

→ PLAZMA KAO FLUID

- jednouchaćeni prijedol nije uvijek dovoljan \rightarrow vrijedi za plazmu niko gubitke i kad se može zanemariti doprinos električnog i magnetskog polja
- statistički prijedol jer ne možemo pratih svaku česticu
- većina parametara može biti objašnjena NOVIM FLUIDOM \rightarrow identitet čestice se zanemaruje, a u obzir se uzima samo gibanje elemenata fluida (element fluida sadrži električni naboj)
- fluidna aproksimacija \rightarrow razmatraju plazmu koja je sastavljena od 2 ili više prepletenih fluida (po 1 za svaku vrstu čestica)
- 2 jednadžbe gibanja: za ione i za elektrone

→ JEDNOSTAVNOSTA GIBANJA

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

\nwarrow brzina \nearrow magnetsko polje
 \hookrightarrow električno polje

- sve čestice se gibaju srednjom brzinom \vec{v} :

$$nm \frac{d\vec{v}}{dt} = nq(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

čestične gustoća

$$\frac{d\vec{G}(x, t)}{dt} = \frac{\partial \vec{G}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{G}}{\partial x} v_x$$

*promjena varijable
u fiksnoj točki*

promjena varijable koja je vidljiva iz perspektive promatrača koji se giba s fluidom u neko drugo područje u kojem je varijable različita

- termična gibanja \rightarrow dodajemo tlaciću silu \rightarrow tlacića sila dolazi od nosomičnog gibanja čestica v i iz elemenata fluida
episano kao boležljivi efekt
- ako je prisutan neutralni plin, onda nabijeni fluid može izgubljivati količinu gibanja s njim preko sudara
- količina gibanja izgubljena po sudaru bila bi proporcionalna relativnoj brzini $\vec{v} - \vec{v}_2$ \rightarrow brzina neutralnog fluida

→ JEDNAĐBA KONTINUITETA ZA FLUID

- sačuvanje materije traži da se broj čestica N u volumenu V može promijeniti samo ako postoji neki konični čestični tok kroz površinu s koja ograničava taj volumen

$$\boxed{\frac{\partial}{\partial t} n + \vec{\nabla} \cdot (n \vec{v}) = 0}$$

→ JEDNAĐBA KONTINUITETA

→ JEDNAĐBA STANJA ZA FLUID

- termodynamička jednadžba stanja: $p = C_p T^k$ → omjer toplinskih kapacitata
- izotarmna kompresija, adijabatska kompresija

→ REZIME JEDNAĐBI

- 16 jednadžbi = 16 neizomorfnih → neliničarne, teške za rješiti
- u nekim slučajevima moguća linearizacija

→ JEDNAĐBE ZA JEDAN FLUID (MHD)

- Sve prethodno → 2 fluida - toni i elektroni
- MHD → primjenjiv kad je razdvajanje naboja zamoranivo
 - prostorna stala veća od Debyeove duljine
 - vremenska stala veća od inverzne vrijednosti plazmene frekvencije
 - prikladno za razmatranje nerelativističkih i sporo varirajućih gibanja plazme pod djelovanjem mehaničkih i magnetskih sila
- doprinos elektronske boljaine gibanja je obično manji od ionske boljine gibanja → aproksimacija: brzina centra mase jednaka ionskoj brzini

→ MAGNETOHYDRODINAMICA

- bavi se ioniziranim ili niskofrekventnim efektima u potpunu ioniziranoj magnetskoj plazmi

→ IDEALNA MHD (bez rezistivnosti)

- dijagnetička struja
- Plazmene čestice su dijamagnetske kada pozivade magnetski poljima koji se suprostavlja okolnom magnetskom polju. Taj dijamagnetizam povećava končnu struju koja teče kroz plazmu, to je dijagnetička struja

→ MAGNETSKI TLAK

- ako postoji gradijent tlaka, onda postoji i odgovarajući gradijent magnetskog tlaka koji osigurava da je ukupni tlak konstantan u plazmi kao fluidu

→ MAGNETSKA NAPETOST

- paralelne žice kojima teku struje se privlače ako se između magnetskih silnica javlja napetost
- magnetska napetost obrnuto proporcionalna poljnjemu zakrivljenosti magnetskih silnica
- kad su silnice zakrivljene ponašaju se kao da su zavista pod djelovanjem sile napetosti B^2/μ_0 po jedinici površine

→ PLAZMENA STABILNOST

- ako se poljnjeg plazmenog kanala u nekom području smanji magnetsko polje se povećava. To povećava magnetski tlak isto vremena daljnjem smanjenjem kanala. Prenda re i tlak plazme povećava, ali se širi van plazmenog zdupa i ne može utvrditi lokalni visoki magnetski tlak. To je nestabilna ravnoteža, a ta nestabilnost je prvi korak k stabilnosti.

