

**Kauno technologijos universitetas**

Informatikos fakultetas

Fizika 1 „Rezonansas kietuose kūnuose“

P190B101 Fizika 1 probleminė užduotis 2

**Projekto autoriai**

Aidas Jankauskas

Domantas Sabaliauskas

Linas Pocius

Saulius Sirvydas

Gustas Klevinskas

**Akademinė grupė**

IFF-8/7

**Vadovai**

Doc. Ramūnas Naujokaitis

Kaunas, 2019

Turinys

[Santrauka 3](#_Toc5098905)

[Įvadas 3](#_Toc5098906)

[Tvarkaraštis 4](#_Toc5098907)

[Problemos sprendimo būdų ir metodų apžvalga 4](#_Toc5098908)

[Rezonanso svarba mokslo ir inžinerijos srityse 4](#_Toc5098909)

[Rezonanso panaudojimas ir kova prieš jį 5](#_Toc5098910)

[Fizikinių dėsnių taikomų problemos sprendimui aprašymas 6](#_Toc5098911)

[Rezonanso atsiradimo sąlygos 6](#_Toc5098912)

[Inžinerinis rezonanso aprašymas 7](#_Toc5098913)

[Laboratoriniai darbai 8](#_Toc5098914)

[Garso bangų mūša 8](#_Toc5098915)

# Santrauka

Turbūt visi esame matę, kaip operos dainininkai sudaužo taures savo balsu, tačiau ne visi susimąstome kodėl ir kaip tai vyksta. Šis reiškinys įvyksta dėl akustinio rezonanso, kai akustinės sistemos (taurės) dažnis atitinka vieną iš natūralių vibracijos dažnių. Rezonanso reiškinys pasitaiko gana dažnai kasdieniniame gyvenime ir gali būti tiek naudingas, tiek žalingas, pražūtingas. Naudingas jis gali būti kuriant muzikinius instrumentus ar laikrodžius, o nenaudingas rezonansas gali tapti pastatų, mašinų bei tiltų suirimo priežastimi. Rezonansas pasitarnauja kai reikia padidinti svyravimų amplitudę, pavyzdžiui, specialiais vibratoriais kalant polius, ardant kelio dangą, plūkiant gruntą, tačiau gali būti žalingas, kai prisideda prie įrenginių ar pastatų susigadinimo. Elektros variklių arba garo turbinų greitai besisukančios detalės gali subyrėti, jeigu bus blogai centruotos, nes dėl to jų savųjų svyravimų dažnis gali atsitiktinai sutapti su variklio ar turbinos svyravimo dažniu. Siekiant išvengti potencialiai pražūtingų padarinių, reikia atlikti nuodugnius skaičiavimus, kad eksploatuojant įrenginius rezonansas nepasireikštų.

# Įvadas

Šiais laikais apie rezonansą girdime retai, bet jo pamiršti negalima. Šis reiškinys pasitaiko gana dažnai kasdieniame gyvenime. Šiais laikais galima lengvai ir nemokamai atsisiųsti mobilias programėles, kuriomis galima generuoti skirtingą dažnį arba išmatuoti aplinkoje girdimo garso dažnį. Šitaip galima sužinoti įvairių objektų savąjį dažnį ir sugeneruoti tokį patį, siekiant sukelti rezonansą.

Taigi norint sudaužyti taurę mums reiktų surasti stiklinės savąjį dažnį, tada:

* Galima bandyti sudaužyti taurę balsu, tačiau tai labai sudėtinga, reikalauja daug praktikos.
* Galima pademonstruoti rezonansą naudojantis išmaniuoju telefonu, bei programėle kuri generuoja tam tikrą pasirinktą vibracijos dažnį.

Kai taurės ir garso dažniai sutampa, bei garso amplitudė yra pakankamai aukšta, tikimybė stiklui savaime sudūžti išauga.

Šiame darbe nagrinėsime rezonanso atsiradimo sąlygas, mokslo bei inžinerijos sritis, kur kūnų mechaninis rezonansas yra svarbus, kaip jis naudojamas ir su juo kovojama bei kaip galima inžineriškai aprašyti rezonanso sąlygas.

