

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA MATEMATIKY, FYZIKY A TECHNICKÉ VÝCHOVY

MECHANICKÉ VLNĚNÍ VE ŠKOLSKÉ FYZICE
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Michal Měsíček

*Fyzika se zaměřením na vzdělávání – maior,
Technická výchova se zaměřením na vzdělávání – minor*

Vedoucí práce: PhDr. Pavel Kratochvíl, Ph.D.

Plzeň, 2024

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně
s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni dne

.....
vlastnoruční podpis

PODĚKOVÁNÍ

Toto poděkování bych rád věnoval PhDr. Pavlovi Kratochvílovi, PhD., za odborné vedení bakalářské práce, cenné rady a vstřícnost, kterou mi při psaní práce věnoval.

OBSAH

ABSTRAKT.....	1
KLÍČOVÁ SLOVA	2
SEZNAM ZKRATEK	3
ÚVOD	4
1 ÚVOD DO VLNĚNÍ.....	5
1.1 PŘÍČNÉ VLNĚNÍ.....	6
1.1.1 Příčné vlnění v praxi.....	7
1.2 PODÉLNÉ VLNĚNÍ	8
1.2.1 Podélné vlnění v praxi	8
1.3 STOJATÉ VLNĚNÍ	9
1.3.1 Stojaté vlnění v praxi	10
2 ZÁKLADNÍ INFORMACE O VLNĚNÍ.....	11
2.1 ROVNICE POSTUPNÉHO VLNĚNÍ	11
2.2 VLNOVÁ DÉLKA.....	11
2.3 RYCHLOST ŠÍŘENÍ VLNĚNÍ.....	12
2.4 INTERFERENCE VLNĚNÍ	14
2.4.1 Konstruktivní interference.....	14
2.4.2 Destruktivní interference	15
2.5 INTENZITA VLNĚNÍ.....	15
2.6 ODRAZ VLNĚNÍ	16
2.7 LOM VLNĚNÍ	17
2.7.1 Aplikace odrazu a lomu vlnění.....	17
2.8 DOPPLERŮV JEV.....	18
3 ROZBOR VLNĚNÍ V UČEBNICI, ROZBOR VLNĚNÍ V RVP, NEBO ŠVP.....	19
3.1 ANALÝZA UČEBNICE FRAUS.....	19
3.1.1 Základní údaje.....	20
3.1.2 Výklad učiva	20
3.1.3 Grafické zpracování	21
3.1.4 Rozbor vlnění v učebnici pro 8. ročník ZŠ Fraus	22
3.2 RVP PRO GYMNÁZIA	22
3.2.1 Název vzdělávacího celku	23
3.3 RVP PRO ZÁKLADNÍ VZDĚLÁVÁNÍ	23
3.4 ŠVP PRO G.....	23
3.4.1 Téma Mechanické vlnění.....	23
3.4.2 Cíle	24
3.4.3 Učivo	24
3.4.4 Přesahy	24
3.4.5 Tématické okruhy	24
3.4.6 Mezipředmětové vztahy a průřezová témata	25
3.5 ŠVP PRO ZV	25
3.5.1 Téma Mechanické vlnění.....	25
3.5.2 Učivo	25
3.5.3 Mezipředmětové vztahy a průřezová témata	26
4 DEMONSTRACE VLNĚNÍ NA VLNOSTROJÍCH.....	27
4.1 VLNOSTROJ Z PRUŽINY	27

