



Kauno technologijos universitetas
Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

Fizika 1 Doplerio efektas
P190B101 Fizika 1 probleminė užduotis 4

Lukas Kuzmickas
Gvidas Šutkus
Mindaugas Padegimas
Kasparas Putrius
Justas Jankauskas

Projekto autoriai

IFF-1/6
Akademinei grupei

Doc. Aleksandras Iljinas
Vadovai

Kaunas, 2022

Turinys

Santrauka	3
Įvadas.....	4
1. Tvardaraštis	5
2. Problemos sprendimo būdų ir metodų apžvalga	6
3. Fizikinių dėsnių taikomų problemos sprendimui aprašymas	9
4. Laboratoriniai darbai: fizikinių dėsnių iliustracija	10
4.1 Laboratorinis darbas „Garso greičio ore nustatymas bangų interferencijos metodu“	10
4.2 Laboratorinis darbas „Slopinamųjų svyravimų tyrimas“	13
5. Problemninio uždavinio rezultatai.....	18
6. Išvados	22
Literatūros sąrašas	23

Santrauka

Problema:

Pagrindinis tikslas – apibūdinti ir sužinoti kas yra Doplerio efektas. Nustatyti kokiomis sąlygomis ir aplinkybėmis vyksta šis reiškinys, kokie šio efekto ypatumai, savybės. Pasidomėti, kokie šio efekto sąryšiai tarp fizikinių dydžių, kaip jie kinta ir kaip susiję. Svarbu suprasti ir kur šis efektas aptinkamas realiame gyvenime bei kur panaudojamas praktikoje. Norint geriau suprasti Doplerio efektą, jį pavaizduosime aiškiau – vaizdžiau, kasdieninis atvejis – greitosios pagalbos automobilio pravažiavimas. Doplerio efekto nagrinėjimui atlikome du laboratorinius darbus: „Garso greičio ore nustatymas, bangų interferencijos metodu“ ir „Slopinamųjų svyravimų tyrimas“.

Sprendimo būdai:

- Doplerio efekto apibūdinimas.
- Efektas realiame gyvenime bei panaudojimas praktikoje.
- Efekto sąryšiai tarp fizikinių dydžių (dažnis, bangos greitis).
- Vaizdus efekto pristatymas.

Reikalingos formulės:

- Bangos dažnio formulės.
- Bangos greičio formulės.
- Doplerio efekto dažnio formulės.

Gauti rezultatai:

- Doplerio reiškinio dažnio kitimas, stebėtojo atžvilgiu.

Įvadas

Problema:

Šiuo PBL nagrinėsime Doplerio efektą, išsiaiškinsime kas tai per reiškinys, kokiomis aplinkybėmis jis atsiranda, kokie fizikiniai reiškiniai tai lemia (bangos) bei kokios šio reiškinio ypatybės ir kur pritaikomas praktikoje. Geresniam Doplerio efekto nagrinėjimui atlikome gyvenimišką šio efekto vizualizaciją.

Problemos svarba:

Su šiuo reiškiniu yra svarbu susipažinti, nes šiandien pritaikomas daugelyje įvairių sričių : astrologijoje , meteorologijoje, medicinoje, automobilinėje technikoje , radiolokaciniuose radaruose. Teisingai suprantant šį efektą galima jį pritaikyti praktikoje.

Uždaviniai:

- 1) Kas yra Doplerio efektas?
- 2) Kokiomis savybėmis, ypatybėmis, fizikiniais reiškiniais pasižymi šis efektas?
- 3) Efekto pritaikymas ir pavyzdžiai realiame gyvenime.
- 4) Vaizdas Doplerio efekto pristatymas

1. Tvarkaraštis

Data	Darbai
3/01	Išrinkta PBL tema ir darbų pasiskirstymas
3/08	Laboratorinio darbo „Garso greičio ore nustatymas bangų interferencijos metodu“ darymas
3/15	Laboratorinio darbo „Slopinamųjų svyravimų tyrimas“ darymas
3/16 - 3/19	Medžiagos rinkimas ir apjungimas
3/20	Ataskaitos užbaigimas

1 pav. Darbo tvarkaraštis

2. Problemos sprendimo būdų ir metodų apžvalga

- **Apibūdinkite kas tai yra Doplerio reiškinys?**

Doplerio efektas yra reiškinys, susijęs su judančių objektų poveikiu elektromagnetiniam laukui, o tiksliau - registruojamo elektromagnetinių bangų dažnio arba bangos ilgio priklausomybė nuo šaltinio ir imtuvo judėjimo vienas kito atžvilgiu greičio. Tokiu būdu stebintysis, santykinai judant bangai, keičia bangos dažnį ar bangos ilgį. Pavyzdžiui, apsvarstykite asmenį, stovintį šalia kelio. Priartėjusi transporto priemonė priartėja prie stebėtojo, priartėja ir paskui atsitraukia nuo stebėtojo. Kol transporto priemonė artėja, stebėtojas girdi ragą žemu tonu. Tačiau transporto priemonei artėjant prie stebėtojo garsas tampa vis aukštesnis ir aukštesnis, arčiausiai jo esančiame taške. Tačiau pravažiavus tą tašką, garso dažnis ar aukštis mažėja atsižvelgiant į atstumą.