- ako stupac plazme proizvodi vrućine (kink), povećani tlak i nestabilnost gdje je visok B povećava savijanje \rightarrow kink nestabilnost ($m=1$)
- dodavanje longitudinalnog magnetskog polja B za "ukrućivanje" plazme može prevenirati nestabilnost \rightarrow tlak se opire modu $m=0$ i nepratost odbija savijanje
- $m=1$ - vodljivim zidom \rightarrow kako se plazma giba prema zidu, tako pritiče utvrdeni eksijalni magnetski tok u zid (tok je utvrdan između vodljivog zida i vodljive plazme). Povećani magnetski tlak onda djeluje na savijanje nestabilnosti

\rightarrow ZAMRZNUTA MAGNETSKA POLJA

- plazma u kojoj se magnetsko polje mijenja s vremenom
- Magnetski tok kroz površinu S može se mijenjati ili zbog vremenske promjene \vec{B} , ili zbog pomicanja površine zajedno s elementom plazmenog fluida na neki novi položaj u kojem je \vec{B} različit od onog početnog
- Ako uzmemos u obzir oba doprinos-a, dobijemo da se magnetski tok kroz S mijenja s vremenom \rightarrow magnetske silnice su "zamrzнуте"
- plazmi i transportiraju se zajedno s njom.
- ako plazma eksplandira, jabolot polja se smanjuje

\rightarrow REZISTIVNA DIFUZIJA

- podrazumijevajući rezistivnost (za razliku od idealne MHD)
- koncretna plazmenska rezistivnost dopušta magnetskom polju difuziju kroz vodljivi fluid
- magnetski Reynoldsov broj \rightarrow omjer procijenjenog konvektivnog i procijenjenog difuzivnog slana
- za nisku rezistivnu plazmu $R_m \gg 1$, za visoku rezistivnost $R_m \ll 1$

