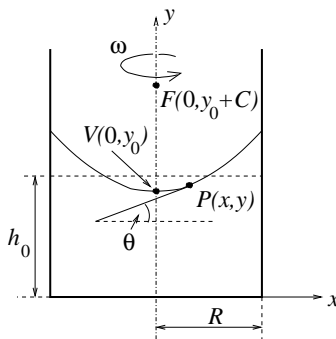


Kísérleti forduló ²

Forgó folyadék

A mérés három fő részből áll:

1. A forgó folyadék szabad felszínének vizsgálata, és a nehézségi gyorsulás meghatározása.
2. A forgó folyadék mint optikai rendszernek a vizsgálata.
3. A folyadék törésmutatójának meghatározása.



1. ábra

1. ábra. Definíciók: y tengely körüli állandó szögsebességű forgás esetében θ a lejtés szöge a $P(x, y)$ pontban; V a forgó folyadék forgásparaboloid felületének csúcspontja, F a fókusza. A folyadék eredeti magassága h_0 , R pedig az edény sugara.

Ha egy folyadékkal töltött hengeres edény a középpontján átmenő függőleges tengely körül állandó ω szögsebességgel forog, a folyadék szabad felszíne forgásparaboloid alakú lesz (1. ábra). Egyensúlyi állapotban a felület $P(x, y)$ pontbeli érintője θ szöget zár be a vízszintessel, úgy hogy

$$(1) \quad \operatorname{tg} \theta = \frac{\omega^2 x}{g} \quad (\text{ha } |x| \leq R),$$

ahol R az edény sugara és g a nehézségi gyorsulás. Az is belátható, hogy $\omega < \omega_{\max}$ esetében (ahol ω_{\max} ebben a részfeladatban azt a szögsebességet jelöli, amelynél a forgó folyadék felszíne középen érinti az edény alját) az

$$(2) \quad x = x_0 = \frac{R}{\sqrt{2}} \quad \text{helyen} \quad y(x_0) = h_0,$$

azaz a forgó folyadék magassága megegyezik az álló folyadék magasságával.

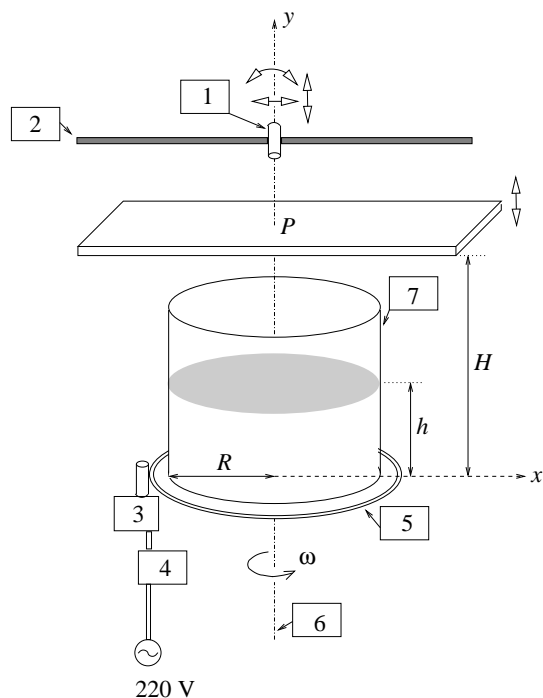
A forgó folyadék szabad felszíne parabola alakú, amit a következő egyenlet definiál:

$$(3) \quad y = y_0 + \frac{x^2}{4C},$$

ahol a parabola csúcspontja a $V(0, y_0)$ pontban, fókusza pedig az $F(0, y_0 + C)$ pontban van. Ha a szimmetriatengellyel (optikai tengellyel) párhuzamos fénysugarak verődnek vissza a parabola felszínéről, akkor ezek mind átmennek az F ponton.

A mérési berendezés és tartozékai (2. ábra)

¹A feladatok megoldását a novemberi számunkban közöljük.



2. ábra

2. ábra. Kísérleti elrendezés az 1. és a 2. részfeladathoz: 1. Állványra rögzített lézer, 2. átlátszó ernyő, 3. motor, 4. motor szabályozó, 5. forgó korong, 6. forgástengely, 7. hengeres edény.

