry, black holes, hydrostatic equilibrium of stars. Cosmology: Friedmann's equations. accelerated expansion, dark energy, dark matter. Gravitational waves.
26.	Praca magisterska i egzamin magisterski Master Thesis and Master's Degree Examination	Opracowanie i złożenie pracy magisterskiej przygotowanej zgodnie z wymaganiami stawianymi na Wydziale Fizyki i Astronomii UWr pracom dyplomowym na poziomie studiów II stopnia. Po uzyskaniu pozytywnej oceny pracy dyplomowej – zdanie egzaminu magisterskiego na zasadach określonych w warunkach ukończenia studiów na kierunku Astrophysics. Writing and submitting the Master thesis, prepared in accordance with the requirements set by the Faculty of Physics and Astronomy of the University of Wrocław for dissertations at the level of second-cycle studies. Upon a positive assessment of the thesis – passing the master's exam on the terms set out in the conditions for graduating in the field of Astrophysics.

27.	Pracownia aktywności magnetycznej Słońca i gwiazd Laboratory of Magnetic Activity of the Sun and Stars	Metody kalibracji obserwacji spektroskopowych rozbłysków i protuberancji słonecznych prowadzonych w zakresie optycznym. Ultrafioletowa spektroskopia i fotometria aktywnych zjawisk słonecznych. Czasowa ewolucja emisji rozbłysków gwiazdowych i słonecznych. Strategie i metody modelowania rozbłysków słonecznych i gwiazdowych. Jednowymiarowe modele aktywnej atmosfery Słońca i gwiazd. Rozkłady elektronów nietermicznych w pętli rozbłyskowej (Fokker-Planck). Diagnostyka plam gwiazdowych na podstawie analizy modulacji fotometrycznych. Analiza cykli aktywności Słońca i gwiazd. Detekcja rozbłysków gwiazdowych w masowych przeglądach nieba. Calibration methods for spectroscopic observations of solar flares and prominences obtained in the optical range. Ultraviolet spectroscopy and photometry of active solar phenomena. Temporal evolution of stellar and solar flare emissions. Strategies and methods used in the modelling of solar and stellar flares. One-dimensional models of the active atmosphere of the Sun and stars. Distributions of non-thermal electrons in the flaring loop (Fokker-Planck). Diagnostics of star spots based on the photometric modulations. Analysis of solar and stellar activity cycles. Detection of stellar flares in global surveys of the sky.
28.	Pracownia astrofizyki teoretycznej Laboratory of Theoretical Astrophysics	Zapoznanie z programem komputerowym MESA, służącym do modelowania ewolucji gwiazdowej. Opis możliwości i ograniczeń programu. Kalibracja parametrów numerycznych niezbędnych do otrzymania wyników mających sens fizyczny. Nauka liczenia modeli różnych obiektów astrofizycznych: obłoki molekularne w trakcie kontrakcji na ciąg główny, gwiazdy ciągu głównego, czerwone olbrzymy, gwiazdy AGB, gwiazdy na gałęzi horyzontalnej, białe karły, czarne dziury. Analiza procesów fizycznych występujących w różnych fazach ewolucji gwiazd (reakcje jądrowe, konwekcja, dyfuzja pierwiastków chemicznych, transport energii, utrata masy, mieszanie materii, transport momentu pędu). Modelowanie ewolucji układów podwójnych z wymianą masy pomiędzy składnikami. Introduction to MESA stellar evolution code. Description of the possibilities and limitations of the program. Calibration of numerical parameters in order to obtain results that make physical sense. Learning how to model different astrophysical objects: molecular clouds contracting on the main sequence, main sequence stars, red giants, AGB stars, horizontal branch stars, white dwarfs, black holes. Analysis of physical processes in different phases of stellar evolution (nuclear reactions, convection, diffusion of chemical elements, energy transport, mass loss, mixing of matter, angular momentum transport). Modeling the evolution of binary systems with mass exchange between the components.