Doplerio metodu galima išmatuoti bangas spinduliuojančio šaltinio arba jas sklaidančio objekto judėjimo greitį. Jei šaltinis ir imtuvas artėja vienas prie kito, registruojamos padidinto dažnio, trumpesnės bangos (mėlynasis poslinkis) negu iš tikrųjų šaltinio iš tikrųjų skleidžiamas garsas. Jei šaltinis tolsta nuo imtuvo, registruojamos mažesnio dažnio, ilgesnės bangos (raudonasis poslinkis). Doplerio efektas yra kinematinio pobūdžio reiškinys. Jis pasireiškia visoms bangoms: radijo bangomis, elektromagnetinėms, garso bangoms ir mechaninėms bangomis. Garso dažnis – sutankėjimų skaičius per sekundę. Matuojami hercais. 1Hz – lygus vienam virpesiui per sekundę. Svarbu suvokti, kad pats šaltinio skleidžiamų bangų dažnis nekinta, pakinta tik stebimas bangos ilgis, tuo pačiu ir fiksuojamas dažnis.

- **Pateikite pavyzdžių kur šis reiškinys pritaikomas inžinerijoje ir moksle?**

Doplerio efektas, pasireiškiantis tarp elektromagnetinių bangų, labai naudingas astronomijoje, ir yra stebimas kaip raudonasis poslinkis arba mėlynasis poslinkis. Jis taikomas norint nustatyti žvaigždžių ar galaktikos radialinį greitį, kuris parodo koku greičiu kūnas artėja ar tolsta nuo mūsų. Doplerio efektas yra naudojamas radaruose objektų greičiams nustatyti. Pastovaus dažnio radijo bangos yra paleidžiamos į judantį objektą judantį tolyn arba artyn nuo radaro. Priklausomai nuo kaip objektas pasikeis atspindėjusių bangų dažnis, kuris grįš atgal į radaro bangų siųstuvą. Tolstant dažnis bus mažesnis, o objektui artėjant dažnis bus didesnis. Galima pritaikyti daugybėje sričių: matuoti kosminių kūnų greičius, mašinų greičius, lėktuvų greičius. Galima apskaičiuoti kitų planetų sukimosi greičius.

Doplerio efektas naudojamas nustatyti skysčių tekėjimo greičiui. Tam yra sukurti du aparatai: akustinis Doplerio greičio matuoklis(acoustic Doppler velocimeter – ADV) ir lazerinis Doplerio greičio matuoklis(laser Doppler velocimeter – LDV). ADV skleidžiant ultragarso akustiką, o LDV skleidžiant šviesos spindulį galima apskaičiuoti pokytį atsispindėjusios bangos nuo judančios skysčio dalelės.

Doplerio efektą galima pritaikyti ir medicinoje. Naudojant echokardiogramą galima tiksliai nustatyti audinių ir kraujų greitį, bei kokia kryptimi teka kraujas bet kokių laiko momentu. Deja, Doplerio efekto pagalba negalima įvertinti širdies funkcionalumo ir širdies vožtuvų darbo. Doplerio efektu tiksliai galima nustatyti kraujagyslių problemas bei stenoze. Stenozė – tai stuburo kanalo susiaurėjimas, kuomet stuburo smegenys ir nervai, einantys iš slankstelių, yra užspaudžiami. Stenozė sukelia skausmą, o kartais net ir dalinį paralyžių.

Doplerio efektas taip pat yra pritaikomas ir kare. Sonarų pagalba yra galima nustatyti povandeninių laivų judėjimą bei greitį. Naudojamas plūduras, kuris generuoja stabilūs dažnius, kurie pagal Doplerio efektą apskaičiuoja kaip elgiasi vandenyje esantys objektai.

Šis efektas taip pat yra pritaikomas ir robotikoje. Robotai naudoja Doplerio efektą realaus laiko kelio planavimui sudėtingoje, kliūčių pilnoje ir nuolatos besikeičiančioje aplinkoje. Tai ypač praverčia konkurencingame robotų kovų sporte, tokiaime kaip robotų futbolas.

Taip pat galima naudoti vibracijai nustatyti. Tam yra naudojamas jau anksčiau minėtas LDV – lazerinis Doplerio greičio matuoklis. Tai bekontaktis prietaisas. LDV skleidžiant šviesos spindulį į norimą paviršių ir pagal Doplerio efektą galima nustatyti grįžtamųjų dažnių skirtumą ir jų amplitudę, kuri parodys kaip juda ar vibruoja paviršius.

Pritaikant Doplerio efektą yra ieškoma egzoplanetų, kurių negalima aptikti net ir naudojant nepaprastai stiprius teleskopus. Mokslininkai ieško žvaigždžių, kurios šiek tiek virpa aplink savo ašį. Reikia paminėti tokiu būdu galima rasti egzoplanetas panašaus dydžio ar didesnes už Jupiterį. Bet vis vien galima išmatuoti egzoplanetos orbitos formą, minimalią planetos masę bei metų trukmę.