4.1.1	Úvod	27
4.1.2	Popis	27
4.1.3	Demonstrovatelné jevy	27
4.1.4	Realizace	28
4.2	MACHŮV VLNOSTROJ	28
4.2.1	Úvod	28
4.2.2	Popis	28
4.2.3	Demonstrovatelné jevy	29
4.2.4	Realizace	29
4.3	CHLADNIHO OBRAZCE:	30
4.3.1	Úvod	30
4.3.2	Popis	30
4.3.3	Demonstrovatelné jevy	30
4.3.4	realizace.....	31
4.4	RUBENSOVA TRUBICE	32
4.4.1	Úvod	32
4.4.2	Popis	33
4.4.3	Demonstrovatelné jevy	33
4.4.4	Realizace	33
4.5	KUNDTOVA TRUBICE JAKO VLNOSTROJ:	34
4.5.1	Úvod	34
4.5.2	Popis	34
4.5.3	Demonstrovatelné jevy	34
4.5.4	Realizace	35
4.6	VLNOSTROJ ZE ŠŇŮRY A GENERÁTORU MECHANICKÝCH KMITŮ	35
4.6.1	Úvod	35
4.6.2	Popis	36
4.6.3	Demonstrovatelné jevy	36
4.6.4	Realizace	36
4.7	WHEATSTONŮV VLNOSTROJ	37
4.7.1	Úvod	37
4.7.2	Popis	37
4.7.3	Demonstrovatelné jevy	37
4.7.4	Realizace	38
4.8	MODEL PROJEKČNÍHO VLNĚNÍ	38
4.8.1	Úvod	38
4.8.2	Popis	38
4.8.3	Demonstrovatelné jevy	39
4.8.4	Realizace	39
4.9	KLIKOVÝ VLNOSTROJ PRO PŘÍČNÉ VLNĚNÍ	39
4.9.1	Úvod	39
4.9.2	Popis	39
4.9.3	Demonstrovatelné jevy	40
4.9.4	Realizace	40
4.10	VÁLCOVÝ VLNOSTROJ.....	40
4.10.1	Úvod	40
4.10.2	Popis	41

4.10.3	Demonstrovatelné jevy	41
4.10.4	Realizace	41
5	PODOMÁCKU VYROBENÉ VLNOSTROJE:	42
5.1	TORZNÍ (JULIŮV) VLNOSTROJ ZE ŠPEJLÍ	42
5.2	TORZNÍ (JULIŮV) VLNOSTROJ ZE DŘEVA	43
5.3	MACHŮV VLNOSTROJ	44
5.4	DEMONSTÁTOR PŘÍČNÉHO VLNĚNÍ	46
5.5	RUBENSOVA TRUBICE	47
	ZÁVĚR.....	49
	RESUMÉ	50
	SUMMARY	51
	SEZNAM LITERATURY	52
	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ	59

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na mechanické vlnění a jeho využití ve výuce fyziky na základních školách. Práce začíná úvodem do teorie vlnění, který zahrnuje přehled příčného a podélného vlnění, stejně jako stojaté vlnění. V dalších kapitolách se práce zabývá základními informacemi o vlnění, včetně rovnic postupného vlnění, vlnové délky a rychlosti šíření vlnění.

Další část práce analyzuje způsoby, jak je vlnění prezentováno v učebnici pro základní školu, včetně Rámcového vzdělávacího programu a školního vzdělávacího programu. Demonstrace vlnění na různých vlnostrojích, jako jsou vlnostroje z pružiny, Machův vlnostroj nebo Rubensova trubice, jsou popsány s ohledem na jejich realizaci a efektivitu ve výuce.

Dále se práce věnuje historickým vlnostrojům a návrhu a výrobě vlastních vlnostrojů pro školské využití. Zhodnocení využití vlastního vlnostroje ve výuce je součástí závěrečného hodnocení práce.

Tato práce přispívá k lepšímu pochopení mechanického vlnění a nabízí učitelům konkrétní návody a doporučení pro efektivní využití výukových prostředků při výuce fyziky na základních školách.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vlnění, Teorie o vlnění, Rovnice vlnění, Šíření vlnění, Odraz vlnění, Klasické vlnostroje, Vlnění v RVP, Vlnění v ŠVP, Vlnění v učebnici, výroba vlnostrojů, Demonstrace vlnění, Analýza, Interference.

Keywords

Waves, Wave Theory, Wave Equations, Wave Propagation, Wave Reflection, Classical Wave Machines, Waves in RVP, Waves in SVP, Waves in a Textbook, Making Wave Machines, Demonstration of Waves, Analysis, Interference.

SEZNAM ZKRATEK

- ŠVP – školní vzdělávací program
- RVP – rámcový vzdělávací program
- ZV – základní vzdělávání
- G – gymnázium

Úvod

Mechanické vlnění je jednou z klíčových oblastí fyziky a dotýká se našeho každodenního života. Proto je zapotřebí zahrnout tuto oblast co nejefektivněji do tematických celků výuky fyziky na středních a základních školách.

Dlouho jsem uvažoval o tom, jak lépe přiblížit výuku a probíranou látku žákům tak, aby je to zaujalo a výuka byla více efektivní a hlavně názorná. Tyto myšlenky mě provázely během studia na gymnáziu a odrážejí se i ve volbě mého bakalářského tématu. Jako hlavní problém vidím nedostatečné používání názorných pomůcek a předvádění demonstračních pokusů pro lepší názornost.