- Glicerinnel töltött, merev, hengeres műanyag edény. Az edény oldalán és alján milliméter skála van.
- Kis egyenáramú motorral hajtott forgó korong. A motort egy változtatható feszültségforrás működteti, ezzel lehet szabályozni a szögsebességet.
- Átlátszó vízszintes ernyő, amelyre átlátszó vagy áttetsző milliméter skálát rakhatsz. Az ernyő helyzete függőleges és vízszintes irányban is állítható.
- Állványra szerelt lézer. A lézer helyzete állítható. A lézer fejrésze cserélhető.
- Másik fejrész a lézerhez.
- Vonalzó.
- Filctoll.
- Stopper. (A bal gombbal lehet nullázni, a középsővel az üzemmódot beállítani, a jobb gombbal pedig indítani és leállítani a stoppert.)
- 1000 vonal/mm-es optikai rács.
- Buborékos vízszintező.
- Szemüveg.

Fontos figyelmeztetések

• **NE NÉZZÉL KÖZVETLENÜL A LÉZERSUGÁRBA! VEDD FIGYELEMBE, HOGY A TÜKRÖZŐ FELÜLETEKRŐL VISSZAVERÓDÓ LÉZERFÉNY IS VESZÉLYES LEHET! SAJÁT BIZTONSÁGOD ÉRDEKÉBEN HASZNÁLD A RENDELKEZÉSRE BOCSÁTOTT SZEMÜVEGET!**

- A mérés során végig óvatosan bánj a glicerinnel teli edénnyel!
- A forgó korong vízszintezve van. A buborékos vízszintezőt az ernyő vízszintezésére használd!
- A mérés során az ernyőn több fényfoltot is fogsz látni, melyeket a folyadék, a levegő, az ernyő és az edény különböző határfelületein létrejövő visszaverődések és/vagy törések okoznak. Győződj meg róla, hogy a megfelelő sugarat méred-e!
- A folyadék forgatásakor folyamatosan változtasd a szögsebességet, és várd meg az egyensúlyi állapot beálltát, mielőtt mérni kezdenél!

A mérés

1. rész: *g* Meghatározása forgó folyadék segítségével (7,5 pont)

- Vezesd le az (1)-es egyenletet!
- Mérd meg az edényben lévő folyadék h_0 magasságát és az edény $2R$ belső átmérőjét!
- Helyezd az ernyőt a fényforrás és az edény közé! Mérd meg az ernyő és a forgó asztal közti H távolságot.
- Állítsd be a lézert úgy, hogy a fénysugár függőlegesen lefelé mutasson, és a folyadék felszínét az edény középpontjától $x_0 = R/\sqrt{2}$ távolságra érje el!
- Forgasd lassan a forgó asztalt! Győződj meg róla, hogy a folyadék középpontja nem éri el az edény alját!
- Tudjuk, hogy $x_0 = R/\sqrt{2}$ esetén a folyadék magassága az ω szögsebességtől függetlenül ugyanakkora, mint az eredeti h_0 magasság. Felhasználva ezt a tényt mérd meg ezen az x_0 helyen a θ szöget különböző ω szögsebességeknél, hogy ebből majd a g nehézségi gyorsulást meghatározhasd!

- Foglald táblázatba az egyes ω értékeknél mért és számított mennyiségeket!
- Készítsd el a g meghatározásához szükséges grafikont!
- Számítsd ki g értékét és határozd meg a mérési hibát!
- Írd be $2R$, x_0 , h_0 , és H értékét, valamint g mért értékét és hibáját a válaszlapra!

2. rész: Optikai rendszer

A kísérlet ezen részében a forgó folyadékot képalkotó optikai rendszernek tekintjük. Mivel a forgás szögsebességét változtatva a felület görbülete változik, az optikai eszközünk fókusz távolsága függ ω -tól.

a) A fókusz távolság vizsgálata (5,5 pont)

– Állítsd a lézert olyan helyzetbe, hogy a lézersugár az edény tengelye mentén függőlegesen lefele haladjon! Jelöld meg azt a P pontot, ahol a fénysugár átmegy az ernyőn. Ezt a pontot az edény középpontjával összekötő egyenes a rendszer optikai tengelye.

– Mivel a folyadék felszíne parabolatükröként viselkedik, az optikai tengellyel párhuzamosan beeső fénysugarak a visszaverődésük után az optikai tengelyt az F fókuszpontban metszik.