29.	Pracownia fotometrii CCD	Student poznaje zastosowanie kamery CCD do obserwacji fotometrycznych, zapoznaje się z własnościami różnych typów obrazów uzyskiwanych przez kamerę, przeprowadza

	Laboratory of CCD Photometry	redukcję i kalibrację obserwacji fotometrycznych, konstruuje i interpretuje wykresy diagnostyczne kolor-jasność i kolor-kolor, przeprowadza analizy wyników obserwacji fotometrycznych do badania własności fizycznych gwiazd, porównuje uzyskane wyniki z literatura naukową, wyciąga wnioski z wykonanej analizy. The student learns about the use of the CCD camera for photometric observations, gets acquainted with the properties of various types of images obtained by the camera, performs reduction and calibration of photometric observations, constructs and interprets color-brightness and color-color diagnostic diagrams, analyzes the results of photometric observations and derives physical properties of stars, compares the obtained results with scientific literature, draws conclusions from the performed analysis.
30.	Pracownia pulsacji gwiazdowych Laboratory of Stellar Pusations	Zapoznanie z programami komputerowymi służącymi do liczenia pulsacji gwiazd różnych typów. Poznanie metod identyfikacji modów i zapoznanie się kodami, które taką identyfikację umożliwiają. Zapoznanie się metodami konstruowania modeli sejsmicznych i ograniczania wolnych parametrów modeli budowy i ewolucji gwiazdowych. Poznanie metod numerycznych stosowanych w używanych programach komputerowych i zrozumienie ich ograniczeń. Learning how to use computer programs for computing the pulsations of stars of various types. Getting to know the methods of identifying modes and getting to know the codes that enable such identification. Learning the methods of constructing seismic models and constraining the free parameters of the models of stellar structure and evolution. Getting to know the numerical methods used in the computer programs and understanding their limitations.

31.	Pracownia spektroskopii gwiazdowej Laboratory of Stellar Spectroscopy	Student poznaje zastosowanie kamery CCD do obserwacji spektroskopowych, zapoznaje się z własnościami różnych typów obrazów uzyskiwanych przez kamerę, przeprowadza redukcję i kalibrację obserwacji spektroskopowych, wyznacza prędkości radialne gwiazd pojedynczych i podwójnych, konstruuje modele atmosfer gwiazdowych, oblicza widmo syntetyczne, wyznacza parametry atmosferyczne gwiazd, wyznacza rzutowane prędkości rotacji gwiazd, porównuje uzyskane wyniki z literatura naukową, wyciąga wnioski z wykonanej analizy. The student learns about the use of the CCD camera for spectroscopic observations, gets acquainted with the properties of various types of images obtained by the camera, performs reduction and calibration of spectroscopic observations, determines the radial velocities of single and double stars, constructs models of stellar atmospheres, calculates the synthetic spectrum, determines atmospheric parameters stars, determines the projected stellar rotation velocities, compares the obtained results with the scientific literature, draws conclusions from the performed analysis.
32.	Projekt magisterski I/II	Student realizuje projekt magisterski I/II w jednej z grup badawczych wydziału, zgodnie z wybranym tematem pracy magisterskiej. Obejmuje to przegląd literatury z zakresu

	Master's Degree Project I/II	zagadnień poruszanych w pracy magisterskiej, opanowanie i doskonalenie niezbędnych technik i narzędzi badawczych, przeprowadzenie badań naukowych stanowiących podstawę przygotowywanej pracy magisterskiej oraz analizę, opracowanie, ocenę i interpretację uzyskanych wyników. Student carries out the Master's Degree Project I/II in one of the research groups at the Faculty, in accordance with the chosen topic of his/her Master thesis. This includes the review of literature and other sources related to the subject of Master thesis, mastering the necessary research tools and techniques, carrying out scientific research constituting the basis for Master thesis, as well as analyzing, elaborating, evaluating and interpreting the obtained results.

33.	Przedsiębiorczość i ochrona własności intelektualnej Entrepreneurship and Intellectual Property Protection	Zapoznanie ze światowym rynkiem wysokich technologii. Ocena umiejętności biznesowych. Selekcja pomysłu biznesowego z obszaru wysokich technologii. Rynkowa ocena pomysłu/technologii. Badania konkurencyjności rynku. Metody ochrony własności intelektualnej. Pozyskiwanie kapitału na działalność innowacyjną. Kolejne etapy wprowadzenia technologii na rynek. Rejestracja i wprowadzenie podmiotu biznesowego na rynek. Introduction to a global high technology market. Assessment of individual business skills. Selection of a new business idea from a high technology area. Market evaluation of a new idea/technology. Study of market competitiveness. Possible methods of IP assessment and protection. Raising capital for innovative activity/business. Successive stages of the introduction of a technology to the market. Registration and introduction of a new entity into the market.
34.	Pulsacje gwiazdowe Stellar Pulsations	Podstawowe pojęcia i zagadnienia matematyczne: mod oscylacji, pulsacje radialne i nieradialne, funkcje kuliste, podstawowe układy współrzędnych i transformacje pomiędzy nimi, zaburzenie Eulera i Lagrange'a, zaburzenie elementu powierzchni i jego normalnej. Typy gwiazd pulsujacych: obszary niestabilności pulsacyjnej na diagramie HR, podstawowe wlasności różnych typów. Własności oscylacji: czestotliwości Lamba i BruntaVaisala, mody akustyczne i grawitacyjne, diagramy propagacji, warunki pułapkowania oscylacji, stała pulsacji, zależność okres-jasność. Matematyczny opis pulsacji: ogólne równania hydrodynamiki, liniowe nieradialne pulsacje nieadiabatyczne, warunki brzegowe, przybliżenie adiabatyczne i quasi-adiabatyczne, zagadnienie typu Sturma-Liouville'a, zasada wariacyjna, asymptotyczne relacje dyspersyjne. Mechanizm wzbudzania pulsacji: mechanizm zaworu Eddingtona, mechanizm samowzbudzania (nieprzezroczystości), całka pracy, stochastyczne wzbudzanie przez turbulentną konwekcję. Wykrywanie gwiazd pulsujacych: metody fourierowskie, metody statystyczne, analiza falkowa. Obserwowane charakterystyki i identyfikacja modów pulsacji: zmiany jasności gwiazdy pulsujacej, zmiany predkości radialnej, modelowanie zmian profili linii widmowych, metody identyfikacji modów pulsacji z fotometrii i spektroskopii. Podstawowe efekty rotacji:

