

Sylabus přednášky „Základy fyziky plazmatu“ (letní semestr 3+1 hod.)

1. Úvod, základní pojmy

definice plazmatu, kvazineutralita, kolektivní chování, rozdíl mezi plazmatem a plyny, Debyeovo stínění, Debyeova délka, plazmová frekvence, plazmový parametr, srážková frekvence, Coulombovský logaritmus, ideální a neideální plazma, parametr vázanosti plazmatu, degenerované plazma, příklady plazmatu v přírodě a v laboratoři

2. Pohyby nabitých částic ve vnějších polích

cyklotronová frekvence, Larmorův radius, drift ve zkřížených polích, gradientní drift, drift zakřivení, polarizační drift, adiabatické invarianty, 1. adiabatický invariant, princip magnetického zrcadla, ponderomotorická síla

3. Částice v selfkonsistentních polích - přechod ke kinetickému a fluidnímu popisu

jednočásticová rozdělovací funkce, vícečásticové rozdělovací funkce, Klimontovičova rovnice, Klimontovičova rovnice pro plazma, ansámbl a středování přes ansámbl, fluktuační rovnice, přechod k Vlasově rovnici, Krookův srážkový člen, plazma jako elektrická látka, časová a prostorová disperze, nízkofrekvenční permitivita plazmatu, plazma jako směs tekutin, přechod od Vlasovovy rovnici k fluidnímu popisu, tenzor tlaku, driftové pohyby tekutiny, diamagnetický drift, plazmatické přiblížení

4. Elektronové plazmové vlny

linearizace rovnic hydrodynamiky, klasifikace vln, disperzní vztah, elektronové plazmové oscilace, vliv srážek, vliv nenulové teploty a šíření elektronových plazmových vln, odvození z Vlasovovy rovnice, Landauova integrační křivka, fyzika Landauova útlumu, permitivita plazmatu, energie plazmové vlny, nelineární Landauův útlum, BGK módy, dvousvazková nestabilita, principy simulace metodou „Particle-In-Cell“, ukázky chování nelineárních plazmových vln pomocí PIC kódu

5. Další lineární vlny v plazmatu

Iontozvukové vlny, elektromagnetické vlny v plazmatu bez B_0 , permitivita plazmatu, mezní frekvence, kritická hustota, srážková absorpce elmg. vln, šíření v nehomogenním plazmatu, WKB přiblížení, řešení v okolí kritické hustoty, rezonanční absorpce, nelinearity při šíření elmg. vln, vznik filamentů a samofokuzace, elmg. vlny v plazmatu s magnetickým polem (O,X,R,L – vlny), rezonance, CMA diagram, iontové elektromagnetické vlny (Alfvénovy a magneto-zvukové), parametrické nestability, stimulovaný rozptyl, fyzika korony a interakce laserového záření s plazmatem

6. MHD popis, hydromagnetická rovnováha a nestability

Přechod k jednoduše popsanému přiblížení, ideální MHD, hydromagnetická rovnováha, parametr β , neideální MHD, difúze plazmatu do magnet. pole, Rayleigh-Taylorova nestabilita, Kruskal-Schwarzschildova nestabilita (RT v magnetickém poli)

7. Difúze a stěnové vrstvy

Difúze v slabě ionizovaném plynu, ambipolární difúze, difúze napříč B , Bohmova difúze, stěnová vrstva, Bohmovo kritérium, Child-Langmuirův zákon, bezsrážková rázová vlna

8. Úvod do atomové fyziky plazmatu

Klasifikace vícenásobně nabitých iontů, schéma hladin, autoionizační stavy, štěpení hladin, rezonanční přechody, srážkové atomové procesy, srážková excitace a deexcitace, srážková ionizace a tříčásticová rekombinace, dielektronová rekombinace, radiační procesy, přechod volný-volný, vázaný-volný a vázaný-vázaný, Einsteinovy koeficienty, rozšíření spektrálních čar, transport záření, optická tloušťka, ionizační rovnováha (Sahova rovnice), termodynamická rovnováha a LTE, koronální rovnováha, princip detailní rovnováhy