– Állítsd be a forgás szögsebességét úgy, hogy a fókuszpont éppen az ernyőre kerüljön. Mérd meg ekkor a forgás ω szögsebességét, valamint az ernyő és a forgó korong közötti H távolságot!

– Ismételd meg a fenti lépéseket különböző H értékek mellett!

– Másold át $2R$ és h_0 mért értékeit, valamint a különböző H értékekhez tartozó mért ω -kat a válaszlapra!

– Mérési adataidra illesztett alkalmas grafikon segítségével határozd meg, hogy milyen kapcsolat van a fókusz távolság és a szögsebesség között!

b) Az ernyőn látható „kép” analízise (3,5 pont)

A mérési feladat ezen részében az optikai rendszer által létrehozott „kép” kell vizsgálnod. Ezt az alábbi lépéseket követve teheted meg.

– Az óramutató járásával ellentétesen csavarva távolítsd el a lézer fejrészét!

– Helyezd fel (az óramutató járásával egyezően csavarva) a borítékban található új fejrészt! Így most a lézered a korábbi keskeny nyaláb helyett egy jellegzetes alakban kiinduló fényt fog kibocsátani.

– Állítsd be a lézert oly módon, hogy a fénye nagyjából az edény közepénél, majdnem merőlegesen essék a folyadékra!

– Helyezz egy áttetsző papírlapot az edényhez közeli helyzetben rögzített vízszintes ernyőre oly módon, hogy a lézerfény ne haladjon át a papírlapon, de a visszavert fény már igen!

– Figyeld meg a fényforrás direkt fénye által létrehozott, valamint a még nem forgó folyadékról visszaverődött fény által létrehozott „kép” méretét, valamint állását!

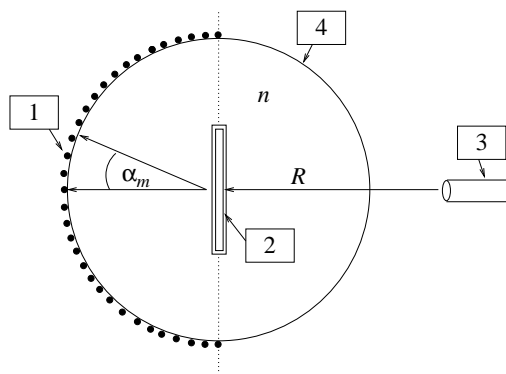
– Kezdd el forgatni a folyadékot, és lassan növelj a szögsebességet egészen a feszültségforrás által elérhető legnagyobb értékig, s közben figyeld az ernyőt! Miközben ω -t növeled, több szögsebesség-intervallumot figyelhetsz meg, amelyekben a „kép” jellemző tulajdonságai lényegesen különbözőek. Írd le ezeket a megfigyeléseket (egészítsd ki a válaszlap táblázatát az egyes frekvencia-intervallumokra utaló sorok hozzáadásával)!

3. rész: A törésmutató (3,5 pont)

A mérési feladat ezen részében az adott folyadék törésmutatóját határozzuk meg egy optikai rács segítségével. Ha λ hullámhosszúságú monokromatikus fény merőlegesen esik egy diffrakciós rácsra, az m -edrendű elhajlási maximum α_m szögét megadó egyenlet:

$$(4) \quad m\lambda = d \sin \alpha_m,$$

ahol d a rácsállandó. Ebben a részfeladatban egy diffrakciós rács segítségével a lézerfény hullámhosszát, majd a folyadék törésmutatóját kell meghatározni (3. ábra).



3. ábra

3. ábra. Az optikai rács felülnézetben. 1. Skálázott oldalfal, 2. optikai rács tartóban, 3. lézer, 4. hengeres edény.

– Határozd meg az optikai rács segítségével a lézerfény hullámhosszát!

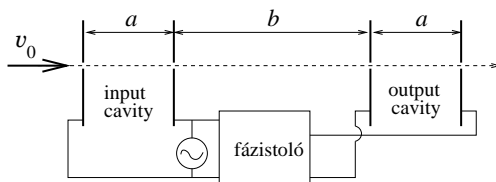
– Merítsd a rácsot az edény közepénél függőlegesen a folyadékba!

