

DIZERTAČNÁ SKÚŠKA

študijný odbor: ASTROFYZIKA 4.1.8

Spoločná odborová komisia určí podľa zamerania doktoranda ako predmet skúšky jeden z nižšie uvedených predmetov

Okruhy z predmetu ASTROFYZIKA

Špecializácie: slnečná fyzika, premenné hviezdy.

A: žiarenie, žiarivé procesy

1. Základné pojmy a veličiny

Žiarenie, vyžarovanie, intenzita žiarenia, jednotková intenzita žiarenia, špecifická intenzita, tok žiarenia, žiarivý výkon, hustota žiarenia (žiarivá hustota), hustota toku žiarenia, tlak žiarenia, vzťahy medzi tokom žiarenia, intenzitou žiarenia a vyžarovaním a medzi hustotou žiarenia a vyžarovaním.

2. Žiarenie čierneho telesa

Termodynamická rovnováha, teplota, Kirchhoffov zákon, Wienov zákon, Stefan-Boltzmannov zákon, Planckova rovnica, elektromagnetické spektrum.

3. Žiarenie kozmických objektov

Fyzikálne procesy zúčastňujúce sa tvorby spojitého a čiarového spektra, spektrá atómov a molekúl, hviezdne spektrum spojité a čiarové absorpčné a emisné spektrálne čiary, tepelné a netepelné žiarenie, synchrotrónne žiarenie, brzdné žiarenie.

4. Spektrálne čiary

Profily spektrálnych čiar, rozšírenie spektrálnych čiar: prirodzená šírka čiary (žiarivý útlm), tepelné rozšírenie (Dopplerovská šírka čiary), rozšírenie mikroturbulenciou, tlakom, rotáciou, zrážkami, inštrumentálna šírka čiary. Zeemanov efekt, Paschen-Backov efekt, Starkov efekt, Dopplerovský posun čiary, FWHM, hĺbka čiary, ekvivalentná šírka čiary, krivka rastu.

5. Teória hviezdnych atmosfér

Popis žiarenia v hviezdnych atmosférach, excitácia a ionizácia atómov, absorpčný a emisný koeficient, optická hrúbka, rovnica prenosu žiarenia a jej riešenie, funkcia zdroja, lokálna termodynamická rovnováha, Sahova rovnica, Boltzmannova rovnica, rovnica štatistickej rovnováhy, modely atmosfér, záporný ión vodíka a spojitý žiarenie hviezdnej atmosféry, okrajové stemnenie.

B: Observačná astrofyzika

6. Pozorovacie metódy v astrofyzike

Spektroskopia, spektrofotometria, fotometria (vizuálna, fotografická, fotoelektrická, CCD). Fotometrické systémy (Johnsonov, Cousinsov, Strömgenov, Walravenov), farebný index a excs, polarimetria.

7. Astrofyzika v rôznych oblastiach elektromagnetického spektra, časticová astrofyzika

Absorpcia elektromagnetického žiarenia zemskou atmosférou, metódy štúdia v oblastiach: optická astronómia, rádioastronómia, infračervená, ultrafialová, röntgenová a gama astronómia. Výskum pomocou umelých družíc. Typické zdroje žiarenia v jednotlivých oblastiach spektra. časticová astrofyzika, kozmické žiarenie, jadrá atómov, elektróny, pozitrony, antiprotóny, detekcia rôznych druhov častíc, typy detektorov, neutrína.

8. Analýza dát v astrofyzike

Štatistické metódy spracovania dát, Fourierova analýza, určenie výkonových spektier, redukcia digitálnych dát, filtrácie, metóda „Fast Fourier Transform“, váhovaná „least mean square“ analýza, analýza šumu v periodických javoch, spracovanie obrazu (spektier) a technika rekonštrukcie obrazu (spektier), „flat-field“ techniky. šum, kazy v dátach, neúplné dátové rady, inštrumentálne chyby a umelé gradienty v dátach.