Proto je cílem této práce ukázat začínajícím učitelům, jak je možné poutavě pojmout výuku vlnění a demonstrovat žákům různé typy vlnění takovou formou, aby je to zaujalo a aby viděli, že i výuka fyziky může být provedena stravitelnou formou.

Cílem teoretické části mé práce je shrnout základní poznatky o vlnění a také zanalyzovat současné učivo této problematiky v učebnici pro ZŠ a rozsah učiva, jaký je požadován v RVP, potažmo ŠVP.

Cílem praktické části je zhotovení několika jednoduchých vlnostrojů, které by byly použitelné v rámci hodin fyziky pro názornou demonstraci různých druhů vlnění.

Budu zde brát důraz na propojení fyziky a technické výchovy a také na přímé zapojení žáků, kteří si mohou sami vytvořit v rámci mezipředmětových vztahů jednoduché vlnostroje.

1 ÚVOD DO VLNĚNÍ

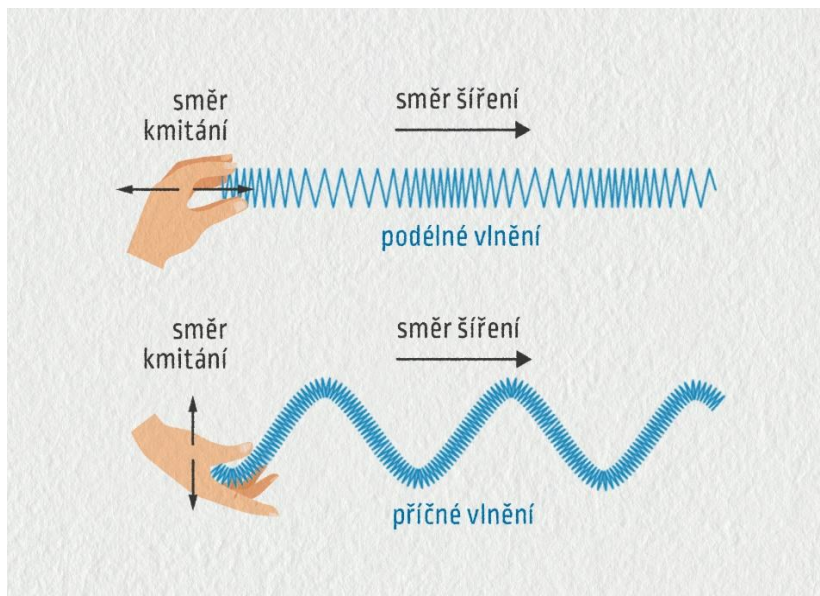
Mechanické vlnění je jev, kdy se kmitání, které vzniká na určitém bodě média, postupně šíří v pružném médiu do okolního prostředí. Charakteristickým rysem tohoto šíření kmitavého pohybu je skutečnost, že částice média nejsou přenášeny vlivem vlnění, ale pouze kmitají kolem své rovnovážné polohy. Jedná se tedy o proces přenosu energie bez hmotného pohybu média. V pružném prostředí je mechanické vlnění možné modelovat jako síť spojených mechanických oscilátorů. Pokud je jeden z těchto oscilátorů vychýlen z rovnovážné polohy, začne kmitat, čímž spouští kmitání dalších částic v prostředí a tvoří tak vlnu. (1, 2, 3, 22)

Vlnění se v našem prostředí projevuje v mnoha podobách, například jako zvuk, světlo nebo signály pro rozhlas a televizi. Ačkoliv tyto druhy vlnění mají rozdílnou fyzikální povahu, spojuje je společný princip šíření energie prostřednictvím vln. Je zajímavé, jak se různé formy vlnění projevují v našem každodenním životě a jak můžeme jejich vlastnosti a chování zkoumat a porozumět jim.

Mechanické vlnění, jako je například zvuk, se šíří látkovým prostředím, jako je vzduch nebo voda. Tento proces přenosu energie nepředstavuje přesun hmoty, ale postupné rozkmitávání částic prostředí, které vytváří změny tlaku postupující prostředím. Na rozdíl od mechanického vlnění existuje i elektromagnetické vlnění, které se šíří i mimo hmotné prostředí. To zahrnuje například elektromagnetické pole, které nesou světelné vlny a může se pohybovat i přes vakuum.