- Irányítsd a lézert az eredeti fejrészrel úgy, hogy a fénye az edény oldalfalán keresztül merőlegesen essék a rácásra!
- Az edény túloldalára erősített milliméter-skálán figyeld meg a keletkező elhajlási képet! Ha szükséges, végezz távolságméréseket!
- A mérési adataid felhasználásával számítsd ki a folyadék n törésmutatóját! (A műanyag edény falának a fény útjára gyakorolt hatását elhanyagolhatod.)

Elméleti forduló ³

1. feladat. ⁴

1.A. Klisztron



4. ábra.

A klisztron nagyon nagy frekvenciás jelek erősítésére szolgáló eszköz. A klisztron lényegében két egyforma lemez-párból (üregből) áll, melyek egymástól b távolságra vannak a 4. ábrán látható módon.

Egy kezdetben v_0 sebességű elektronsugár halad át az egész rendszeren a lemezekre vágott kicsiny lyukakon keresztül. Az erősítendő nagyfrekvenciás feszültséget egy meghatározott fáziskülönbséggel (a T periódusidő 2π fázisnak felel meg) rákapcsolják mindkét lemezpárra, ezáltal az üregekben vízszintes, váltakozó elektromos tér keletkezik. Azok az elektronok, amelyek akkor lépnek be a bal oldali üregbe (input cavity), amikor az elektromos térerősség vektora jobbra mutat, lelassulnak, és fordítva: a balra mutató elektromos térbe érkező elektronok felgyorsulnak. Így a továbbhaladó elektronok bizonyos távolságra összetorlódhatnak. Ha a jobb oldali üreg (output cavity) éppen egy torlódási pontnál van, az üregben levő elektromos tér energiát kap az elektronsugártól, feltéve, hogy az elektromos tér fázisa megfelelő.

Legyen a feszültséggel egy négyzetűjel $T = 1,0 \cdot 10^{-9}$ s periódusidővel váltakozva $V = \pm 0,5$ V feszültségek között! Az elektronok kezdeti sebessége $v_0 = 2,0 \cdot 10^6$ m/s, fajlagos töltése pedig $e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$ C/kg. Az a távolság olyan kicsi, hogy az elektronok üregeken való áthaladási ideje elhanyagolható. Számítsd ki, és add meg 4 értékes jegy pontossággal a következőket:

- Azt a b távolságot, ahol az elektronok összetorlódhatnak. (1,5 pont)
- A fázistoló által létrehozandó fáziskülönbséget. (1 pont)

1.B. Molekulák közötti távolság

Jelölje d_L a vízmolekulák közti átlagos távolságot, d_V pedig a vízgőz molekuláinak átlagos távolságát! Feltételezzük, hogy mindkét fázis 100 °C-os és légköri nyomású, továbbá azt, hogy a vízgőz ideális gázként viselkedik! Számítsd ki az alábbi adatok felhasználásával a d_V/d_L arányt! (2,5 pont)

Adatok:

A víz sűrűsége folyadékfázisban: $\rho_L = 1,0 \cdot 10^3$ kg/m³.

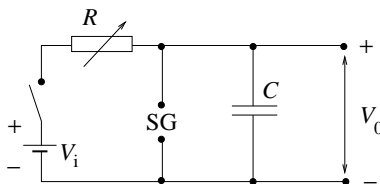
A víz móltömege: $M = 1,8 \cdot 10^{-2}$ kg/mol.

A légköri nyomás: $p_0 = 1,0 \cdot 10^5$ N/m².

Az univerzális gázállandó: $R = 8,3$ J/mol · K.

Az Avogadro-szám: $N_A = 6,0 \cdot 10^{23}$ /mol.

1.C. Egyszerű fűrészfog-generátor



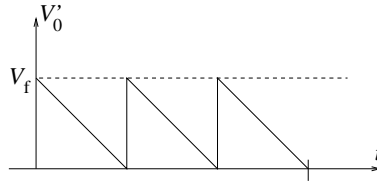
5. ábra.

Egy fűrészfog alakú feszültségjel (V_0) az 5. ábrán látható C kapacitással, R változtatható ellenállással, V_i ideális teleppel és az SG jelű szikraközzel (spark gap) állítható elő. Ez utóbbi két elektródát tartalmaz, melyek távolsága változtatható. Ha az elektródák közötti feszültség eléri a V_f kisülési (firing) feszültséget, a közöttük levő levegő átüt, így a szikraköz rövidzárként működik mindaddig, míg a rá eső feszültség nagyon kis értékre nem csökken.