C: Charakteristiky a stavba hviezd, zdroje energie, šírenie energie vo hviezdach

9. Základné charakteristiky hviezd

Jasnosť, svietivosť, zdanlivá a absolútna hviezdna veľkosť, teplota, spektrálny typ, hmotnosť a polomer a ich jednotky. Rozsahy hviezdnych charakteristík v závislosti na ich vývojovom stupni. Vzájomné vzťahy základných charakteristík, HR diagram, diagram hmotnosť-svietivosť, teoretický HR diagram, vývojové dráhy hviezd.

10. Stavba hviezd

Fyzikálne vlastnosti látky v hviezdach, základné rovnice vnútornej stavby hviezd, hydrostatická rovnováha, viriálový teorém, stavová rovnica, centrálna teplota, tlak, tlak degenerovaného plynu, Eddingtonova hranica. Riešenie základných rovníc stavby hviezd: analytická aproximácia, numerické techniky, hraničné podmienky. štruktúra hviezdy v závislosti na vývojovom štádiu.

11. Zdroj energie a jej transport v hviezdach

Charakteristické časové hviezdne škály (termálna, gravitačná, chemická, jadrová, termonukleárna). Produkcia energie gravitačnou kontrakciou, termonukleárnymi reakciami. Jadrová väzbová energia, Coulombova bariéra, horenie vodíka (pp cyklus, CNO cyklus 3-alfa proces) produkcia neutrín a oscilácie neutrín. Horenie hélia. Transport energie žiarením (rovnica transportu energie žiarením), transport energie konvekciou (Schwarzschildovo kritérium).

D: Evolúcia hviezd a dvojhviezd

12. Ranné štádiá vývoja hviezd

Formovanie hviezdy, Jeansovo kritérium, medzihviezdny plyn a prach, gravitačný kolaps, protohviezda, problém straty uhlového momentu. Evolúcia hviezdy pred príchodom na hlavnú postupnosť, záznam pohybu v HR diagrame. Mladé hviezdne objekty, nedostatočne hmotné hviezdy, hnedí trpaslíci.

13. Vývoj málo hmotných a masívnych hviezd

Vývoj málo hmotných hviezd, evolúcia na hlavnej postupnosti, fáza červeného obra, héliový záblesk, asymptotický prechod do oblasti obrov, odvrhnutie hmoty, planetárna hmlovina, biely trpaslík, Chandrasekarovo kritérium hmotnostného limitu. Vývoj masívnych hviezd, typy supernov, kolaps jadra, termonukleárna explózia, klasifikácia supernov a svetelné krivky, kritérium hmotnosti, nukleosyntéza v supernovách, R a S procesy, neutrónové hviezdy, pulzary, čierne diery.

14. Vývoj dvojhviezd

Klasifikácia, formovanie a vývoj dvojhviezd, funkcia hmotnosti, Rocheov potenciál, prenos hmoty v dvojhviezdach, Algolov paradox, dvojhviezdy s kompaktnými zložkami, akrécia a ejekcia hmoty, novy.

DOPORUČENÁ LITERATÚRA

- Gray, D.F.: *The observation and analysis of stellar photospheres*. A Whilley - Interscience Publication, New York, 1976.
- Kourganoff, V.: *Introduction to Advanced Astrophysics*. Reidel Publ., Dordrecht, 1980.
- Tatum, J.B.: *Stellar Atmospheres*, <http://orca.phys.uvic.ca/~tatum/universe@uvvm.uvic.ca>, 2003.

Okruhy z predmetu SLNEČNÁ FYZIKA

Špecializácia: slnečná fyzika.

1. Astrofyzikálny základ

Vlastnosti plazmy. Plazma v magnetickom a gravitačnom poli. Hydrostatická rovnováha. Definícia intenzity žiarenia. Spektrálne čiary. Prirodzená šírka čiary, rozšírenie spektrálnych čiar Zeemanovým javom, Starkovým efektom, teplotou, turbulenciou, tlakom a útlmom (ostatné otázky týkajúce sa teórie hviezdnych atmosfér sú uvedené v časti Astrofyzika).