		adwekcja, rozszczepienie rotacyjne modów, siła Coriolisa, stała Ledoux, efekty umiarkowanej rotacji, siła odśrodkowa. Heliosejsmologia i asterosejsmologia: model sejsmiczny gwiazdy, osiągnięcia heliosejsmologii, przykłady modelowania asterosejsmicznego. Basic concepts and mathematical issues: oscillation mode, radial and non-radial pulsations, spherical harmonics, basic coordinate systems and transformations between them, the Eulerian and Lagrangian description, perturbation of the surface element and its normal. Types of pulsating variables: stellar pulsations across the Hertzsprung-Russell diagram, instability domains, basic properties of different types. Oscillation properties: the Lamb and Brunt-Vaisala frequency, acoustic and gravitational modes, propagation diagrams, conditions for trapping of modes, pulsation constant, period-luminosity relation. Mathematical description of pulsations: general equations of hydrodynamics, linear non-radial non-adiabatic pulsations, boundary conditions, adiabatic and quasiadiabatic approximation, Sturm-Liouville type problem, variational principle, asymptotic dispersion relations. Excitation mechanism: Eddington valve mechanism, self-excitation (opacity) mechanism, work integral, stochastic excitation by turbulent convection. Detection of pulsating stars: Fourier methods, statistical methods, wavelet analysis. Observed characteristics and identification of pulsation modes: light variations of a pulsating star, changes of radial velocity, modelling of line profile variations, methods of the mode identification from photometry and spectroscopy. Basic effects of rotation: advection, rotational splitting of modes, Coriolis force, Ledoux constant, effects of moderate rotation, centrifugal force. Helio- and Asteroseismology: seismic model of a star, the most important achievements of helioseismology, examples of asteroseismic modelling.

35.	Seminarium magisterskie I/II Master's Seminar I/II	Prezentacja i dyskusja zagadnień z zakresu najnowszych odkryć, najważniejszych problemów i głównych kierunków badań w różnych obszarach współczesnej astrofizyki, problematyki badań naukowych z zakresu astrofizyki prowadzonych na Wydziale Fizyki i Astronomii UWr oraz tematyki prac magisterskich realizowanych przez uczestników seminarium. Prezentacja i omówienie wstępnych lub oczekiwanych wyników pracy naukowej magistrantów. Problematyka właściwego korzystania ze źródeł, krytycznej analizy pozyskiwanych lub przekazywanych treści, sposobów i technik prezentacji zagadnień, przekazu ze zrozumieniem, rzeczowej argumentacji, poprawności wnioskowania oraz prowadzenia dyskusji naukowej. Presentation and discussion of recent achievements, major problems and main research trends in different areas of modern astrophysics, the scope of scientific research conducted at the Faculty of Physics and Astronomy of the University of Wrocław in the field of astrophysics, and the subjects of Master theses prepared by the students. Presentation and discussion of the initial or expected results of the students' scientific work. The issues
		of proper use of sources, critical analysis of their content, presentation rules and techniques, the ability to transfer a message, correct reasoning, and conducting scientific discussion based on factual argumentation.
36.	Szkolenie wstępne z BHP i ochrony p-poż. Initial training on OHS and fire protection	Podstawowe pojęcia dotyczące bhp. Czynniki szkodliwe dla zdrowia lub uciążliwe występujące podczas zajęć studenckich. Akty prawne dotyczące bhp w szkołach wyższych. Postępowanie w razie zaistnienia wypadku. Podstawowe zasady udzielania pierwszej pomocy. Zagrożenia bhp i p-poż. występujące w miejscu nauki. Organizacja ochrony przeciwpożarowej. Przyczyny powstawania i rozprzestrzeniania się pożarów. Podstawowe obowiązki i zadania wynikające z przepisów w zakresie zapobiegania pożarom i na wypadek powstania pożaru. Zasady stosowania i umiejętności posługiwania się sprzętem i urządzeniami pożarniczymi. Basic concepts of occupational safety and health (OSH). Harmful and oppressive factors that can occur during classes. Legislation on health and safety at the universities. What to do in the case of an accident. Basic rules of first aid. OHS and fire protection hazards in the place of learning. Organization of fire protection. Causes and spreading of fires. Basic duties and tasks resulting from fire prevention regulations. What to do in the event of fire. Rules of using the fire-fighting equipment and devices.