# Tvarkaraštis

|  |  |
| --- | --- |
| 2019-03-05 | Gauta probleminė užduotis, aptariama kaip ją spręsti. |
| 2019-03-12 | Atlikti pirmojo laboratorinio darbo (garso bangų mūša) bandymai, kolektyviai išspręstos užduotys bei surašyti jų duomenys ir gauti rezultatai, atsakyta į kontrolinius klausimus. |
| 2019-03-19 | Atlikti antrojo laboratorinio darbo (stygos svyravimų tyrimas) bandymai, kolektyviai išspręstos užduotys ir surašyti jų duomenys bei bandymų metu gauti rezultatai, sudarytos duomenų lentelės ataskaitai, atsakyta į kontrolinius klausimus. |
| 2019-03-19 | Baigta spręsti probleminė užduotis. |
| 2019-03-20 | Pradėta pildyti ataskaitą. |
| 2019-03-24 | Baigta pildyti ataskaitą. |

# Problemos sprendimo būdų ir metodų apžvalga

## Rezonanso svarba mokslo ir inžinerijos srityse

Akivaizdžiai matomas reiškinys, pasireiškęs 1940 metais, kai smarkiai įsisiūbavęs ir ritmiškai besisukinėjantis nugriuvo Tacoma Narrows tiltas, dažnai yra laikomas pačiu akivaizdžiausiu bloguoju rezonanso pavyzdžiu. Nors tilto griuvimui įtakos turėjo ne tik mechaninis rezonansas, bet ir keletas kitų veiksnių, tokių kaip aeroelastinis plazdėjimas, šio įvykio pavyzdys labai gerai įrodo mechaninio rezonanso svarbą statybų inžinerijos srityse.

Dažnai rezonansą stebime kasdieniniame gyvenime. Pravažiuojant gatve pakrautam sunkvežimiui, subarba kambario langų stiklai. Vadinasi, savasis stiklų svyravimų dažnis lygus mašinos variklio svyravimų dažniui.

Rezonansas gali būti pražūtingas ir katastrofiškas, todėl projektuodami judančias mechanines sistemas, tokias kaip automobilius, traukinius ar lėktuvus, arba sistemas, kurios yra dažnai veikiamos pašalinių jėgų (pvz. vėjo ar seisminių bangų), tokias kaip tiltai, aukšti pastatai ar kitos masyvios struktūros, inžinieriai ir mechanikai visad turi atsižvelgti į galimus rezonanso padarinius. Pastatas ar tiltas pastatytas neatsižvelgiant į vėjo ar seisminių svyravimų sukeliamą rezonansą, tam tikromis sąlygomis gali pasidaryti nestabilus ir griūti. Kelių statytojai turi vengti pasikartojančių kelio paviršiaus nelygumų, kadangi per jį važiuojančio automobilio amortizatoriuose gali pasireikšti žalingas ar net pražūtingas rezonanso reiškinys. Automobilių gamintojai turi įsitikinti, kad aukštą virpesių dažnį skleidžiantis variklis ir kitos detalės nerezonuotų vienos su kitomis - jų skleidžiami virpesių dažniai būtų skirtingi.

Ne mažiau svarbus ir garso atsiradimas dėl mechaninio rezonanso - akustinis rezonansas. Kai tam tikrų objektų virpesių dažnis yra diapozone nuo 20 Hz iki 20 kHz, žmogaus ausis gali girdėti tų virpesių sukeliamą garsą. Daug objektų ir medžiagų veikia kaip rezonatoriai, kurių rezonansinis dažnis yra šiame diapazone, ir, kurie mechaniniu būdu vibruoja, taip sukurdami garso bangas. Tai yra daugelio triukšmingų garsų, kuriuos girdime šaltinis. Kaip ir mechaninis rezonansas, akustinis gali būti pražūtingas kai kuriems objektams. Geras to pavyzdys yra reiškinys, kai žmogus savo balsu sudaužo krištolinę vyno taurę. Akustinis rezonansas pasireiškia, kai gana aukštos amplitudės garso bangos dažnis sutampa su taurės savuoju dažniu, šitaip taurės stikle sukeliamas rezonansas ir stiklas dėl neįprastų virpesių skyla arba dūžta.