- Rajzold fel, hogyan változik a kapcsoló zárását követően a V_0 feszültség a t idő függvényében! (0,5 pont)

⁴Ez a feladat 4 független részfeladatból áll.

- b) Milyen feltételnek kell teljesülnie ahhoz, hogy V_0 csaknem lineárisan változó fűrészfogjel legyen? (0,2 pont)
- c) Feltéve, hogy ez a linearitási feltétel teljesül, vezesd le a jelalak T periódusidejét megadó egyszerű közelítő formulát! (0,4 pont)
- d) Mit változtassunk meg (R -t és/vagy SG -t) ahhoz, hogy a fűrészfogjelnek csak a periódusideje változzék? (0,2 pont)
- e) Mit változtassunk meg (R -t és/vagy SG -t) ahhoz, hogy a fűrészfogjelnek csak az amplitúdója változzék? (0,2 pont)

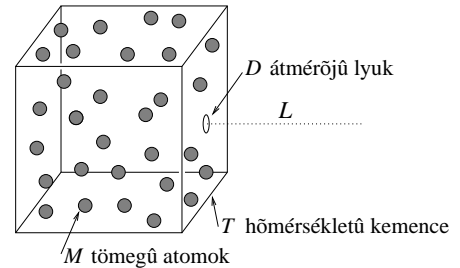


6. ábra.

f) Kapsz a korábbi eszközök mellé még egy változtatható kimenetű egyenáramú feszültségforrást is. Tervezz meg és rajzolj le egy olyan új áramkört, mellyel a 6. ábrán látható feszültség-jelalakot állíthatod elő! (1 pont)

1.D. Atomsugár

Egy atomsugarat úgy lehet előállítani, hogy bizonyos számú atomból álló gázt T hőmérsékletre hevítünk, és lehetővé tesszük, hogy az atomok a kemence falán lévő igen kicsiny (az atomok méretével összemérhető) D átmérőjű lyukon víz-



szintes irányban kilépjenek (7. ábra).

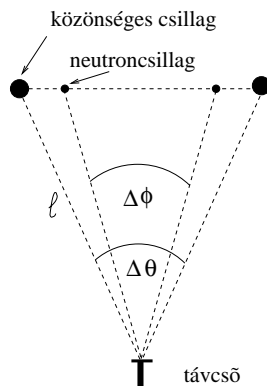
7. ábra.

Becsüld meg, mekkorára nő a sugár átmérője L hosszúságú vízszintes út megtétele után! Az atomok tömege M . (2,5 pont)

2. feladat. Kettőscsillag

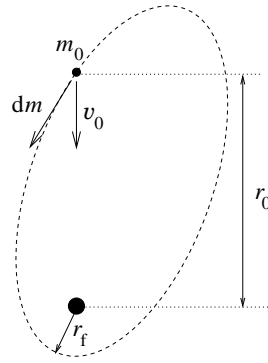
a) Jól ismert, hogy a legtöbb csillag kettőscsillag-rendszernek része. A kettőscsillagok egyik típusa egy m_0 tömegű és R sugarú közönséges csillagból, valamint egy kisméretű, de sokkal nagyobb tömegű (M tömegű) neutroncsillagból áll, és ezek egymás körül keringenek. A Föld mozgását a továbbiakban mindenhol figyelmen kívül hagyhatod! Egy ilyen kettőscsillagról távcsöves megfigyelésekkel a következő információkat nyerhetjük:

– A csillag legnagyobb szögmozdulása $\Delta\theta$, míg a neutroncsillag legnagyobb szögmozdulása $\Delta\phi$ (8. ábra).



8. ábra.

- A legnagyobb szögmozduláshoz szükséges idő τ .
- A közönséges csillagra jellemző sugárzás vizsgálata azt mutatja, hogy a csillag felszíni hőmérséklete T , és róla a Föld felszínére felületegységenként és időegységenként P sugárzási energia érkezik.
- Ebben a sugárzásban a kalcium színképvonalának hullámhossza $\Delta\lambda$ értékkel különbözik a földi körülmények között szokásos λ_0 hullámhossztól. Az eltérést a közönséges csillag gravitációs terének hatása okozza. (A számítás során a fotont $h/(c\lambda)$ effektív tömegű részecskének tekintheted.)