37.	Uczenie maszynowe Machine Learning	Środowiska językowe uczenia maszynowego (PyTorch, TensorFlow, Keras, SciKit-Learn, NumPy). Regresja liniowa i nieliniowa, dopasowanie wielomianami oraz problem klasyfikacji. Balans między obciążeniem a wariancją. Radialne funkcje bazowe. Sieci neuronowe. Funkcje aktywacji, algorytmy optymalizacji. Walidacja krzyżowa, regularyzacja, bootstrap. Splotowe sieci neuronowe i wizualna analiza danych. Normalizacja wsadowa, Dropout. Wstępnie wytrenowane modele. Uczenie z przeniesieniem. Wykrywanie obiektów przez sieci typu U-Net. Rekursywne sieci neuronowe w analizach szeregów czasowych. Generatywne sieci neuronowe. Machine learning language environments (PyTorch, TensorFlow, Keras, SciKit-Learn, NumPy). Linear and nonlinear regression, polynomial curve fitting, and classification. Bias-variance trade-off. Radial basis functions. Neural networks. Activation functions, optimization algorithms. Cross-validation, regularization, bootstrap. Convolutional neural networks and visual data analysis. Batch-normalization, Dropout. Pre-trained models. Transfer learning. Detection of the objects by U-Net type networks. Recurrent neural networks in series analyses. Generative adversarial neural networks.
38.	Układy planetarne i astrobiologia Planetary Systems and Astrobiology	Definicje życia (biologiczna, redukcjonistyczna, cybernetyczna i inne). Materia organiczna we Wszechświecie (synteza cząstek organicznych na Ziemi, pozaziemska materia organiczna na Ziemi, powstawanie układów biologicznych, powstawanie organizmów żywych). Warunki sprzyjające powstaniu i ewolucji organizmów żywych (przyjazne planety, księżyce planet, ekosfera układu planetarnego, ekosfera galaktyczna). Życie w Układzie Słonecznym: planety (energia, materia organiczna, woda). Życie w Układzie Słonecz-

		nym: księżyce planet (księżyce Jowisza, księżyce Saturna). Życie w warunkach ekstremalnych (ekstremofile). Planety pozasłoneczne: metody detekcji. Charakterystyka układów pozasłonecznych (przedstawienie i dyskusja najnowszych wyników). Atmosfery planet pozasłonecznych. Metody poszukiwania życia na planetach pozasłonecznych (biosygnatury). Definitions of life (biological, reductionist, cybernetic and others). Organic matter in the Universe (synthesis of organic particles on Earth, extraterrestrial organic matter on Earth, formation of biological systems, formation of living organisms). Conditions conducive to the emergence and evolution of living organisms (friendly planets and moons of planets, habitable zone of a planetary system, galactic habitable zone). Life in the solar system: planets (energy, organic matter, water). Life in the solar system: Jupiter's moons, Saturn's moons. Living in extreme conditions (extremophiles). Extrasolar planets: methods of detection. Characteristics of extrasolar systems (presentation and discussion of the latest results). Atmospheres of exoplanets. Methods of searching for life on extrasolar planets (biosignatures).
39.	Współczesne trendy w astrofizyce I/II/III/IV Modern Trends in Astrophysics I/II/III/IV	Prezentacja i dyskusja najnowszych osiągnięć i głównych kierunki badań we współczesnej astrofizyce, obejmująca również wpływ odkryć astroficznych na nasze rozumienie świata i postęp nauki oraz ich znaczenie cywilizacyjne. Presentation and discussion of recent achievements and main research trends in the field of modern astrophysics, including the impact of astrophysics discoveries on our understanding of the world and the progress of science, as well as their civilizational significance.