→ NESTABILNOSTI PLAZMENIH SUSTAVA

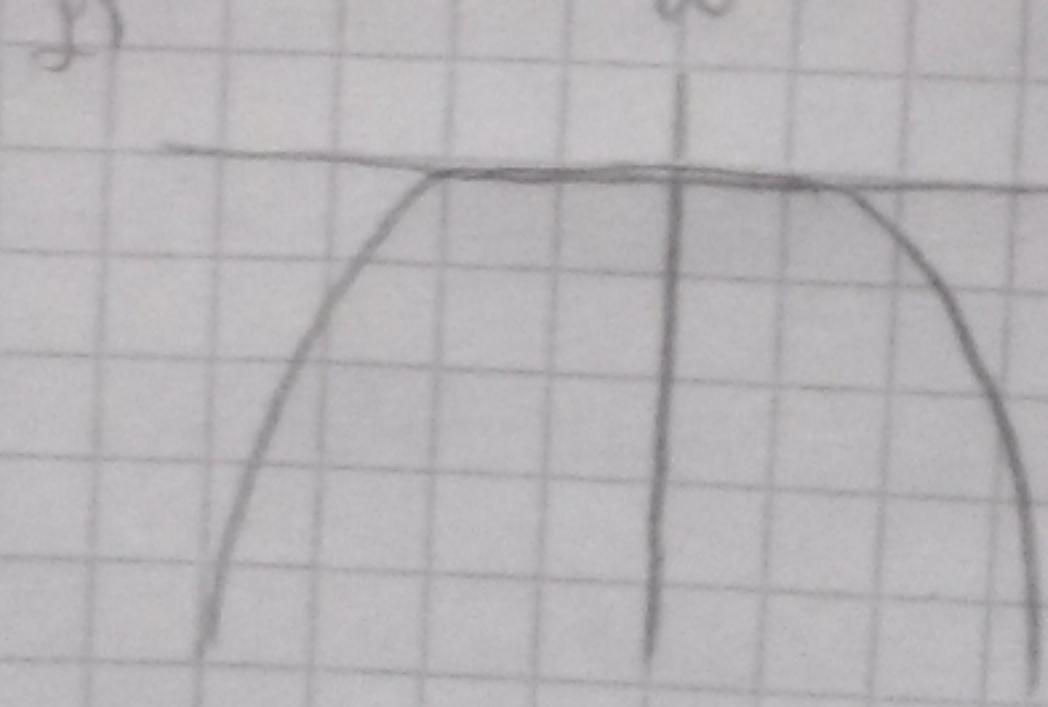
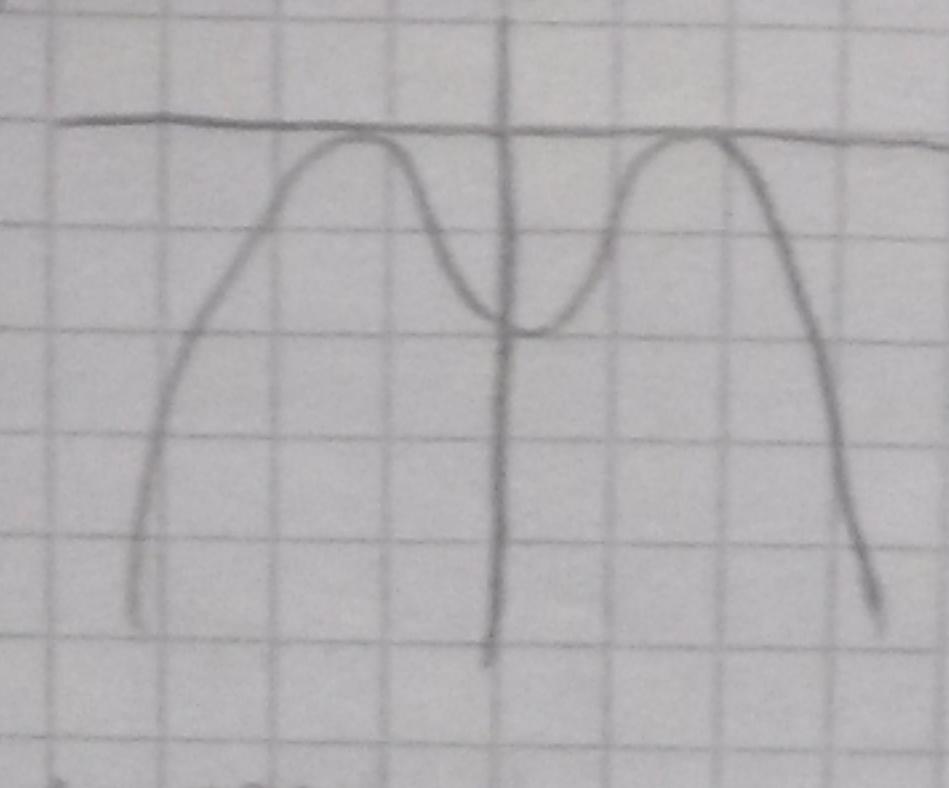
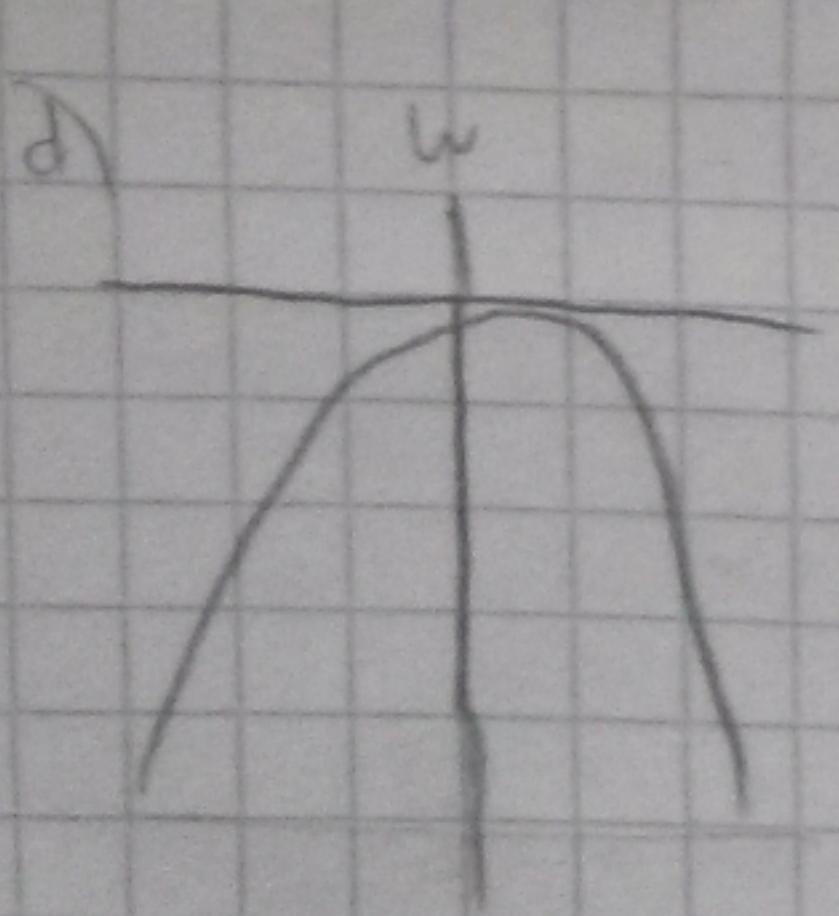
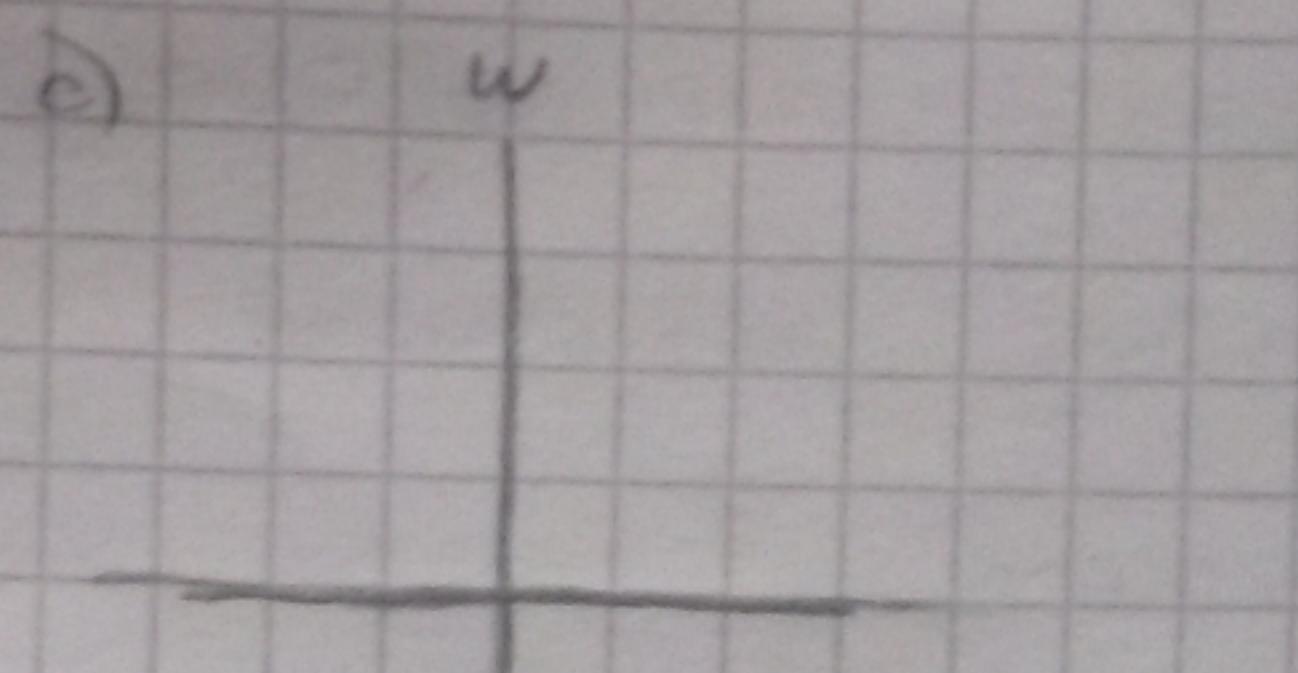
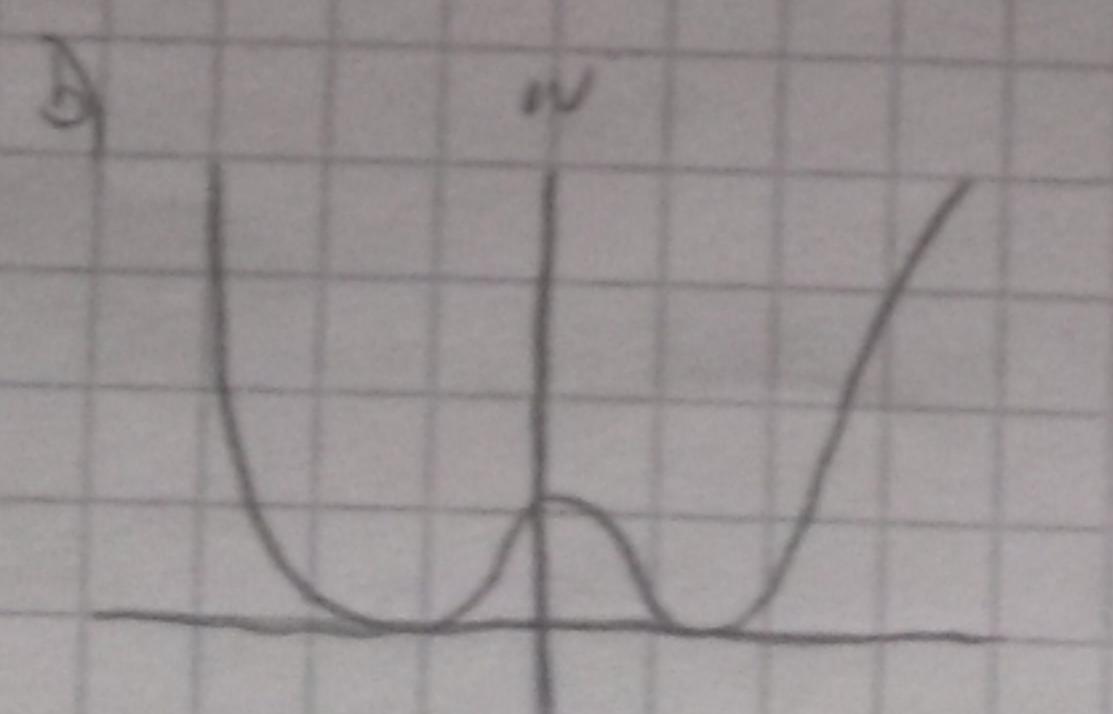