- **Kokioms bangoms pasireiškia šis reiškinys?**

Doplerio efekto savybes pastebime ir Edvino Hablo atliktame tyrime 1929 metais, kuriame teigiama, kad visata plečiasi dėl Doplerio efekto ir būtent šitas efektas turi svarbių pritaikymų astronomijos ir kosmoso tyrimuose. Šis efektas atsiranda tiek šviesai ir garsui, pagal tai mokslininkai nustato, kaip greitai žvaigždės, galaktikos tolsta nuo mūsų, matuojant, kiek jų šviesa ištempta į mažesnio dažnio raudonąjį spektrą, o kai objektas artėja matuojama kiek šviesa ištempta į didesnio mėlynojo spektro poslinkį. Taip pat Doplerio efektą pastebime ir garso barjero smūgio bangos metu, kuris atsiranda, kai pavyzdžiui ultragarsinis orlaivis praskrieja žmogui virš galvos ir susidaro garso barjeras, dėl suspaustų bangų susikaupimo išilgai kūginio bangos modelio krašto. Taip pat šios suspaustos bangos trukdo susidaryti labai aukšto slėgio zonai. To pasekmėje bangos, tave pasiekia ne po vieną iš eilės, bet iškart vienu metu. O pasinaudoja Doplerio efekto savybėmis, matome, kad po kiekvieno suspaudimo seka retėjimas, po aukšto slėgio zonos iškart atsiranda žemo slėgio zona ir tai sukuria labai stiprų triukšmą. Dar vienas pavyzdys su Doplerio efekto bangų bruožais yra meteorologijoje. Radaras yra įmontuojamas į specialią orų stotelę ir į aplinką yra išsiunčiamos tam tikro dažnio radijo bangos. Pasiekusios debesis, bangos nuo jų atsimuša ir grįžta atgal, link radaro. Jei debesis tolsta nuo radaro, gautas dažnis yra mažesnis nei išsiųstasis. Jeigu artėja – gautasis dažnis yra didesnis už išsiųstąjį iš prietaiso. Gautus duomenis kompiuteris, esantis radaro viduje, apdoroja ir paverčia įvairiais paveikslėliais, žemėlapiais, rodančiais vėjo kryptį ir greitį.

3. Fizikinių dėsnių taikomų problemos sprendimui aprašymas

Fizikiniai dydžiai:

- f – Hz (dažnis)
- f_0 – Hz (pradinis dažnis)
- v_s – m/s (siųstuvo greitis)
- v – m/s (greitis)
- v_{garso} – 340 m/s (garso greitis)
- $v_{šaltinio}$ – m/s (šaltinio greitis)
- v_{imtuvo} – m/s (imtuvo greitis)
- λ – m (bangos ilgis)
- T – s (periodas)
- ω – $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ (kampinis dažnis)

Pagrindinės formulės:

$$f = f_0 \left(1 - \frac{v_s}{v}\right)$$

(formulė tinka, kai stebėtojo greitis $v = 0$)

$$f = f_0 \left(\frac{v_{garso}}{v_{garso} - v_{šaltinio}}\right)$$

(formulė tinka, kai stebėtojo greitis $v = 0$)

$$f = f_0 \left(\frac{v_{garso} + v}{v_{garso} + v_{šaltinio}}\right)$$

(formulė tinka, kai garso šaltinis artėja prie imtuvo ir stebėtojas juda (Ox ašimi))

$$f = f_0 \left(\frac{v_{garso} - v}{v_{garso} - v_{šaltinio}}\right)$$

(formulė tinka, kai garso šaltinis tolsta nuo imtuvo ir stebėtojas juda (prieš Ox ašį))

4. Laboratoriniai darbai: fizikinių dėsnių iliustracija

4.1 Laboratorinis darbas „Garso greičio ore nustatymas bangų interferencijos metodu“

Darbo užduotis:

Taikant bangų interferencijos metodą, nustatyti garso greitį ore, apskaičiuoti oro molinių šilumų C_p ir C_v santykį, bei šio greičio ir santykio nuokrypius.

Teorinė dalis:

Šiame laboratoriniame darbe garso greitį gausime išmatavę sklindančių bangų ilgį. Formulės, kurios mums reikalingos. Greičio formulė (1), molinių šilumų santykio formulė (2), greičio nuokrypio formulė (3), molinio šilumų santykio nuokrypio formulė (4).

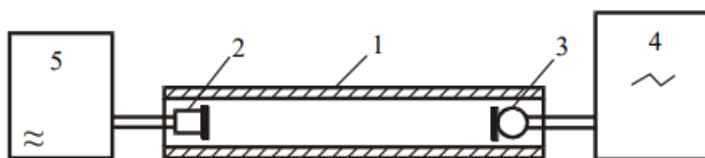
$$v = \lambda i * f i \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{v^2 * M}{R * T} \quad (2)$$

$$Sv = \sqrt{\frac{\sum (\langle v \rangle - v_i)^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

$$S\gamma = \sqrt{\frac{\sum (\langle \gamma \rangle - \gamma_i)^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

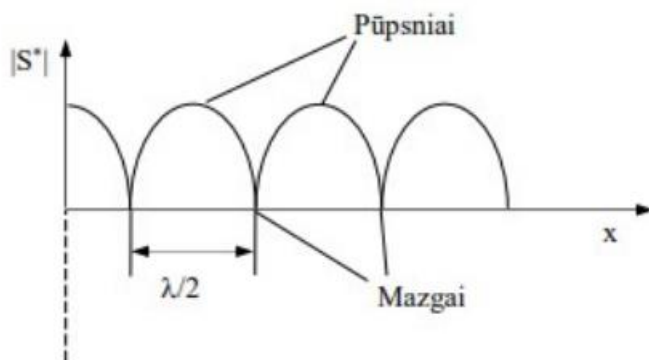
Priemonės (numeravimo tvarka) :



2 pav. Laboratorinio darbo priemonės

Laboratorinio darbo įrenginių schema parodyta paveiksle. Priemonės sudaro tiesus stiklinis akustinis vamzdis 1, kurio viename iš galų įtaisytas garsiakalbis 2, o kitame – mikrofonas 3. Šis mikrofonas prijungtas prie kompiuterio 4. Prie šio garsiakalbio prijungtas GDG (garsinių dažnių generatorius), kuris generuoja akustines bangas, kurios sklinda vamzdžiu.