40.	Wstęp do fizyki Słońca Introduction to Solar Physics	Budowa wewnętrzna Słońca, rozkład parametrów fizycznych i składu chemicznego plazmy słonecznej, problem neutrin. Oddziaływanie pola magnetycznego z plazmą, podstawy magnetohydrodynamiki zjawisk słonecznych, dynamo słoneczne. Aktywność Słońca w krótkich i długich skalach czasowych. Zjawiska spokojne i aktywne w chromosferze i koronie słonecznej. Zjawiska eruptywne na Słońcu i ich wpływ na Ziemię, pogoda kosmiczna. Wiatr słoneczny. Współczesne obserwatoria naziemne i kosmiczne. Techniki obserwacyjne. Obrazowanie i spektroskopia w różnych długościach fali. Solar interior, distribution of physical parameters and chemical composition of solar plasma, the neutrino problem. Interaction of magnetic field with plasma, basics of magnetohydrodynamics of the solar phenomena, solar dynamo. Activity of the Sun; short and long term solar variability. Solar atmosphere. Quiescent and active structures in the solar chromosphere and corona. Solar eruptions and ejections. Sun-Earth connections. Space Weather. Solar wind. Modern space and ground-based solar telescopes and observing techniques. Multi-wavelength imaging and spectroscopic methods.

41.	Wybrane zagadnienia z astrofizyki I/II/III/IV Selected Topics in Astrophysics I/II/III/IV	Wybrane zagadnienia z zakresu astrofizyki, w tym ostatnie odkrycia i istotne problemy badawcze. Prezentacja kierunków badań astrofizycznych w innych ośrodkach, omówienie stosowanych tam metod i technik badawczych oraz najważniejszych osiągnięć. Selected issues in the field of astrophysics, including recent discoveries and key research problems. Presentation of the directions of astrophysical research in other scientific centres, discussion of research methods and techniques used there, as well as their most important achievements.
42.	Wykład monograficzny Monografic Lecture	Zaawansowane treści specjalistyczne z zakresu szczegółowych zagadnień związanych z kierunkiem studiów, z uwzględnieniem proponowanych tematów prac magisterskich. Wykłady mają charakter autorski, a ich tematyka ściśle wiąże się z aktualną problematyką badań naukowych prowadzonych na Wydziale Fizyki i Astronomii UWr i bierze pod uwagę specyficzne zainteresowania naukowe studentów w danym cyklu kształcenia. Specific advanced issues related to the field of study, taking into account the proposed topics of master theses. Their original and regularly updated content closely reflects the current research areas at the Faculty of Physics and Astronomy, being also adjusted to the particular fields of scientific interest of the students.

43.	Wykład specjalistyczny Specialized Lecture	Zaawansowane treści specjalistyczne z zakresu szczegółowych zagadnień związanych z kierunkiem studiów, z uwzględnieniem proponowanych tematów prac magisterskich. Wykłady mają charakter autorski, a ich tematyka ściśle wiąże się z aktualną problematyką badań naukowych prowadzonych na Wydziale Fizyki i Astronomii UWr i bierze pod uwagę specyficzne zainteresowania naukowe studentów w danym cyklu kształcenia. Wykładowi towarzyszą zajęcia praktyczne w formule dostosowanej do jego specyfiki. Specific advanced issues related to the field of study, taking into account the proposed topics of master theses. Their original and regularly updated content closely reflects the current research areas at the Faculty of Physics and Astronomy, being also adjusted to the particular fields of scientific interest of the students. Lectures are accompanied by classes of a form adequate to the course topic.
44.	Zaawansowana fizyka Słońca i pogoda kosmiczna Advanced Solar Physics and Space Weather	Atmosfera słoneczna: Podstawowe informacje o atmosferze słonecznej i widmie słonecznym. Równanie transferu promieniowania. Transport promienisty w atmosferze słonecznej. Przekrój czynny dla absorpcji w procesach związano-związanych. Profile linii widmowych. Lokalna równowaga termodynamiczna (LTE). Równowaga w procesach wzbudzenia i jonizacji. Równanie Sahy. Linie widmowe w lokalnej równowadze termodynamicznej. Relacja Eddingtona-Barbiera. Funkcja Plancka. Atmosfera szara. Pociemnienie brzegowe atmosfery szarej w przybliżeniu Eddingtona. Spektroskopia słoneczna: Linie widmowe i continua. Poszerzenie linii widmowych. Efekty Zeemana i Starka. Widmo ultra-