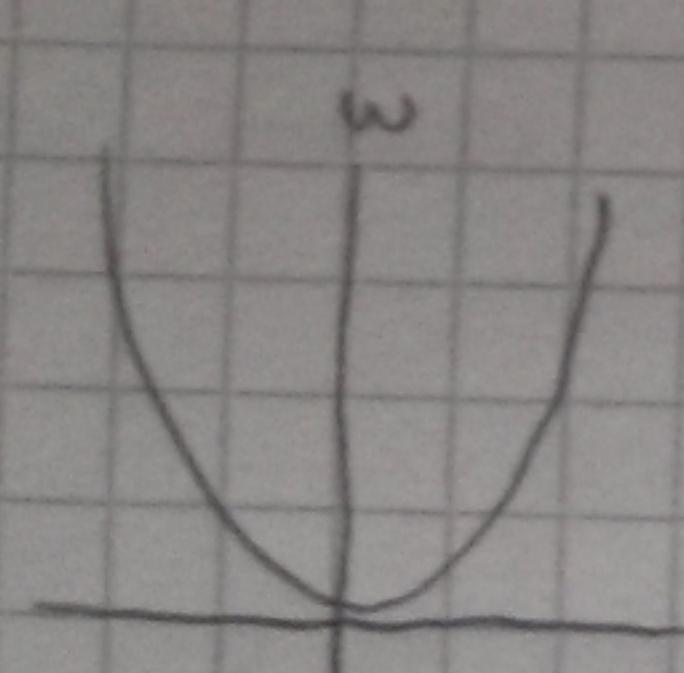
- zolicani plazmeni sustavi u nepremeničnom stanju \Rightarrow nemaju slobodnu energiju, sv. poremećaji sustava moraju dolaziti izvana"
- u stacionarnim situacijama \rightarrow poziv. slobodna energija
- dva načina odvijanja razvoja sustava:
 - spor \rightarrow niz stacionarnih stanja \Rightarrow RAVNOTEŽA SILA - min. energije
 - dinamički \rightarrow nagle se počne razvijati na vremenskoj skali \Rightarrow NESTABILNOST