Vlnění má klíčový význam v různých oblastech, jako je akustika, ultrazvuková diagnostika, geofyzika a další, kde hraje roli při analýze a manipulaci s mechanickými systémy a materiály. Studium vlnění je důležité nejen pro pochopení základních principů fyziky, ale má také široké praktické aplikace v technologii, komunikaci a mnoha dalších oblastech. Zdůrazňuje význam propojenosti mezi různými formami energie a prostřednictvím vlnění nám umožňuje lépe porozumět fungování vesmíru a světa kolem nás. Porozumění mechanickému vlnění nám umožňuje lépe chápat a využívat jeho vlastnosti pro různé aplikace a technologické inovace.

Existují dva základní typy mechanického vlnění: příčné a podélné. Při příčném vlnění kmitají částice médiu kolmo na směr šíření vlny, zatímco při podélném vlnění se částice pohybují ve směru šíření vlnění. (22)



Obrázek 1: Příčné a podélné vlnění (5)

1.1 PŘÍČNÉ VLNĚNÍ

Příčné vlnění je takové vlnění, kdy je směr kmitání částic kolmý na směr šíření vlny. Představme si, že máme jednorozměrný řetězec propojených hmotných bodů, který je například možné interpretovat jako pružnou šňůru nebo lanovou soustavu. Když jedním z bodů začneme provádět kmitavý pohyb, vzniká vlivem interakcí mezi sousedními body vlnění, které se šíří podél celého řetězce. Toto šíření vlnění můžeme pozorovat jako postupné kmitání jednotlivých bodů, které se odehrává ve fázově posunutých časech.

Důležitým pojmem je vlnová délka, což je vzdálenost mezi dvěma body, které kmitají ve stejném fázovém posunu. Tento parametr je dán rychlostí šíření vlnění v

a jeho frekvencí f , takže $\lambda = \frac{v}{f}$

Příčné vlnění se vyznačuje tím, že jednotlivé body provádějí výchylky kolmé na směr šíření vlny. Tato výchylka může být například kmitáním vlevo a vpravo, přičemž směr je kolmý na šíření vlny. (6, 8)

Příčné vlnění může být tzv. lineárně polarizované, kdy všechny výchylky vlny jsou umístěny ve stejné rovině a u vlny je jednoznačně určen směr kmitání. Druhým případem je kruhově polarizované vlnění, kdy se výchylky pohybují po kružnici kolem směru šíření vlny (6).

Důležité je si uvědomit, že tyto koncepty nejsou jen abstrakcí, ale mají konkrétní aplikace v různých oblastech fyziky a techniky. Například porozumění příčnému vlnění je klíčové pro analýzu elektromagnetického záření, což představuje základní součást mnoha technologických aplikací.

1.1.1 PŘÍČNÉ VLNĚNÍ V PRAXI

Příčné vlnění (také známé jako transversální vlnění) nachází uplatnění v mnoha oblastech praxe. Zde jsou některé z nich:

Stavebnictví

Při výstavbě budov je důležité uvažovat o šíření vibrací a rezonancí přes konstrukci. Správné navržení a izolace materiálů může minimalizovat přenos vlnění a vibrací přes stěny a podlahy.

Průmyslové stroje

V průmyslových zařízeních může být příčné vlnění přítomno při pohybu a vibracích strojů. Správná konstrukce a údržba strojů je důležitá pro minimalizaci nežádoucích vibrací a hluku.

Seismologie

Při studiu zemětřesení se využívá mechanického příčného vlnění k monitorování pohybů zemské kůry. Seismografy a geofony zachycují příčné vibrace, které mohou být použity k predikci a monitorování zemětřesných událostí.

Strojírenství

Při návrhu a výrobě strojů a zařízení je důležité brát v úvahu mechanické vibrace a rezonance. Příčné vlnění může ovlivnit výkon a životnost zařízení, a proto je nutné provádět analýzy a testy pro optimalizaci jejich konstrukce. Tato oblasti demonstrují

různé aplikace mechanického příčného vlnění v praxi a zdůrazňují jeho důležitost v širokém spektru odvětví a aplikací.