		fioletowe i rentgenowskie Słońca. Mechanizmy emisji radiowej Słońca. Procesy dynamiczne w atmosferze Słońca: Fotosfera słoneczna. Granulacja i supergranulacja słoneczna jako przykład ruchu konwektywnego. Kryterium Schwarzschilda dla niestabilności konwektywnej. Obserwacje oscylacji Słońca. Równania hydrodynamiki. Fale. Podstawowe założenia stosowane przy konstrukcji modeli fotosfery. Wnętrze i magnetyzm słoneczny: Wnętrze Słońca. Dynamo słoneczne. Rotacja słoneczna. Obserwacje słonecznego pola magnetycznego. Przegląd głównych przejawów aktywności magnetycznej Słońca: plamy słoneczne, rozbłyski, koronalne wyrzuty masy. Równowaga hydrostatyczna. Podstawowe równania magnetohydrodynamiki (MHD). Dynamika koronalnych pętli magnetycznych i dziur koronalnych. Elementy heliosejsmologii. Zewnętrzne warstwy atmosfery słonecznej: Chromosfera i spikule. Region przejściowy. Emisja promieniowania UV i rentgenowskiego atmosfery słonecznej. Słońce w milimetrowych długościach fal (ALMA). Korona spokojnego Słońca – obserwacje i modele. Dziury koronalne i dżety. Modelowanie słonecznej fotosfery, chromosfery i korony. Założenia i metody braku lokalnej równowagi termodynamicznej (NLTE). Konstrukcja semiempirycznych modeli atmosfery słonecznej. Temperaturowe minimum. Ogrzewanie górnych warstw atmosfery słonecznej. Aktywność słoneczna: Obserwacje aktywności słonecznej. Obszary aktywne. Struktura plam słonecznych. Spokojne i aktywne protuberancje. Rozbłyski słoneczne i koronalne wyrzuty masy (CME). Erupcje protuberancji słonecznych. Pętle rozbłyskowe. Nanorozbłyski i inne drobnoskalowe zjawiska energetyczne w atmosferze słonecznej. Cykle aktywności słonecznej. Zjawiska aktywne w różnych fazach cyklu. Liczba plamowa i inne wskaźniki aktywności. Długookresowa ewolucja aktywności słonecznej. Związki Słońce-Ziemia i pogoda kosmiczna: Wprowadzenie do procesów fizycznych określających związki Słońce-Ziemia. Wiatr słoneczny. Ziemska magnetosfera i jonosfera. Wpływ aktywności słonecznej na atmosferę ziemską i magnetosferę. Pogoda kosmiczna. Struktura heliosfery. Aktywność geomagnetyczna i burze magnetyczne. Indeksy geomagnetyczne. Emisja radiowa Słońca. Solar atmosphere: Introduction to the solar atmosphere and solar spectrum. Radiative transfer equation. Radiative transfer in the solar atmosphere. Absorption cross section for bound-bound processes. Spectral line profiles. Local Thermodynamic Equilibrium (LTE). Excitation and ionization equilibria. Saha equation. Spectral lines in local thermodynamic equilibrium. The Eddington-Barbier Relation. The Planck Function. The Gray Atmosphere. Gray Limb Darkening in the Eddington Approximation. Solar spectroscopy: Spectral lines and continua. Line broadening. Zeeman and Stark effects. UV and X-ray spectrum of the Sun. Mechanisms of solar radio emission. Dynamical processes in the solar atmosphere: Solar photosphere. Solar granulation and

		supergranulation as an example of convective motion. Schwarzschild criterion for convective instability. Observations of solar oscillations. Hydrodynamic equations. Waves. Basic assumptions used in the construction of the photosphere models. Solar interior and magnetism: Solar interior. Solar dynamo. Solar rotation. Observations of

		solar magnetic field. Overview of main solar magnetic activity phenomena: sunspots, flares, coronal mass ejections. Hydrostatic equilibrium. The basic equations of magnetohydrodynamics (MHD). Dynamics of coronal magnetic loops and Holes. Elements of helioseismology. Outer layers of the solar atmosphere: Chromosphere and spicules. Transition region. UV and X-ray emission of the solar atmosphere. The Sun in millimeter wavelengths (ALMA). Quiet-Sun corona – observations and models. Coronal holes and jets. Modelling of the solar photosphere, chromosphere and corona. Non-Local Thermodynamic Equilibrium (NLTE) methods. Construction of semiempirical models. Temperature minimum. Heating of the upper solar atmosphere. Solar activity: Observations of solar activity. Active regions. Structure of sunspots. Quiescent and active prominences. Solar flares and Coronal Mass Ejections (CME). Eruptions of solar prominences. Flare loops. Nanoflares and other small scale energetic phenomena in the solar atmosphere. Solar activity cycles. Activity behavior over the solar cycle. The Sunspot Number and other indices of activity. Long-term evolution of solar activity. SunEarth connections and space weather: Introduction to Sun-Earth connections. Solar wind. Earth magnetosphere and ionosphere. Effects of solar activity on Earth atmosphere and magnetosphere. Space weather. Structure of the heliosphere. Geomagnetic activity and magnetic storms. Geomagnetic indices. Radio emission of the Sun.