Rezonansas pasireiškia ir astronomijoje. Kosmoso mechanikoje orbitos rezonansas atsiranda, kai orbitiniai kūnai reguliariai, periodiškai veikia vienas kitą, paprastai dėl to, kad jų orbitiniai periodai yra susiję. Orbitinis rezonansas žymiai padidina abipusę kūnų gravitacinę įtaką, jų gebėjimą keisti ar apriboti vienas kito orbitas. Daugeliu atvejų tai sukelia nestabilią sąveiką, kurioje kūnai keičiasi impulsu ir keičia savo orbitas, kol rezonansas pranyksta. Vienas iš orbitinio rezonanso pavyzdžių yra reiškinys pasireiškiantis Jupiterio mėnuliuose arba rezonansas tarp Plutono ir Neptūno.

Taigi rezonansas yra aktualus daugelyje mokslo bei inžinerijos sričių. Rezonanso reiškinys gali būti naudingas, tačiau neretai būna pražūtingas, todėl visad būtina prisiminti, kad jis gali pasireikšti.

## Rezonanso panaudojimas ir kova prieš jį

Visų pastatų, bokštų ir tiltų statybos projektų inžinierių pagrindinis rūpestis – išvengti su rezonansų susijusių nelaimių. Kaip sprendimas, tiltuose ar pastatuose gali būti sumontuoti smūgio laikikliai, kurie sugeria rezonansinius dažnius ir taip išsklaido sugeriamą energiją. Taivane esantis trečias aukščiausias pasaulio dangoraižis „Taipei 101“ yra neatsiejamas nuo 660 tonų švytuoklės – sureguliuoto masės slopintuvo, kuris panaikiną rezonansą. Struktūra suprojektuota taip, kad rezonuotų tokiu dažniu, kuris paprastai nepasireiškia. Pastatai, esantys seisminėse zonose, dažnai sukonstruoti atsižvelgiant į tikėtinus žemės judesius.

Inžinieriai, projektuojantys variklius turinčias sistemas, turi užtikrinti, kad mechaniniai rezonansiniai dažnių komponentai neatitiktų variklių arba kitų stipriai vibruojančių dalių svyravimo dažnių, nes nepageidautinas mechaninis rezonansas dažnai tampa gedimų ar greito susidėvėjimo priežastimi. Yra keli sprendimo būdai minimizuoti rezonanso efektą:

* Standumo padidėjimas padidina natūralų dažnį.
* Masės pridėjimas sumažina natūralų dažnį.
* Didėjantis slopinimas sumažina svyravimų amplitudę.
* Mažėjantis slopinimas padidina svyravimų amplitudę.
* Priverstinis amplitudės mažinimas mažina vibracijų atsaką rezonanso metu.

Remiantis šiais punktais nusprendžiama kaip reiktų modifikuoti sistemą norint išvengti rezonanso.

Akustinis rezonansas yra svarbus reiškinys muzikinių instrumentų gamintojams, nes dauguma akustinių prietaisų naudoja rezonatorius, pavyzdžiui, smuikas – stygas ir rėmą, fleita – vamzdelio ilgį, būgnas – membraną, kurios skleidžiamas garsas priklauso nuo jos formos ir įtempimo. Šiuo principu veikia ir žmonių balsas – vokalinių stygų virpesius sustiprina rezonansinė vibracija per burną ir nosį. Norint aiškiau suprasti šį reiškinį reiktų pasiaiškinti, kaip garsas keliauja oru. Garso bangos susikuria, kai kažkas sukelia oro molekulių vibraciją. Ši vibracija keliauja kaip banga visomis kryptimis. Bangai einant per orą yra vietų, kuriose molekulės labiau suspaustos, ir tokių, kuriose molekulės praretėja. Atstumas tarp nuoseklių molekulių praretėjimų arba sutankėjimų žinomas kaip bangos ilgis. Skirtingiems bangoms ilgiams rezonuoti reikia kitokių sąlygų.