1.2 PODÉLNÉ VLNĚNÍ

Podélné vlnění nastává, když částice látky oscilují ve směru, který je shodný se směrem šíření vlnění. Lze si to představit jako sérii částic v jednorozměrném prostředí, kde oscilace první částice spustí pohyb i u ostatních částic vlnění ve stejném směru. Tento typ vlnění je charakterizován periodickým stlačováním a řidnutím částic látky během oscilace (6). Když částice kmitají ve stejné rovině jako směr šíření vlnění, dochází k periodickým změnám v hustotě látky, které umožňují šíření podélného vlnění v pružných materiálech (6). Zvuk, který vnímáme, je přesně takové podélné vlnění, které se šíří změnami v hustotě a tlaku vzduchu. Tato periodická změna hustoty vzduchu produkuje zvukovou vlnu, kterou vnímáme jako zvuk. Podélné vlnění hraje klíčovou roli v našem vnímání zvuku a má významný dopad na naše každodenní zkušenosti s akustikou prostředí. (1, 4, 6, 8, 9)

1.2.1 PODÉLNÉ VLNĚNÍ V PRAXI

Podélné vlnění má široké spektrum využití v různých oblastech lidské činnosti. Zde jsou některé příklady:

Zvuková komunikace

Podélné vlnění je základem pro šíření zvuku ve vzduchu. To umožňuje lidskou komunikaci, jako je hovor, hudba, ale také alarmy a varovné signály v každodenním životě.

Průmysl

V průmyslových aplikacích se podélné vlnění využívá pro kontrolu a monitorování stavu zařízení a strojů. Například ultrazvukové metody jsou používány pro zjišťování vad ve svarových spojích nebo pro měření tloušťky materiálů.

Geologie

V geologických výzkumech se podélné vlnění využívá k analýze vlastností hornin a struktury zemské kůry. Metody, jako je seismická refrakce a reflexe, umožňují získání informací o geologických vrstvách a nalezištích nerostných surovin.

Sonar

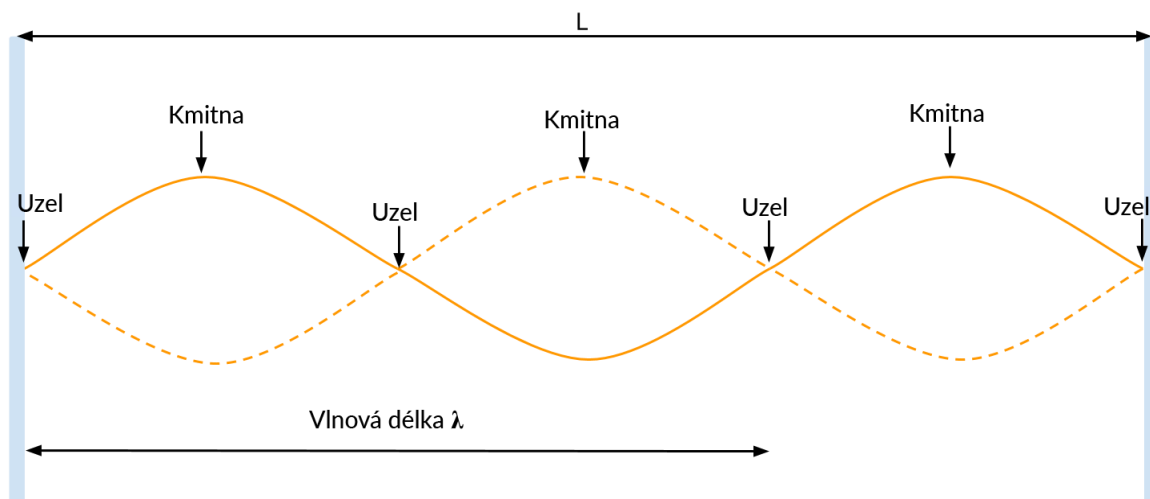
Sonarové systémy využívají podélné vlnění pro detekci a lokalizaci objektů pod hladinou vody. To je důležité pro námořní navigaci, průzkum mořského dna a v rybolovu.

Akustické izolace

V oblasti stavebnictví a konstrukcí se podélné vlnění používá k navrhování akusticky izolovaných prostorů, které minimalizují přenos zvuku mezi různými místnostmi nebo budovami.