2. Slnko ako hviezda

Poloha a pohyb Slnka v Galaxii. Hmotnosť, polomer a chemické zloženie. Luminozita, efektívna teplota a spektrum. Evolúcia Slnka. Slnko v H-R diagrame.

3. Termonukleárne reakcie v slnečnom telese

Procesy generovania energie. P-P a C-N cyklus. Chemické zloženie vnútra Slnka.

4. Štandardný model slnečného vnútra

Definícia. Fyzikálne podmienky. Luminozita, hustota a teplota v slnečnom telese. Observačné možnosti testovania štandardného modelu.

5. Slnečná konvekcia

Podmienky vzniku - mixing length theory. Dynamika. Granulácia, mezogranulácia, supergranulácia. Pozorovania.

6. Rotácia Slnka

Konvekcia v rotujúcich sférických vrstvách. Teória globálnej cirkulácie. Meridionálna cirkulácia. Diferenciálna rotácia. Pozorovania rotácie.

7. Globálne magnetické pole Slnka

Teória slnečného dynama. Magnetické štruktúry. Cyklus slnečnej aktivity. Motýlikový diagram. Zmena magnetických polarít slnečných polorúľ.

8. Slnečná atmosféra

Vrstvy slnečnej atmosféry. Fyzikálne procesy v jednotlivých vrstvách. Energetická bilancia slnečnej atmosféry. Oscilácie.

9. Spektrálna diagnostika slnečnej atmosféry

Určenie abundancií, teploty, hustoty, rýchlostného a magnetického poľa pomocou spektrálnej analýzy a modelovaním - syntetické spektrá.

10. Slnečná fotosféra

Chemické zloženie. Okrajové stemnenie. štruktúra, dynamika a zohrievanie fotosféry. Energetická rovnováha. Modely fotosféry.

11. Magnetické a rýchlostné pole vo fotosfére

Magnetické štruktúry pokojnej a aktívnej fotosféry. Granulácia. Flux tubes. Fakule. Slnečné škvrny. Rýchlostné pole fotosféry.

12. Slnečná chromosféra a prechodová vrstva

Fyzikálne charakteristiky. Energetická rovnováha. Zohrievanie. Dynamika. štruktúry. Pozorovanie na limbe a na slnečnom disku.

13. Slnečné erupcie

Pozorovanie. Fyzikálne podmienky. Dynamika a procesy uvoľnenia energie. Magnetická rekonexia. Urýchlenie a šírenie energetických častíc v slnečnej erupcii. Rádiová emisia slnečných erupcií.

14. Slnečná koróna - opis vlastností

Spektrum - rozdelenie na zložky K, F, E. Fyzikálne vlastnosti. Úkazy v koróne - koronálne lúče, protuberancie, kondenzácie, koronálne diery, jasné body, tranzienty. Rádiová a X-koróna.

15. K-koróna a E-koróna

Thomsonov rozptyl. Určenie elektrónovej hustoty. Modely rozdelenia. Najznámejšie čiary E-koróny a ich identifikácia. Elementárne procesy. Princíp excitačnej a ionizačnej rovnováhy.

16. Určovanie teploty koróny

Z rozdelenia hustoty, z dopplerovského rozšírenia emisných čiar.

17. Cyklus slnečnej aktivity v koróne

K-koróna - tvar, sploštenie, celkový jas. E-koróna (koronálny index). Relácie k ostatným prejavom aktivity.

18. Protuberancie

Opis, typy, spektrá. Fyzika protuberancií. Klasifikácia. Výskyt počas cyklu aktivity.