Rezonansas naudojamas ir kai kuriuose laikrodžiuose laikui sekti. Rezonansiniai laikrodžiai yra ypatingi tuo, kad jie naudoja dvi atsvaras, kurios sinchronizuojasi rezonanso pagalba. Taip išlaikomas daug stabilesnis tempas. Rezonansas sumažina šio laikrodžio netikslumus. Svyruoklinių laikrodžių principas skiriasi nuo laikrodžių su diferencialais, kurie naudoja pavarų sistemas vidurkiams subalansuoti.

Rezonansas jūroje gali tapti pražūtingas. Potvyniai ir atoslūgiai yra periodiškas jūros pakilimas ir nusileidimas, sukeltas Mėnulio bei Saulės traukos, nuolatinio žemės sukimosi apie savo ašį. Ir nors vandens lygis daugelyje jūrų bei vandenynų per potvynį pakyla apie 1 metrą, Fandžio įlankoje per potvynį vanduo pakyla iki 16 metrų! Taip yra todėl nes įlanka turi unikalią formą ir dydį, kurie ir sukelia rezonansą. Potvynio rezonansas atsiranda tada, kai laikas, per kurį banga keliauja nuo įlankos žiočių iki tolimojo kranto ir atgal į žiotis, yra toks pats arba beveik toks pat, kaip laikas potvynio ir atoslūgio. Šis sutapimas reiškia, kad bendras vanduo aplink įlanką gali būti sinchronizuotas su Mėnulio potvyniais, sustiprinant jų poveikį.

# Fizikinių dėsnių taikomų problemos sprendimui aprašymas

## Rezonanso atsiradimo sąlygos

Sistemos priverstinio svyravimo amplitudės padidėjimas iki didžiausios vertės, kai:

vadinamas rezonansu. Tuomet sistema gauna daugiausia energijos. Rezonanso dažnis tuo didesnis už sistemos savojo svyravimo kampinį dažnį, kuo didesnis slopinimas. Kai išorinės jėgos kitimo dažnis *ƒ* sutampa su savuoju sistemos svyravimų dažniu *ƒ*₀, jėga per visą periodą veikia svyruojančio kūno greičio vektoriaus kryptimi, todėl atlieka teigiamą darbą, padidindama sistemos svyravimų amplitudę. Kai dažnis kitoks, per vieną periodo dalį išorinė jėga atlieka teigiamą darbą, padidindama sistemos energiją, per kitą – neigiamą darbą, sumažindama svyravimų sistemos energijos atsargą.

Kai pasiekiamas rezonansas, išorinė jėga, veikianti svyravimų sistemą, per visą periodą atlieka didžiausią teigiamą darbą. Todėl rezonanso atsiradimo sąlyga galima laikyti didžiausio energijos kiekio perdavimą svyravimų sistemai.

Kai nėra trinties, priverstinių svyravimų rezonansinė amplitudė laikui bėgant turi didėti neribotai. Paprastai sistemos svyravimų amplitudę, nusistovėjus rezonansui, apibūdina per visą periodą prarastos energijos ir per tą patį laiką išorinės jėgos atlikto darbo lygybė. Kuo mažesnė trintis, tuo didesnė rezonansinė amplitudė.

## Inžinerinis rezonanso aprašymas

Rezonansas gali būti ir naudingas, ir žalingas. Naudingas tada, kada kai reikia jis padidina svyravimo amplitudę, pavyzdžiui, specialiais vibratoriais kalant polius, ardant kelio dangą, plūkiant gruntą. Rezonanso reiškinys taikomas mechanikoje, radiotechnikoje, akustikoje, optikoje ir kitur.