45.	Zaawansowana fizyka statystyczna Advanced Statistical Physics	Fizyka statystyczna oddziałujących gazów (Sformułowanie Gibbsa termodynamiki stanu równowagowego oddziałujących gazów. Funkcja rozkładu. Rozwinięcie Mayera. Rozwinięcie Wirialne. Podejście Betha-Uhlenbecka do gazów kwantowych. Równanie stanu plazmy wieloskładnikowej z zastosowaniem do gwiazd. Równowaga chemiczna i równanie Saha. Grawitacyjna równowaga gwiazd dla różnych równań stanu). Fizyka statystyczna skwantowanych pól (Metoda pól skwantowanych. Zachowanie gazu Bosego w niskich temperaturach. Kondensacja Bosego-Einsteina. Niskie wzbudzenia w układach Fermiego. Teoria Fermiego cieczy. Równanie stanu materii zdegenerowanej. Białe karły i gwiazdy neutronowe. Słaba równowaga i warunki neutralności ładunków. Grawitacyjna równowaga białych karłów i gwiazd neutronowych). Przejścia fazowe (Przejścia fazowe w gazie Van-der-Waalsa. Modele na sieci. Spontaniczna magnetyzacja ferromagnetyka. Gaz na sieci i stopy dwuskładnikowe. Model Isinga w przybliżeniu Bethego. Wykładniki krytyczne. Nierówności termodynamiczne. Teoria Landaua przejść fazowych drugiego rodzaju. Krystalizacja materii w białych karłach. Przejścia fazowe pomiędzy materią hadronową a kwarkową w gwiazdach neutronowych). Podejście grupy renormalizacyjnej (Podstawowe skalowania. Proste przykłady renormalizacji. Ogólne sformułowanie równań grupy renormalizacji. Twierdzenie fluktuacji-dyssypacji. Teoria odpowiedzi liniowej. Oddziaływania fotonów i neutrin w materii gwiazdowej w teorii odpowiedzi liniowej). Fluktuacje (Fluktuacje termodynamiczne. Korelacje przestrzenne. Analiza fluktuacji na przykładzie ruchów Browna. Fizyka statystyczna reakcji jądrowych w gwiazdach, reakcje piknojądrowe w gwiazdach neutronowych).

		Statistical physics of interacting gases (Gibbs' formulation of equilibrium state thermodynamics of interacting gases. Partition function. Mayer’s cluster expansion. Virial expansion. Beth-Uhlenbeck approach to quantum gases. Equation of state of multicomponent plasma with applications to stars. Chemical equilibrium and Saha equation. Gravitational equilibrium of stars for different equations of state.) Statistical physics of quantized fields. (The method of quantized fields. Low-temperature behavior of Bose gas, Bose-Einstein condensation. Low-lying excitations in Fermi systems. Fermiliquid theory. Equation of state of degenerate matter, white dwarfs, and neutron stars. Weak equilibrium and change neutrality conditions. Gravitational equilibrium of white dwarfs and neutron stars.) Phase transitions (Phase transitions in Van-der-Waals gas. Lattice models. Spontaneous magnetization of a ferromagnet. Lattice gas and binary alloys. Ising model in the Bethe approximation. Critical exponents. Thermodynamic inequalities. Landau’s theory of second-order phase transitions. Crystallization of white dwarf matter. Phase transitions from hadronic to quark matter in neutron stars.) Renormalization group approach (Basic scalings. Simple examples of renormalization. General formation of renormalization group equations. Fluctuation-dissipation theorem. Linear response theory. Photon and neutrino interactions in the stellar matter within the linear response theory.) Fluctuations (Thermodynamic fluctuations. Spatial correlations. Fluctuation analysis on the example of Brownian motion. Statistical physics of nuclear reaction in stars, pycnonuclear reactions in neutron stars.)