9. ábra.

Vezess le egy olyan kifejezést, amely a távcsöves megfigyelési adatok és univerzális állandók felhasználásával megadja a Föld és a kettőscsillag ℓ távolságát. (7 pont)

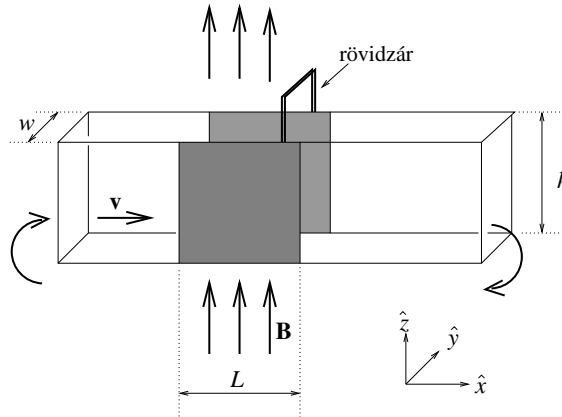
b) Tegyük fel, hogy $M \gg m_0$, és így a közös csillag lényegében a neutroncsillag körül kering egy r_0 sugarú körpályán. Feltesszük továbbá, hogy a közös csillag gázt bocsát ki magából, s ezt a gázt saját magához képest v_0 relatív sebességgel a neutroncsillag felé lövelli (9. ábra). Tudva azt, hogy a feladatban a neutroncsillag gravitációs erőtere a meghatározó, és elhanyagolva a közös csillag pályájának megváltozását, határozd meg azt az r_f távolságot, amennyire a gáz megközelíti a neutroncsillagot. (3 pont)

3. feladat. Magnetohidrodinamikai (MHD) generátor

Egy téglalap keresztmetszetű, vízszintes műanyag cső szélessége w , magassága h . Az önmagába záródó csőben ρ fajlagos ellenállású higany található. A higanyt egy P túlnyomást biztosító szivattyú állandó v_0 sebességgel hajtja körbe. A cső két szemközti függőleges falának L hosszúságú szakaszát rézlemezek borítják (10. ábra).

Egy folyadék valóságos mozgása nagyon bonyolult, összetett jelenség. A helyzet egyszerűsítése érdekében tegyük fel a következőket:

- Jóllehet a folyadék viszkózus, a sebességet tekintsük a cső teljes keresztmetszetében ugyanakkorának!
- A folyadék sebessége mindig arányos a folyadékra ható eredő külső erővel.
- A folyadék összenyomhatatlan.



10. ábra.

A rézlapokat a folyadékon kívül rövidre zárjuk, majd folyadék rézlapokkal határolt szakaszán függőlegesen felfelé mutató, homogén \mathbf{B} mágneses teret kapcsolunk be. Az elrendezést a 10. ábra mutatja, a megoldás során használandó \hat{x} , \hat{y} és \hat{z} egységvektorokkal.

a) Határozd meg a mágneses tér által a folyadékra kifejtett erőt (L , B , h , w , ρ és a megváltozott v sebesség függvényében)! (2 pont)

b) Vezess le egy olyan formulát, amely megadja a folyadék megváltozott v sebességét (v_0 , P , L , B és ρ függvényében) a mágneses tér bekapcsolása után! (3 pont)

c) Vezesd le azt a képletet, amely megadja, hogy mekkora többletteljesítményre van szüksége a szivattyúnak ahhoz, hogy az áramlás sebességét az eredeti v_0 értékre állítsa vissza! (2 pont)

d) A mágneses teret most kikapcsoljuk, és a higanyt v_0 sebességgel folyó vízzel helyettesítjük. Egy adott frekvenciájú elektromágneses hullámot küldünk végig az L hosszúságú szakaszon, az áramlással azonos irányban. A víz törésmutatója n , $v_0 \ll c$. Vezesd le azt a kifejezést, amely megadja, hogy mekkora a folyadék mozgásának járuléka a hullám L hosszúságú szakaszra eső fáziskülönbségéhez! (3 pont)