Darbo metodas:



3 pav. pūpsnių nustatymas

Pagrindinis šio darbo tikslas nustatyti sklindančių bangų ilgį, tai padarome transformuodami elektrinius virpesius su garsinių dažnių generatoriumi, bangos pūpsniai – didžiausia elektrinių virpesių amplitudė. Atstumas tarp dviejų pūpsnių lygus pusei sklindančios bangos ilgio ($\lambda/2$).

Darbo eiga:

- 1) Įjungiamo generatorių bei kompiuterį ir pradedame generuoti 1kHz dažnio signalą.
- 2) Strypą su pritvirtintu mikrofonu atitraukiame netoli dešiniojo akustinio vamzdelio galo
- 3) Lėtai stumiame strypą su mikrofonu į kairę ir stebime virpesių amplitudę ekrane. Kai virpesių amplitudė bus didžiausia, mikrofonas bus stovinčios bangos pūpsnyje. Užsirašome jo padėtį milimetrais.
- 4) Toliau lėtai stumiame mikrofona į kairę iki gretimo pūpsnio ir išmatuojame nuotolį tarp dviejų pūpsnių: tai bus $\lambda/2$.
- 5) Šiuos bandymus dar kartojame su 1,5kHz, 2kHz, 2,5kHz dažniais.
- 6) Iš (1) formulės apskaičiuojame greitį ore ir vidutinę jo vertę.
- 7) Iš (2) formulės apskaičiuojame C_p ir C_v santykį ir vidutinę jo vertę.
- 8) Iš (3) ir (4) formulės apskaičiuojame nuokrypius.

Darbo rezultatai:

f_i, Hz	λ_i, m	$v_i, \text{m/s}$	$\langle v \rangle \text{ m/s}$	Γ_i	$\langle \Gamma \rangle$	$S_v \text{ m/s}$	S_Γ
1000	0,33	330	321,25	1,296	1,23025	7,18	0,0536
1500	0,22	330		1,296			
2000	0,15	300		1,0715			
2500	0,13	325		1,2575			

4 pav. Darbo rezultatų lentelė

Laboratorinio darbo išvados:

Pritaikę bangų interferencijos metodą nustatėme garso greitį ore, tačiau dėl pašalinių garsų, skaičiavimo paklaidų, įrangos netikslumo gavome rezultatus, kurie neatitinka teorinių rezultatų.

Naudojama literatūra:

1. Hugh Young, Roger Freedman, A. Lewis Ford, University Physics with Modern Physics Technology Update: Pearson New International Edition, Feb 2016, Paperback, 1599 p. Komentaras: Elektroninė versija prieinama visiems.
2. Tamašauskas A., Vosylius J. Fizika. - Vilnius: Mokslas, 1989.
3. E-kursas Moodle sistemoje.

4.2 Laboratorinis darbas „Slopinamųjų svyravimų tyrimas“

Darbo užduotis:

Nustatyti slopinamųjų svyravimų periodą T_1 ir kampinį dažnį ω esant skirtingoms slopinimo koeficiento δ vertėms, apskaičiuoti relaksacijos laiko τ ir logaritminio slopinimo dekremento Λ vertes.

Teorinė dalis:

Šiame laboratoriniame darbe atliekame slopinamųjų svyravimų tyrimą, mums pravartu žinoti, kas yra amplitudė, periodas, kampinis dažnis, relaksacijos laikas, slopinimo koeficientas, slopinimo dekremento. Šiems apskaičiavimas naudojome apkrovos jėgos formulę (5), periodo vidurkio formulę (6), kampinio dažnio formulę (7), slopinimo koeficiento formulę (8), logaritminio slopinimo dekremento formulę (9) bei konstantą e (10) kuri naudojame relaksacijos laikui apskaičiuoti.