9. Úvod do řízené fúze

termonukleární reakce, nezbytnost ohřevu, ideální zápalná teplota, Lawsonovo kritérium, magnetické a inerciální udržení, magnetické torusy, ohřev plazmatu, pinče, inerciální fúze - přímá a nepřímá fúze, zdroj energie - laserové svazky nebo svazky nabitých částic

10. Pružné srážky a jejich vliv

Liouvillova rovnice, řetěz rovnic pro rozdělovací funkce (BBGKY hierarchie), Vlasovova rovnice, korelační funkce, rovnice pro dvoučásticovou korelaci, Bogoljubova hypotéza - podmínka oslabení korelací, podmínky vedoucí k Fokker-Planckovu (Landauovu), Boltzmannovu a Lenard-Balescuovu srážkovým integrálům, aplikace Landauova srážkového integrálu (relaxace hybnosti elektronů, přenos energie mezi elektrony a ionty, vysokofrekvenční vodivost plazmatu)

Literatura:

povinná

/C/ F.F. Chen: *Úvod do fyziky plazmatu*, Academia, Praha 1984

/N/ D.R. Nicholson: *Introduction to Plasma Theory*, J. Wiley&sons, New York 1983

doporučená

/S/ V.P. Silin: *Úvod do kinetické teorie plynů*, Academia, Praha 1976

/E/ S. Eliezer: *The Interactions of High-Power Lasers with Plasma*, IOP Publishing, Bristol and Philadelphia 2002

/II/ S. Ichimaru, *Statistical Plasma Physics, Volume I: Basic Principles*, Addison-Wesley Publishing Co., Redwood City, Ca. 1992

/Kr/ J. Kracík, B. Šesták, L. Aubrecht: *Základy klasické a kvantové fyziky plazmatu*, Academia, Praha 1974

/K/ Ju.L. Klimontovič: *Statističeskaja fizika*, Nauka, Moskva 1982 (překlad *Statistical Physics*, CRC Press, Boca Raton 1986)

/M/ A.B. Michailovskij: *Teorija plazmennych neustojčivostej, T.1 Neustojčivosti odnorodnoj plazmy*, Atomizdat, Moskva 1975 (překlad *Theory of Plasma Instabilities, Volume 1*, Consultants Bureau 1974)

/Ku/ W.L. Kruer: *The Physics of Laser Plasma Interactions*, Westview Press 2003 (also CRC Press 2018), e-Book CRC Press 2019

/H/ H. Hora: *Physics of Laser Driven Plasmas*, J. Wiley&Sons, New York 1981 (ruský překlad Energoatomizdat 1986)

/G/ P. Gibbon: *Short Pulse Laser Interactions with Matter: An Introduction*, Imperial College Press, London 2005

/D/ R.P. Drake: *High Energy Density Physics*, Springer, Berlin 2006

/Sa/ D. Salzman: *Atomic Physics in Hot Plasmas*, Oxford University Press, Oxford 1998

/BVV/ N.A. Bobrova, P. Vrba, M. Vrbová: *Základy fyziky plazmatu a magnetohydrodynamika jako princip funkce vybraných plazmatických zařízení*, ČVUT FBMI, Praha 2014

/MB/ P. Mulser, D. Bauer: *High Power Laser-Matter Interaction*, Springer, Berlin 2010

/BL/ C.K. Birdsall, A.B. Langdon: *Plasma Physics via Computer Simulations*, Adam Hilger, Bristol 1991

/T/ G.J. Tallents, *An Introduction to the Atomic and Radiation Physics of Plasmas*, Cambridge University Press, Cambridge 2018

/Ku/ P. Kulhánek, *Úvod do teorie plazmatu*, AGA 2020 (<http://aldebaran.cz/studium/tpla.pdf>)