19. Slnečný vietor a heliosféra

Zdroje slnečného vetra. štruktúra a dynamika slnečného vetra. Vysokorýchlostné prúdy. Koronálne tranzienty a expanzia koróny. Geometria medziplanetárneho magnetického poľa. Nárazové vlny.

DOPORUČENÁ LITERATÚRA

- *Physics of The Sun I, II, III*. Geophysics and Astrophysics Monographs, eds: P.A. Sturrock, T.E. Holzer, D.M. Mihalas a R.K. Ulrich, Reidel Publ., Dordrecht, 1986.
- Zirin, H.: *Astrophysics of the Sun*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1988.
- Stix, M.: *The Sun - An Introduction*. Springer Verlag; 2nd edition, 2002.

Okruhy z predmetu FYZIKA HVIEZD

Špecializácia: premenné hviezdy.

1. Základné charakteristiky hviezd

Základné charakteristiky hviezd. Poloha hviezd v H-R diagrame a jej závislosť na vývojovom štádiu hviezd.

2. Hviezdny vietor

P Cygni profil spektrálnych čiar, mechanizmus urýchľovania hviezdneho vetra, žiarivá sila v Sobolevovej aproximácii, rýchlosť straty hmoty, CAK (Castor, Abbot, Klein, 1975) teória hviezdneho vetra, hviezdny vietor horúcich O,B,W-R hviezd a chladných obrov.

3. Charakteristiky rôznych typov hviezd

Herbigove Ae/Be hviezdy, Wolfove Rayetove hviezdy, Be hviezdy (vlastnosti emisných profilov, príčiny javu Be hviezd: rotácia, dvojhviezdny pôvod, hviezdny vietor podporovaný rotáciou, neradiálne pulzácie).

4. Chemicky pekuliárne a magnetické hviezdy

Klasifikácia: CP1 - klasické metalické Am hviezdy, CP2 – magnetické CP hviezdy (od typu SrCrEu po Si), CP3 - HgMn hviezdy, CP4,5 - s nedostatkom hélia, CP6,7 - s prebytkom hélia. Príčiny spektrálnej anomálie, rozloženie prvkov po povrchu hviezd, model skloneného rotátora, pôvod magnetického poľa.

5. Metódy pozorovania premenných hviezd

Fotometria a fotometrické systémy, širokopásmová UBVR IJHKL fotometria, úzkopásmová fotometria. Redukcia na vplyv zemskej atmosféry, transformácia fotometrických farieb. Vizuálna, fotografická a CCD fotometria, spektroskopia, analýza profilov spektrálnych čiar a určenie spektrálneho typu, určovanie radiálnych rýchlostí, heliocentrická oprava radiálnych rýchlostí.

6. Svetelná krivka premennej hviezdy

Čas pozorovania, heliocentrická korekcia času, heliocentrický juliánsky dátum, určenie okamihu minima alebo maxima premennej hviezdy, perióda svetelných zmien, skladanie pozorovaní, fázová svetelná krivka.

7. Periódová analýza

Fouriérova a PDM metóda, zdanlivé a falošné periódy, O-C diagram, skutočné a zdanlivé zmeny periódy a ich príčiny: prenos hmoty medzi zložkami a odtok hmoty zo sústavy, prítomnosť tretieho telesa v sústave, apsidálny pohyb.

8. Typy premenných hviezd

Geometrické (rotujúce hviezdy: magnetické a škvrité, dvojhviezdy: zákrytové a interagujúce). Fyzické: zmeny v okolí hviezdy, v povrchových vrstvách (prejavy hviezdnej aktivity), v podpovrchových vrstvách (pulzácie), v jadre (rýchle fázy hviezdneho vývoja, supernovy), tvar svetelných kriviek, katalógy premenných hviezd.

9. Pulzujúce premenné hviezdy

Mechanizmus pulzácií, radiálne a neradiálne pulzácie, módy pulzácií. Poloha premenných hviezd na H-R diagrame, pás nestability a jeho vysvetlenie. Cefeidy: závislosť perióda - svietivosť, oscilácie a astroseizmológia, dlhoperiodické premenné hviezdy.