1.3 STOJATÉ VLNĚNÍ

Stojaté vlnění představuje základní koncept v oblasti mechanických vln, který vzniká interferencí dvou nebo více vln pohybujících se opačnými směry v prostoru. Tento jev je charakterizován pevnými uzly a kmitny, kde dochází k opakujícím se maximálním a minimálním hodnotám amplitudy vlny. Uzly představují místa, kde amplituda stojatého vlnění dosahuje nulové hodnoty, zatímco kmitny jsou body s maximální amplitudou. Je důležité poznamenat, že stojaté vlnění může být jak podélné, tak i příčné, což závisí na typu prostředí, ve kterém se vlna šíří. (4, 9)



Obrázek 2: Stojaté vlnění (10)

Důležitým rysem stojatého vlnění je, že částice médií, kterými se vlna šíří, "neodcházejí" z určitých míst prostoru, kde se nacházejí uzly. To vytváří dojem, že vlna "stojí", což je důvod, proč se nazývá stojatým vlněním. Délka stojaté vlny je pevně stanovena

geometrií prostředí, ve kterém se vlna šíří, dále frekvencí kmitání jednotlivých bodů (frekvencí zdroje) také a vlastnostmi média, skrze které prochází.

Stojaté vlnění má mnoho aplikací napříč různými disciplínami. Ve fyzice poskytuje základ pro porozumění principům akustiky, optiky a elektromagnetismu. V praxi se setkáváme se stojatým vlněním například při studiu harmonických oscilací, výzkumu akustických vlastností hudebních nástrojů či analýze elektromagnetických rezonančních jevů.

1.3.1 STOJATÉ VLNĚNÍ V PRAXI

Mechanické vlnění, které se šíří látkovým prostředím, má mnoho praktických aplikací. Zde se podíváme na některé z nich:

Hudební nástroje:

Struny hudebních nástrojů: Stojaté vlnění na strunách (např. kytara, housle) vytváří různé tóny a harmonie. Uzly a vrcholy na struně určují rezonanční frekvenci a tón nástroje.

Dechové nástroje: Stojaté vlnění ve vzduchových sloupcích (např. klarinet, trubka) generuje zvuk. Uzly vzduchového sloupce jsou klíčové pro vytváření tónů.

Akustická izolace:

Stojaté vlnění může být využito k minimalizaci zvuku v určitých oblastech, například v koncertních sálech nebo nahrávacích studiích.

Vibrace a rezonance:

Mechanické vlnění je základem vibrací a rezonance. Například při ladění kytary se využívá stojatého vlnění struny.

2 ZÁKLADNÍ INFORMACE O VLNĚNÍ

2.1 ROVNICE POSTUPNÉHO VLNĚNÍ

V procesu postupného vlnění se harmonické kmitání přenáší na sousední částice spojené pružnými silami. Když dorazí k určitému bodu ve vzdálenosti x od počátečního bodu, začne bod kmitat v souladu s přenášenou vlnou.

Bod začne kmitat s určitým zpožděním oproti počátečnímu bodu. Toto zpoždění je dáno časem potřebným pro přenos vlny z počátečního bodu do bodu, který lze vyjádřit jako časový interval $t = \frac{x}{v}$, kde v je rychlost šíření vlny. Čím větší je vzdálenost x mezi počátečním bodem a bodem, tím později začne bod kmitat.

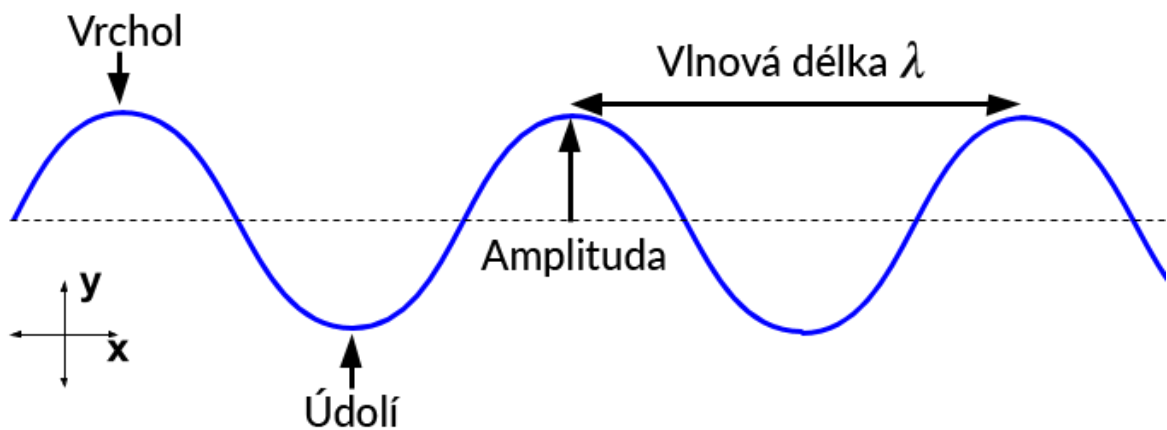
Matematicky lze výchylku bodu vyjádřit pomocí funkce $y = y_m \sin \omega t$, kde y_m je maximální výchylka, ω je úhlová frekvence kmitání a t je čas měřený od okamžiku, kdy počáteční bod prošel rovnovážnou polohou. (6, 9)