$$F = m * g \quad (5)$$

$$\langle T_1 \rangle = \frac{n}{t} \quad (6)$$

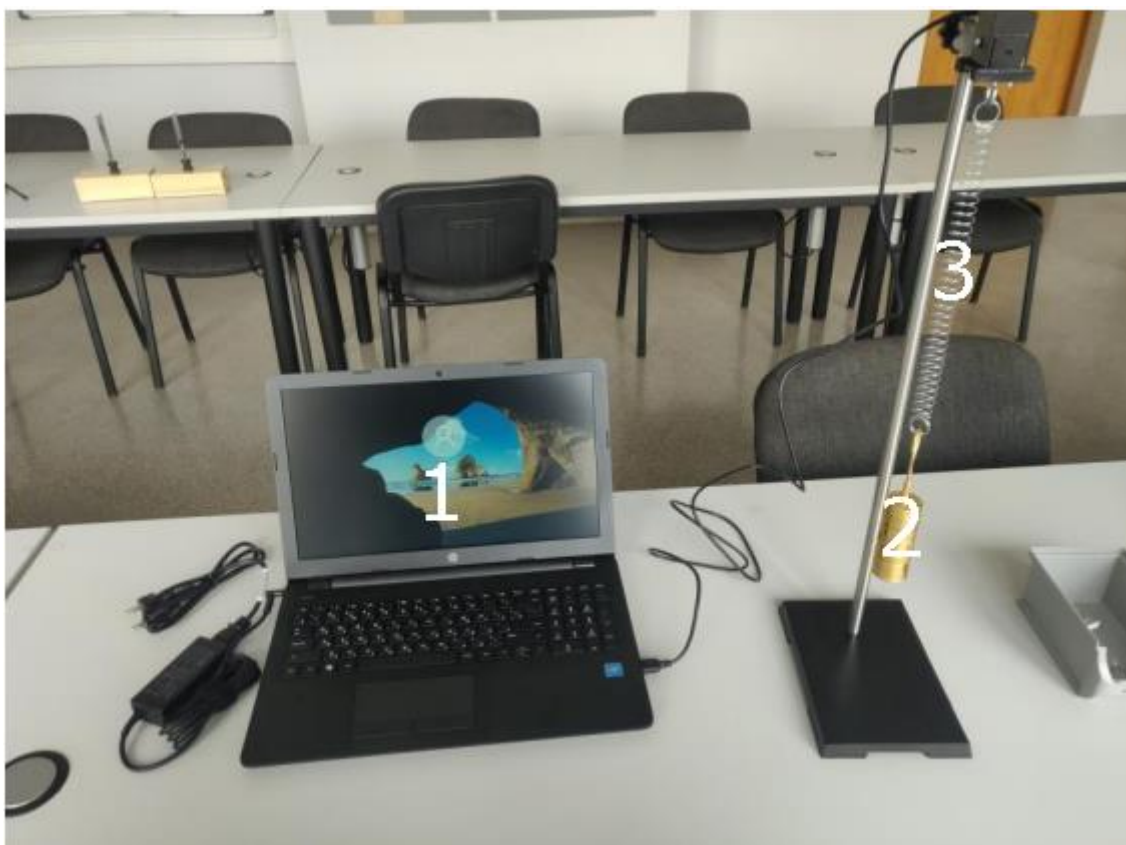
$$\omega = \frac{2\pi}{\langle T_1 \rangle} \quad (7)$$

$$\delta = \frac{1}{\tau} \quad (8)$$

$$\Lambda = \frac{1}{4} * \ln\left(\frac{A_1}{A_5}\right) \quad (9)$$

$$e = 2,71828 \quad (10)$$

Priemonės:



5 pav. Darbo priemonės sunumeruotos

- 1) Kompiuteris
- 2) Svareliai
- 3) Spyruoklės

Tyrimo metodas:

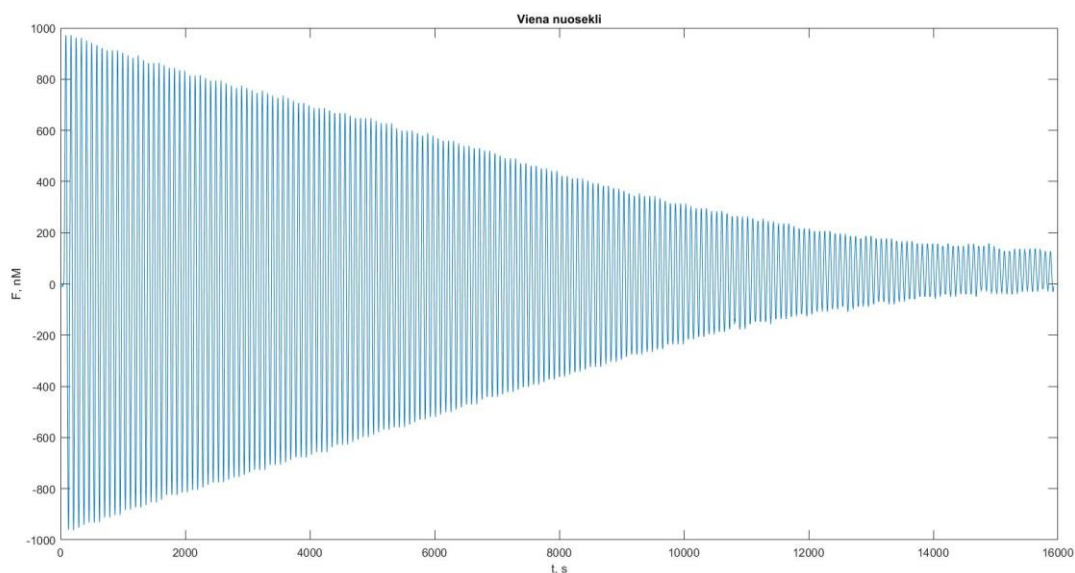
- 1) Įjungiamo kompiuterį ir paleidžiame programą „Slopinamieji svyravimai“.
- 2) Nustatome svarelių masę (kiekvienas atskiras svarelis sveria po 50 gramų) ir spyruoklių konfigūraciją – viena nuosekliai. Iš šių rezultatų žinome masę ir galime apskaičiuoti apkrovos jėgą (5).
- 3) Spyruokle su svareliais įtempame ne daugiau 5cm ir paspaudžiame „Pradėti“ mygtuką programoje. Palaukiame 3 minutes (180 sekundžių), kol gausime rezultatus.
- 4) Iš gautų rezultatų apskaičiuojame svyravimų skaičių ir taip galime suskaičiuoti periodo vidurkį (6) ir kampinį dažnį (7).
- 5) Žinome, kad relaksacijos laikas yra trukmė, kai bangos amplitudė sumažėja e (10) karto, todėl palyginame bangų amplitudes ir surandame τ , kai turime relaksacijos laiką galime surasti slopinimo koeficientą (8).
- 6) Logaritminio slopinimo dekremento vertei rasti palyginame 5 – iš eilės einančių bangų amplitudes, pasinaudojame formule (9).