Rezonansas yra blogas reiškinys kai, pavyzdžiui, ant pamato stovi dirbanti mašina, kurios tam tikros dalys periodiškai juda. Tie judesiai persiduoda pamatui, ir šis priverstinai svyruoja, tuo pačiu metu pamatas taip pat svyruoja savuoju dažniu. Ir kai jis sutampa su mašinos dalių svyravimų dažniu, pamato svyravimų amplitudė gali tiek padidėti, kad pamatas neatlaiko. Rezonansas gali būti tiltų, mašinų, pastatų bei kitokių įrenginių suirimo priežastis, jeigu tik jų savasis svyravimų dažnis sutampa su periodiškai veikiančios jėgos dažniu. Dėl šios priežasties automobilių varikliai įrengiami ant specialių amortizatorių, kurie sumažina vibracijas, svyravimus. Elektros variklių arba garo turbinų greitai besisukančios detalės gali subyrėti, jeigu bus blogai subalansuotos, nes dėl to jų savųjų svyravimų dažnis gali atsitiktinai sutapti su variklio ar turbinos svyravimo dažniu.

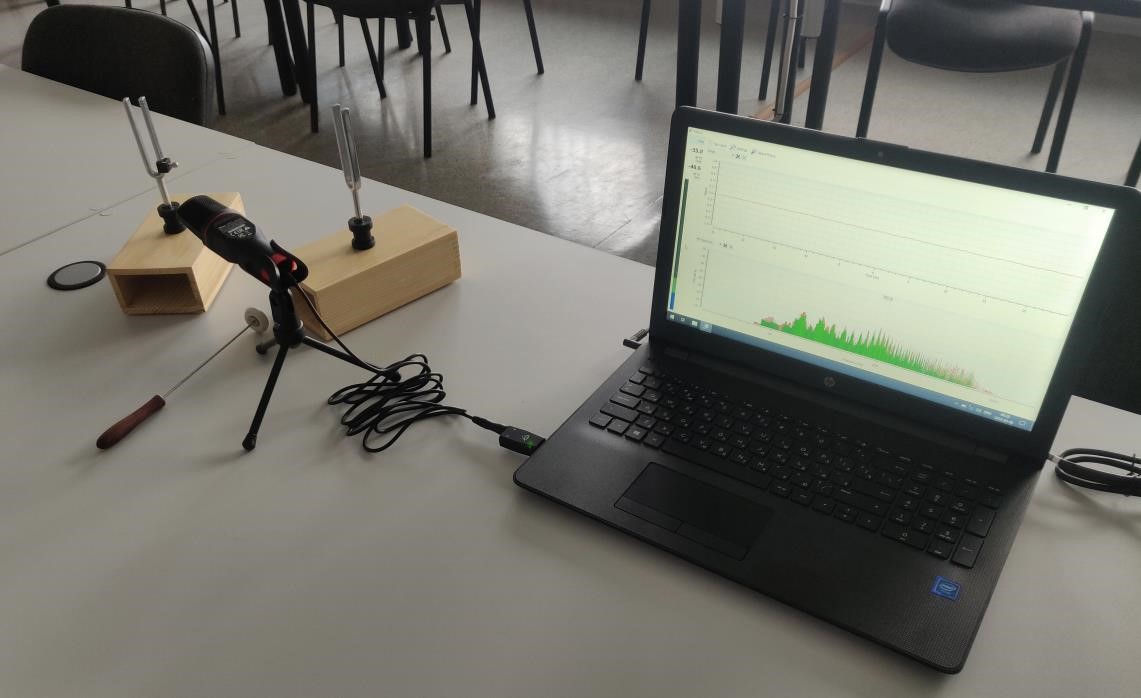
Siekiant išvengti pavojingų rezonanso padarinių, iš anksto apskaičiuojami mašinų, pamatų, transporto priemonių svyravimų dažniai, kad įprastinėmis jų eksploatacijos sąlygomis rezonansas nepasireikštų. Kariniams daliniams draudžiama per tiltus žygiuoti koja kojon todėl, kad kareivių savasis žygiavimo dažnis gali sutapti su tilto savuoju dažniu ir tada šis gali nugriūti. Projektuodami gamybines patalpas, inžinieriai, statybininkai reikalauja duomenų apie visas tame pastate dirbsiančias mašinas. Juos domina, kokiu periodu muš kūjai, suksis turbinos, varikliai, staklės. Fizikos požiūriu, visi mus supantys daiktai ir kūnai yra didelės ar mažos fizinės svyruoklės, turinčios savųjų svyravimų periodą. Kita vertus, visus daiktus nuolat veikia periodinės išorinės jėgos – įvairūs smūgiai, variklių ir mašinų sukelti virpesiai. Tokiomis aplinkybėmis visuomet gali susidaryti rezonansas ir įvykti katastrofos. Todėl inžinieriams, statybininkams svarbu žinoti duomenis apie visas tame pastate dirbsiančias mašinas. Tačiau rezonansas nėra vien technikos rykštė. Daugeliu atvejų be jo apsieiti neįmanoma. Rezonansas panaudojamas muzikos instrumentuose, juo pagrįsti matavimo prietaisai. Be rezonanso nebūtų nei radijo, nei televizijos.