10. Supernovy

Vývoj hmotných hviezd a supernovy typu II, vývoj dvojhviezd a supernovy typu I (Ia, Ib, Ic).

11. Metódy pozorovania dvojhviezd

Astrometrické pozorovania, družicová astrometria - Hipparcos, mikrometrické merania, interferometria a apertúrna syntéza, zákryty dvojhviezd Mesiacom, vizuálna a fotografická fotometria, fotoelektrická fotometria, CCD fotometria, polarimetria, magnetometria, multifrekvenčné pozorovania (gama, röntgenové, ultrafialové, infračervené a rádiové), spektroskopia. Metódy detekcie kompaktných objektov.

12. Definícia, klasifikácia a výskyt dvojhviezd

Vizuálne, spektroskopické a zákrytové dvojhviezdy, výskyt dvojhviezd medzi hviezdami hlavnej postupnosti, výskyt dvojhviezd medzi pekulárnymi a fyzickými premennými hviezdami, dvojhviezdy vo hviezdokopách, katalógy dvojhviezd.

13. Rocheov model. Vznik a vývoj dvojhviezd

Oddelené, polodotykové a kontaktné dvojhviezdy, štádiá prenosu hmoty, Algolov paradox, záverečné štádiá vývoja dvojhviezd, röntgenové dvojhviezdy, novy a symbiotické hviezdy.

14. Vizuálne dvojhviezdy

Optické páry a dočasné dvojhviezdy, relatívne pohyby zložiek vo vizuálnej dvojhviezde, elementy dráhy vizuálnej dvojhviezdy a ich určenie, metóda Kowalského a Glasenappa, dynamické paralaxy.

15. Spektroskopické dvojhviezdy

Krivka radiálnych rýchlostí, jednočiarové a dvojčiarové spektrum, spektroskopické elementy a ich určenie, metóda Lehmann-Filhésa, metóda Schwarzschilda a Zurhellenena, blízkostné efekty a rotačný efekt.

16. Zákrytové dvojhviezdy

Typy svetelných kriviek zákrytových dvojhviezd (Algol, Beta Lyrae, W UMa), geometrické a fotometrické elementy, jemné efekty ovplyvňujúce svetelnú krivku, okrajové stmavnutie, efekt odrazu, gravitačné stmavnutie, metódy určenia fotometrických elementov: Russell-Merrillova metóda, Kopalova metóda, Wilson-Devinneyho metóda.

17. Absolútne parametre dvojhviezdy

Využitie fotometrických a spektroskopických elementov na určenie hmotností, polomerov a svietivostí zložiek a ich vzájomnej vzdialenosti. Určenie vzdialenosti dvojhviezdy od Zeme.

18. Interagujúce dvojhviezdy a ich evolúcia

Tryskové javy, röntgenové dvojhviezdy a ich klasifikácia podľa hmotnosti optických zložiek a podľa typu akreujúceho objektu. Röntgenové pulzary a zábleskové zdroje (burstery), binárne pulzary (PSR 1913 + 16).

DOPORUČENÁ LITERATÚRA

- Sidney, C., Wolf, F.: *The A-stars: Problems and perspectives*. NASA, Washington, 1983.
- de Loore, C.W.H., Doom, C.: *Structure and Evolution of Single and Binary Stars*. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 1992.
- Hiltich, R.W.: *An introduction to close binary stars*. Cambridge University Press, 2001.
- Sterken, C., Jaschek, C.: *Light curves of variable stars - a pictorial atlas*. Cambridge University Press, 1996.

U špecialistu na určitú vednú oblasť (slnečná fyzika, medziplanetárna hmota, premenné hviezdy) sa navyše požadujú vedomosti zo zvolenej oblasti v rozsahu prehľadových referátov na medzinárodných konferenciách za 5 predchádzajúcich rokov.