7) Šiuos bandymus atliekame dar 2 kartus su skirtingais svarelių kiekiais ir skirtingomis spyruoklių konfigūracijomis – dvi nuosekliai, dvi lygiagrečiai, rezultatus surašome į lentelę.

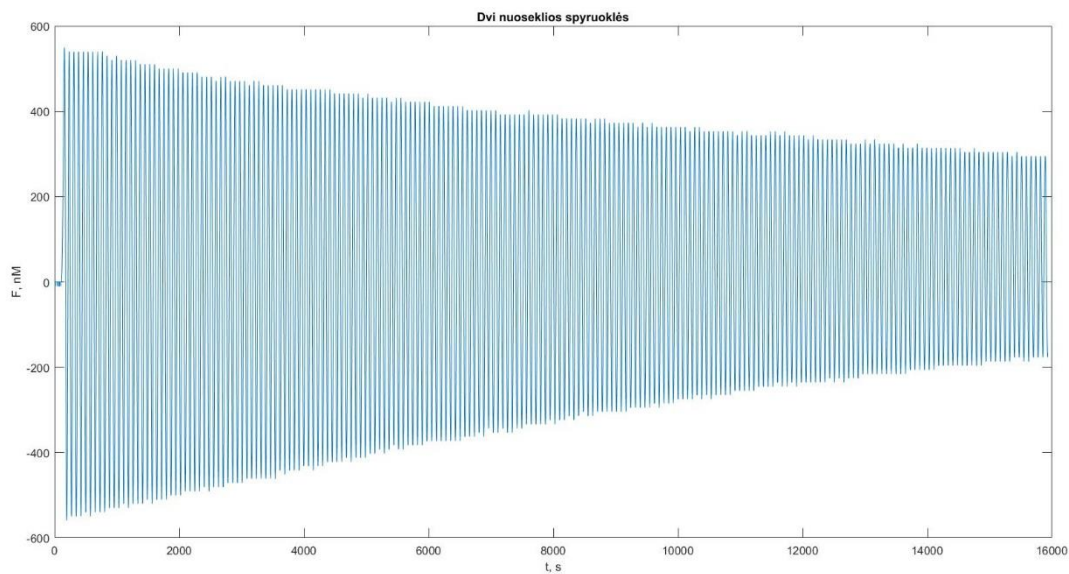
Rezultatai:

Apkrovos jėga, N	Spyruoklių konfigūracija	Svyravimų skaičius	Laikas, s	Periodo vidurkis < T ₁ >, s	Kampinis dažnis $\omega = 2\pi / (< T_1 >)$, 1s ⁻¹	δ	Λ
4,9	Viena nuosekliai	191	180	1,061	5,91	0,01369	0,0159
1,96	Dvi nuosekliai	208	180	1,155	5,437	0,0051	0,00137
4,9	Dvi lygiagrečiai	276	180	1,533	4,0965	0,01364	0,0175

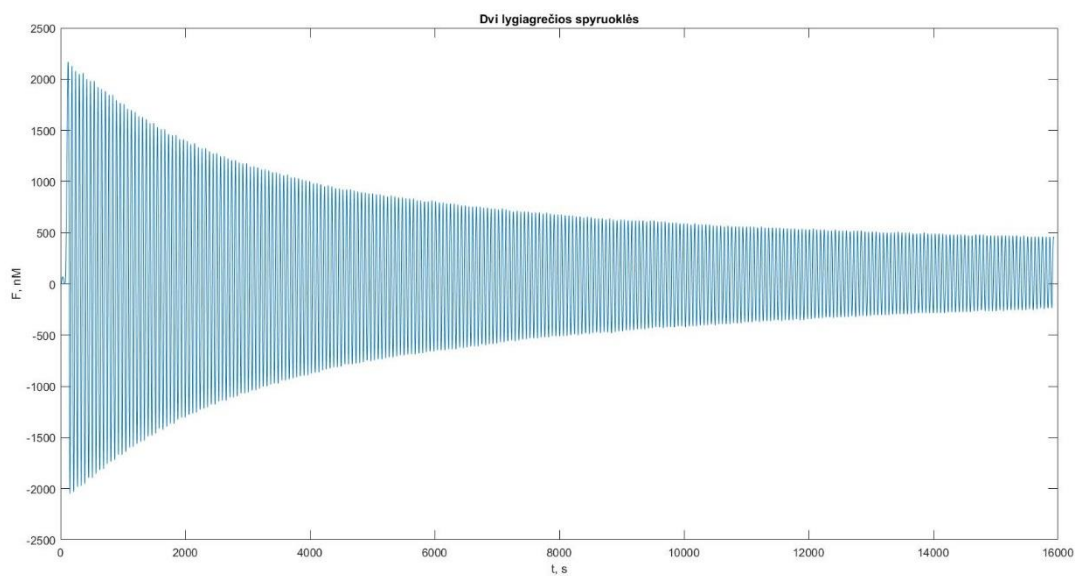
6 pav. rezultatų lentelė



8 pav. Vienos nuoseklos spyruoklės rezultatai



9 pav. Dviejų nuoseklių spyruoklių rezultatai



10 pav. Dvi lygiagrečios spyruoklės rezultatai

Laboratorinio darbo išvados:

Susipažinome su slopinamųjų svyravimų bangų pagrindinėmis savybėmis, fizikiniais dydžiais. Mūsų atliktų skaičiavimų rezultatai atitinka teorinius skaičiavimus, mažos paklaidos, dėl įrangos ir skaičiavimų paklaidų. (svyravimo skaičius).