Dalším důležitým faktorem je, že postupné vlnění vytváří periodický jev v prostoru a čase. Tento jev je popsán rovnicí postupné vlny ve tvaru: $y = y_m \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$, kde λ je vlnová délka. Tato rovnice nám umožňuje detailně analyzovat vlnění v závislosti na pozici x v bodové řadě. (1, 2, 4, 9)

Celkově lze tedy konstatovat, že postupné vlnění je dynamický proces, ve kterém se harmonické kmitání postupně přenáší z jednoho bodu na další v bodové řadě, vytvářející periodické vlnění s charakteristickým časovým a prostorovým průběhem.

2.2 VLNOVÁ DÉLKA

Vlnová délka, označovaná jako λ , je v podstatě vzdálenost, kterou vlnění projde během jedné periody kmitání zdroje vlnění. To znamená, že pokud si představíme bod na vlně, který začíná kmitat, vlna se bude šířit až k bodům, které mají stejnou fázi kmitání jako tento výchozí bod. Vzdálenost mezi těmito body je právě vlnová délka. Je to jako měření vzdálenosti mezi dvěma vrcholy na vlně, kteří dosahují své maximální výšky ve stejný čas. (2, 4)



Obrázek 3: Vlnová délka (11)

2.3 RYCHLOST ŠÍŘENÍ VLNĚNÍ

Rychlost šíření mechanického vlnění je klíčovým parametrem, který charakterizuje, jak rychle se zakřivení nebo deformace vlny šíří prostředím. Tato rychlost závisí na vlastnostech média, ve kterém vlnění probíhá. Vztah pro rychlost vlny lze odvodit z rovnic popisujících vlastnosti média a fyzikální podmínky vlnění.

Pro pružné médium, jako je například pružná šňůra, platí vztah $v = \sqrt{\frac{T}{u}}$, kde v je rychlost vlny, T je síla napnutí šňůry a u je lineární hustota šňůry (hmotnost na jednotkovou délku). Tato rovnice ukazuje, že rychlost vlny je přímo úměrná odmocnině síly a nepřímo úměrná odmocnině lineární hustoty. To znamená, že vyšší napětí nebo nižší hustota povedou k vyšší rychlosti vlny. (12)

V případě vlnění ve vodě nebo jiných kapalinách a plynech se vztah pro rychlost vlny liší v závislosti na povaze vlnění, v plynech a kapalinách vzniká pouze podélné vlnění. Při studiu povrchových vln na vodní hladině můžeme použít obdobný vztah, kde napětí je nahrazeno povrchovým napětím kapaliny a lineární hustota je nahrazena hustotou kapaliny. (8)

Rychlost šíření vln v různých prostředích, jako jsou plyny, kapaliny a pevné látky, je určena vlastnostmi daného prostředí. Základní vztahy pro rychlost šíření vln jsou:

V plynech: Rychlost vlnění v plynech je dána vztahem: $v = \sqrt{\frac{p \cdot \kappa}{\rho}}$, kde v je rychlost, κ je adiabatický index plynu, p je tlak a ρ je hustota plynu. (13)

V kapalinách: Rychlost šíření vln v kapalinách je závislá na stlačitelnosti kapaliny. Pro ideální nestlačitelnou kapalinu (jako je voda) je rychlost šíření vln přibližně $v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$, kde K je modul objemové elasticity (Bulk modulus) a ρ je hustota kapaliny. (14)

V pevných látkách: Rychlost šíření vln v pevných látkách je dána vztahem: $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ kde v je rychlost vln, E je Youngův modul pružnosti a ρ je hustota pevné látky. (15)

Tyto vztahy jsou základem pro porozumění šíření mechanických vln různými médii. Je důležité poznamenat, že skutečné hodnoty rychlosti vln se mohou lišit v závislosti na specifických vlastnostech dané látky a na podmínkách prostředí.

Je důležité zdůraznit, že rychlost vlny není konstantní pro všechny typy vln ani ve všech médiích.