# Laboratoriniai darbai

## Garso bangų mūša

Šiame laboratoriniame darbe tyrėme vienos krypties artimų dažnių harmoninių svyravimų sudėtį naudojantis kamertonais ir papildomu kūneliu.

Naudotos priemonės



**1**



**2**



**3**



**4**



**5**

1 – kamertonai;

2 – papildomas kūnelis;

3 – kamertonų rezonatoriai;

4 – mikrofonas;

5 – kamertono sužadinimui skirtas guminis plaktukas.

Tyrimo metodas

Matuojame kamertono be papildomo kūnelio savąjį dažnį. Tam guminiu plaktuku suduodame per tiriamojo kamertono viršutinę dalį. Spektro analizės lango dalyje matomas aiškiai išreikštas pikas.

Ištiriame papildomo kūnelio, pritvirtinto prie kamertono, įtaką kamertono savajam dažniui. Pastatome papildomą kūnelį į apatinę padėtį ir nustatome kamertono savąjį dažnį. Keičiame papildomo kūnelio padėtį kas 10 mm ir pasižymime kamertono savąjį dažnį 1 lentelėje.

Matuojame mūšos dažnį. Parenkame papildomo kūnelio padėtį taip, kad kamertonų dažnių skirtumas būtų mažesnis nei 6% tam kad būtų girdima garso bangų mūša. Dar kartelį nustatę kamertonų savuosius dažnius juos užrašome į 2 lentelę. Randame šių dažnių skirtumą ir užrašome į lentelę. Guminiu plaktuku užgavę abu kamertonus ekrane stebime mūšos oscilogramą ir garso spektrinę analizę. Pagal gautą oscilogramą nustatomas mūšos periodas ir apskaičiuojamas eksperimentinis mūšos dažnis.

Rezultatai

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Papildomo kūnelio padėtis nuo kamertono apačios, mm | Kamertono SU papildomu kūneliu savasis dažnis *f*1, Hz | Kamertono BE papildomu kūneliu savasis dažnis *f*2, Hz | Skirtumas |
| 0 | 439 | 439 | 0% |
| 10 | 439 | 0% |
| 20 | 439 | 0% |
| 30 | 434 | 1.14% |
| 40 | 434 | 1.14% |
| 50 | 428 | 2.51% |
| 60 | 422 | 3.87% |
| 70 | 416 | 5.24% |

Lentelė 1. Kamertono dažnio pokytis nuo kūnelio padėties.

Grafikas 1. Dažnio priklausomybė nuo kūnelio padėties ant kamertono.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1-ojo kamertono savasis dažnis *f*1, Hz | 2-ojo kamertono savasis dažnis *f*2, Hz | Teorinis mūšos dažnis |*f*1 – *f*2|, Hz | Išmatuotas mūšos periodas *TS*, ms | Eksperimentinis mūšos dažnis , Hz | Skirtumas |
| 410 | 439 | 29 | 29.5 | 33.9 | 14.5% |
| 416 | 23 | 33.7 | 29.7 | 22.5% |
| 422 | 17 | 45.6 | 21.9 | 22.5% |
| 428 | 11 | 65.8 | 15.2 | 27.6% |
| 434 | 5 | 158.4 | 6.3 | 20.8% |
| 5000 | 5300 | 300 | 3.2 | 312.5 | 4% |

Lentelė 2. Teoriniai ir eksperimentiniai mūšos dažniai.

Grafikas . Eksperimentiniai ir teoriniai mūšos dažniai.