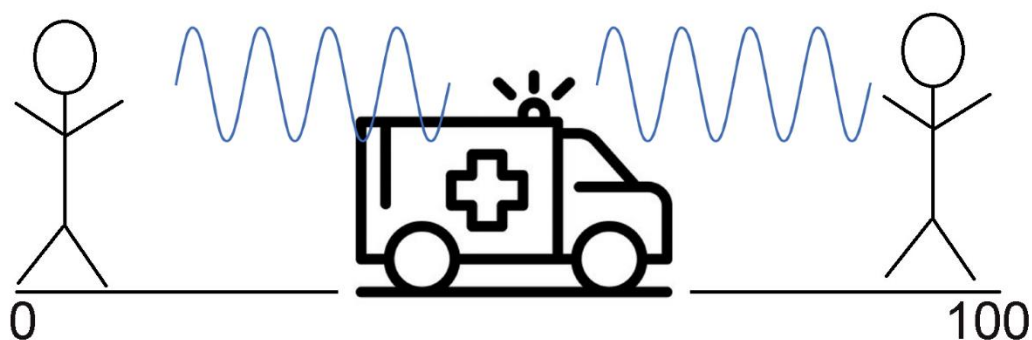
Naudojama literatūra:

1. Hugh Young, Roger Freedman, A. Lewis Ford, University Physics with Modern Physics Technology Update: Pearson New International Edition, Feb 2016, Paperback, 1599 p. Komentaras: Elektroninė versija prieinama visiems.
2. Tamašauskas A. Fizika. – Vilnius: Mokslas, 1987. - T.1. P.112.
3. Ambrasas V., Jasiulionis B. Mechanika, molekulinė fizika ir termodinamika. – Kaunas: Technologija, 2008.–P.165.
4. E-kursas Moodle sistemoje.

5. Probleminio uždavinio rezultatai

Doplerio efekto prezentacijos scenarijus – greitosios medicinos mašinos pravažiavimas. Remiantis interneto duomenimis sužinome, kad vidutinis greitosios medicinos mašinos sirenos dažnis yra tarp (750-1000 Hz). Laikome, kad garso greitis yra 343 m/s (idealios sąlygos 20 °C), nėra didelio vėjo pasipriešinimo. Situacija tokia – turime du žmones (vienas stovi kairėje pusėje, kitas dešinėje), viduryje medicinos mašinos automobilis, su įjungta sirena, kurios dažnis (1000Hz). Šią situaciją pavadinsime – Situacija A. Situacijoje A žmogus, kuris stovi kairėje bei dešinėje girdės toki patį 1000Hz dažnio garsą, garso tonas jiems pasirodo vienodas. Taip yra, nes mašina nejuda, jos bangos ilgis nesikeičia, todėl nesikeičia ir dažnis kiekvienam klausančiam žmogui (dešinėje ir kairėje). Atstumas tarp dviejų žmonių - 100 metrų (50 metrų kiekvienam nuo mašinos, stebėtojų greitis yra lygus 0, jie stovi)