→ RAVNOTEŽA I. STABILNOST

- za sustav kažemo da je u ravnoteži ako je zbroj svih sila jednak 0, tj. sustav možemo opisati vremenskim neravnišnjim rješenjem
- ispitivanje stabilnosti \rightarrow proprijetate 1D problema stabilnosti jedne čestice

$$w^2 = \frac{1}{m} \left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right)_0 \rightarrow w = \min \text{ u ishodištu } \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)_0 > 0 ; w^2 > 0 \rightarrow \text{čestica oscilira oko ravnotežnog položaja} \Rightarrow \text{STABILNA}$$

- $w = \text{maks}$ u ravnotežnom položaju $w^2 < 0 \rightarrow$ pomak iz ravnoteže stalno u povećava \rightarrow NESTABILNA
- $\left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right)_0 = 0 \rightarrow$ čestica je NEUTRALNO STABILNA
- linearno stabilna \rightarrow stabilna za male ali nestabilna za veće pomake
- linearno nestabilna, a ne-linearno stabilna \rightarrow viši članovi u razvoju stabiliziraju nestabilnost



→ VRSTE NESTABILNOSTI

- prema obliku: hidrodinamičke ; kinetičke nestabilnosti
- s obzirom na prostorne i vremenske intervale: makroskopske ; mikroskopske
 - makroskopske - u prostornim intervalima usporedivim s veličinom sustava te razuđavaju globalno ustrojstvo sistema \Rightarrow MHD nestabilnosti
 - mikroskopske - u intervalima znatno manjim od veličine sustava ; u vremenima većim za plazmenu frekvenciju \Rightarrow plazmene nestabilnosti
- gubitak ravnoteže \Rightarrow niz kvasistacionarnih ravnotežnih stanja i eventualno može doći u stanje kada više nema susjednog ravnotežnog položaja
- mehanička analogija \rightarrow kuglica u zdyeli koja pada na pod

→ MHD NESTABILNOSTI

- idealne MHD nestabilnosti \rightarrow bez rekonekcije magnetskih silnica
- magnetska rekonekcija \rightarrow proces u visoko vodljivoj plazmi - magnetska topologija se preuređi, magn. energija se konvertira u kinetičku, termalnu energiju : u ubrzanje čestica
- rezistivne MHD nestabilnosti \rightarrow banačna vodljivost, moguća rekonekcija

→ PLAZMENE NESTABILNOSTI

- klasificiraju se prema procesu-potrebu
- nestabilnosti snopa - nastaju pri prolasku elektronskog ili ionskog snopa kroz poradijsku plazmu (nestabilnost grbe u repu, nestabilnost mlađnice)
- nestabilnosti struje ili driftne nestabilnosti - nastaju zbog razlike brzine drifta elektrona i iona - potreće ih struja (Bunemanova ionsko-akustična, niza hibridna, nestabilnost dugih tokova)
- nestabilnosti stočca gubitka - u plazmenim sustavima zatvorenim u magnetskoj boji i nastaju zbog anizotropije u faznom prostoru brzina
- gradijentne nestabilnosti - zbog temperaturne anizotropije (temp u okomitom i paralelnom smjeru nisu jednake) i zbog diskontinuiteta u nekoj fizikalnoj veličini (npr. pri prolasku udarnih valova plazmenim sustavom)