46.	Zaawansowane zagadnienia atmosfer gwiazdowych Advanced Topics of Stellar Atmospheres	Informacje wstępne: cele badań atmosfer gwiazdowych, klasyfikacja widmowa. Modelowanie atmosfer gwiazdowych: założenia i równania. Mechanizmy przenoszenia energii (promieniowanie, konwekcja, dyfuzja). Odziaływanie promieniowania z materią. Dane atomowe konieczne do zbudowania modelu atmosfery. Proste modele atmosfer, założenia: geometria 1D, założenie lokalnej równowagi termodynamicznej, teoria drogi mieszania, blanketing. Realistyczne modele atmosfer: geometria 3D, brak lokalnej równowagi termodynamicznej, wiatr gwiazdowy i inne. Modele atmosfery Słońca. Metody analizy widm gwiazdowych. Wyznaczanie parametrów atmosferycznych (np. temperatury efektywnej, przyspieszenia grawitacyjnego, składu chemicznego). Introductory information: objectives of stellar atmosphere research, spectral classification. Modelling of stellar atmospheres: assumptions and equations. Energy transfer mechanisms (radiation, convection, diffusion). Interaction of radiation and matter. Atomic data required to build a model of the atmosphere. Basic models of atmospheres, assumptions: 1D geometry, assumption of local thermodynamic equilibrium, mixing length theory, blanketing. Realistic atmosphere models: 3D geometry, no local thermodynamic equilibrium, stellar wind and more. Models of the Sun's atmosphere. Methods of analysis of stellar spectra. Determination of atmospheric parameters (e.g. effective temperature, surface gravity, chemical composition).

47.	Zaawansowane zagadnienia budowy i ewolucji gwiazd Advanced Topics of Stellar Structure and Evolution	Pogłębienie znajomości stanów ewolucyjnych różnych typów gwiazd poprzez rozszerzenie wiedzy dotyczącej praw fizycznych niezbędnych do ich modelowania. Omówienie zagadnień związanych z termodynamiką, równaniem stanu, transportem energii, transportem momentu pędu i efekty mieszania pierwiastków w warunkach wnętrz gwiazdowych, kosmicznej i gwiazdowej nukleosyntezy. Zapoznanie się z równaniami opisującymi budowę i ewolucję gwiazd, równaniami stanu dla fermionów i bozonów (w warunkach braku, całkowitej i częściowej degeneracji). Poruszone też zostaną numeryczne metody konstruowania modeli ewolucyjnych różnych typów gwiazd. Zapoznanie się z rodzajami reakcji jądrowych, przekrojami czynnymi, tempami reakcji, reakcjami indukowanymi promieniowaniem, fotodezintegracją, reakcjami z udziałem cząstek naładowanych oraz reakcje z udziałem neutronów. Omówienie zmian obfitości pierwiastków, będących skutkiem procesów jądrowych. Omówienie cykli reakcji jądrowych (pp, CNO, gorący cykl CNO, 3alfa, wybuchowe palenie helu i inne zaawansowane cykle reakcji jądrowych uwzględniające palenie węgla, neonu, tlenu, krzemu). Deepening the knowledge of evolutionary states of various types of stars through expanding the knowledge of physical laws necessary for modeling them. Discussion of issues related to thermodynamics, equation of state, energy transport, angular momentum transport and the effects of mixing elements in conditions of stellar interiors, cosmic and stellar nucleosynthesis. Familiarization with the equations of structure and evolution of stars, equations of state for fermions and bosons (in conditions of none, total and partial degeneracy). Getting to know the numerical methods for constructing evolutionary models of various types of stars. Getting to know the types of nuclear reactions, cross sections, reaction rates, radiation induced reactions, photodisintegration, reactions involving charged particles and reactions involving neutrons. Discussion of changes of the chemical element abundances resulting from nuclear processes. Discussion of nuclear reaction cycles (pp, CNO, CNO hot cycle, 3alpha, explosive burning helium and other advanced nuclear reaction cycles involving the burning of carbon, neon, oxygen, silicon).

48.	Zaawansowane zagadnienia ogólnej teorii względności Advanced General Relativity	Od Newtona do Einsteina: pojęciowe podstawy ogólnej teorii względności. Ruch cząstek i równanie geodezyjnych. Odchylenie geodezyjne i krzywizna. Tensor pędu energii i równania Einsteina. Fale grawitacyjne, teoria i obserwacje. Czarne dziury, teoria i obserwacje. Soczewkowanie grawitacyjne, teoria i obserwacje. Niektóre współczesne zagadnienia z zakresu ogólnej teorii względności. From Newton to Einstein: conceptual foundations of general relativity. Motion of particles and geodesic equation. Geodesic deviation and curvature. Energy momentum tensor and Einstein equations. Gravitational waves, theory and observations. Black holes, theory and observations. Gravitational lensing, theory and observations. Some modern developments in general relativity.