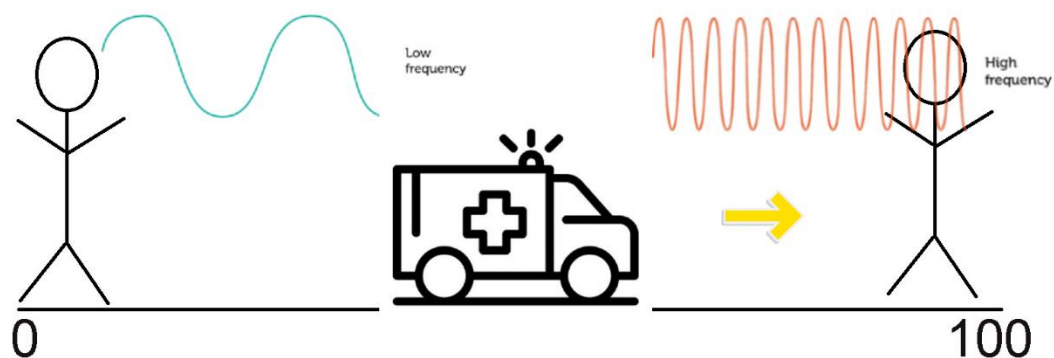
Situacija A



Situacija A

11 pav. Situacija A

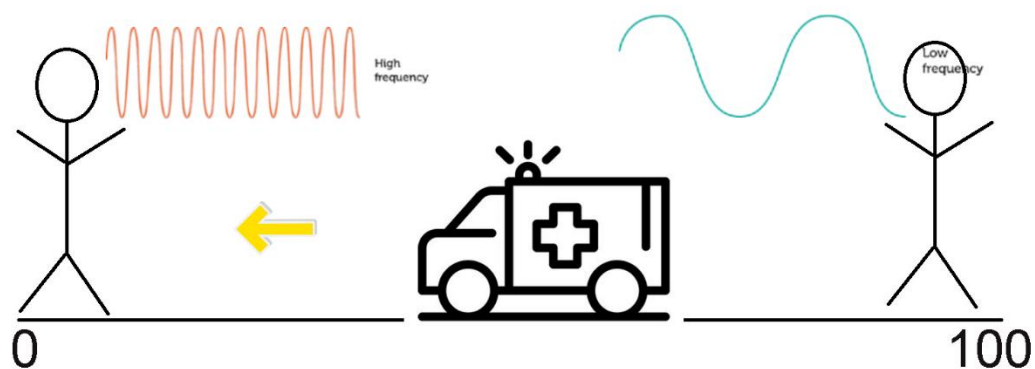
Mašinai pradėdant judėti link žmogaus dešinėje (situacija B). Keičiasi abiejų žmonių girdimi dažniai. Čia ir pasireiškia vadinamas Doplerio efektas. Žmogus dešinėje girdi – aukštesnio dažnio garsą, nes bangos judėdamos link žmogaus „susispaudžia“, todėl dažnis smarkiai padidėja – rezultatas aukštesnio tono garsas. Žmogus kairėje girdi – žemesnio dažnio garsą, nes bangos judančios link jo „atsiskleidžia“, todėl dažnis smarkiai sumažėja – rezultatas žemesnio tono garsas. Tai ir yra Doplerio efekto pagrindinis principas – bangos dažnio pokytis judant stebėtojo atžvilgiu.



Situacija B

12 pav. Situacija B

Mašinai pradėdant judėti link žmogaus kairėje (Situacija C). Variantas yra atvirkščias Situacijai B. Kairėje esantis žmogus girdi aukšto dažnio, tono garsus (bangas), o dešinėje esantis žmogus girdi žemo dažnio, tono garsus (bangas). Dar kartą patvirtinamas Doplerio efektas abejoms situacijoms.



Situacija C

13 pav. Situacija C

Atlikime bangų dažnių skaičiavimus kiekvienai situacijai :

Situacija A

$$f_{\text{dešinio}} = 1000\text{Hz}$$

$$f_{\text{kairės}} = 1000\text{Hz}$$

(Dažnis nesikeičia)

Situacija B

Paimkime situaciją, kai medicinos mašina judėjo $v_{\text{mašinos}} = 25\text{m/s}$ pastoviu greičiu. Iš stebėtojo atžvilgio šis greitis yra ($v_{\text{mašinos}} = -25\text{m/s}$), todėl formulė užrašoma kitaip. $v_{\text{garso}}=343\text{m/s}$, $f_0 = 1000\text{Hz}$. (pradinis dažnis).

$$f = f_0 \left(\frac{v_{\text{garso}}}{v_{\text{garso}} - v_{\text{šaltinio}}} \right)$$

$$f_{\text{dešinio}} = 1000 * \left(\frac{343}{343-25} \right) = 1078\text{Hz}$$

Mašinos greitis kairėje stovinčio stebėtojo atžvilgiu yra ($v_{\text{mašinos}} = 25\text{m/s}$), nes mašina juda nuo stebėtojo. Formulė užrašoma kitaip.

$$f = f_0 \left(\frac{v_{\text{garso}}}{v_{\text{garso}} + v_{\text{šaltinio}}} \right)$$

$$f_{\text{dešinio}} = 1000 * \left(\frac{343}{343+25} \right) = 932\text{Hz}$$

Situacija C

Atvirkštinė situacija – situacijai B, dabar kairiojo stebėtojo atžvilgiu greitis (neigiamas), o dešiniojo stebėtojo atžvilgiu (teigiamas).

$$f_{\text{dešinio}} = 932\text{Hz}$$

$$f_{\text{kairės}} = 1078\text{Hz}$$

Išvada būtų tokia, kad gal šitas bandymas ne pati geriausia iliustracija Doplerio efekto, norint išgauti geresni dažnio skirtumą, reikėtų – padidinti dažnį arba padidinti medicinos mašinos greitį abiejų stebėtojų atžvilgiu. Doplerio efektas – bangos dažnio ir ilgio kitimas.

6. Išvados

Pagrindiniai gautieji rezultatai:

- Doplerio efekto praktinis panaudojimas
- Bangos ilgio ir dažnio kitimas stebėtojo atžvilgiu

Svarbiausi rezultatai:

Mūsų grupei pavyko išspręsti PBL problemą – sukūrėme demonstraciją su Doplerio efektu bei išnagrinėjome pagrindinius šio efekto principus.

Mokymosi rezultatai:

1. Atlikus laboratorinius darbus ir pasigilinus į Doplerio efekto taikymą, išsiaiškinome efekto veikimo principą, bei jo panaudojimą praktikoje.
2. PBL užduoties, laboratorinių darbų atlikimo metu išmokome svyravimų (slopinamųjų) ir bangų (interferencijos) požymius bei visapusišką Doplerio efekto pritaikymą mus supančioje aplinkoje.
3. Sustiprinome savo žinias apie svyravimus ir bangas.

Literatūros sąrašas

Knygos, vadovėliai:

1. CHEN, V.C. *The Micro-Doppler Effect in Radar*. Boston Mass.]: Artech House, 2011 ISBN 9781608070572.
2. STECEVIČIUS, R. Palydovinių Telekomunikacijų Sistemų Doplerio Reiškinių Charakteristikos. *Elektronika Ir Elektrotechnika = Electronics and Electrical Engineering*, 1997, no. 1. pp. 68-74 ISSN 1392-1215.

Elektroniniai leidiniai:

1. <https://www.physicsclassroom.com/class/waves/Lesson-3/The-Doppler-Effect>
2. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/doppler.html>
3. https://www.phys.uconn.edu/~gibson/Notes/Section6_3/Sec6_3.htm