Pro rychlost příčného a podélného vlnění platí následující vztahy:

Příčné vlnění: Rychlost v_p příčné vlny v prostředí závisí na modulu pružnosti ve smyku G a hustotě ρ média. Pro příčné vlnění v pevném prostředí platí: $v_p = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$ (16)

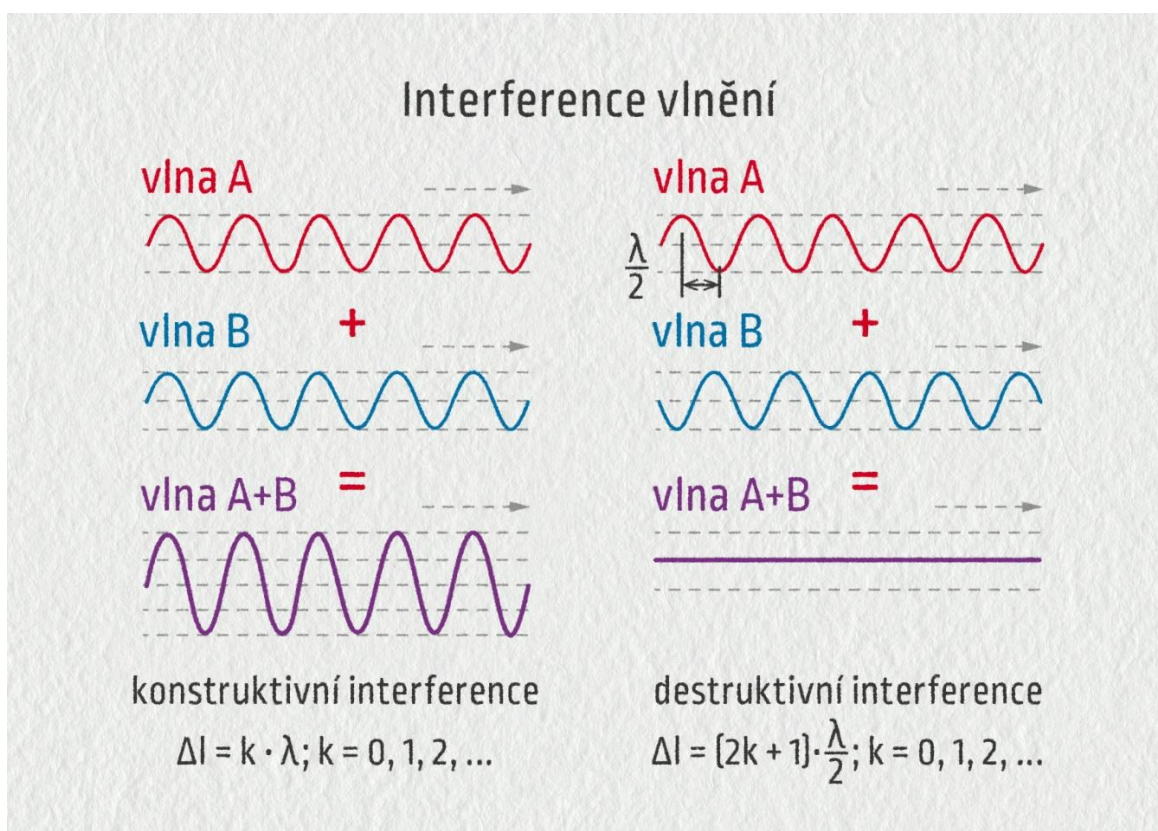
Podélné vlnění: Rychlost v_s podélné vlny v prostředí závisí na Lamého konstantách λ a μ a hustotě ρ média. Pro podélné vlnění v pevném prostředí platí: $v_s = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$ (16)

Vlastnosti médií mohou výrazně ovlivnit rychlost vlny. Například v hustějších médiích, jako jsou tuhé látky, je rychlost vlny nižší než v médiích s nižší hustotou médiích.

Celkově lze říci, že rychlost vlny je klíčovým faktorem ovlivňujícím chování mechanického vlnění a její pochopení je nezbytné pro analýzu a modelování šíření vln v různých prostředích.

2.4 INTERFERENCE VLNĚNÍ

Interference vlnění vzniká, když se setkávají dvě nebo více vln pohybujících se ve stejném médiu. Při této interakci se vlny mohou navzájem posilovat (konstruktivní interference) nebo oslabovat (destruktivní interference) na základě jejich fázové shody nebo rozdílu.



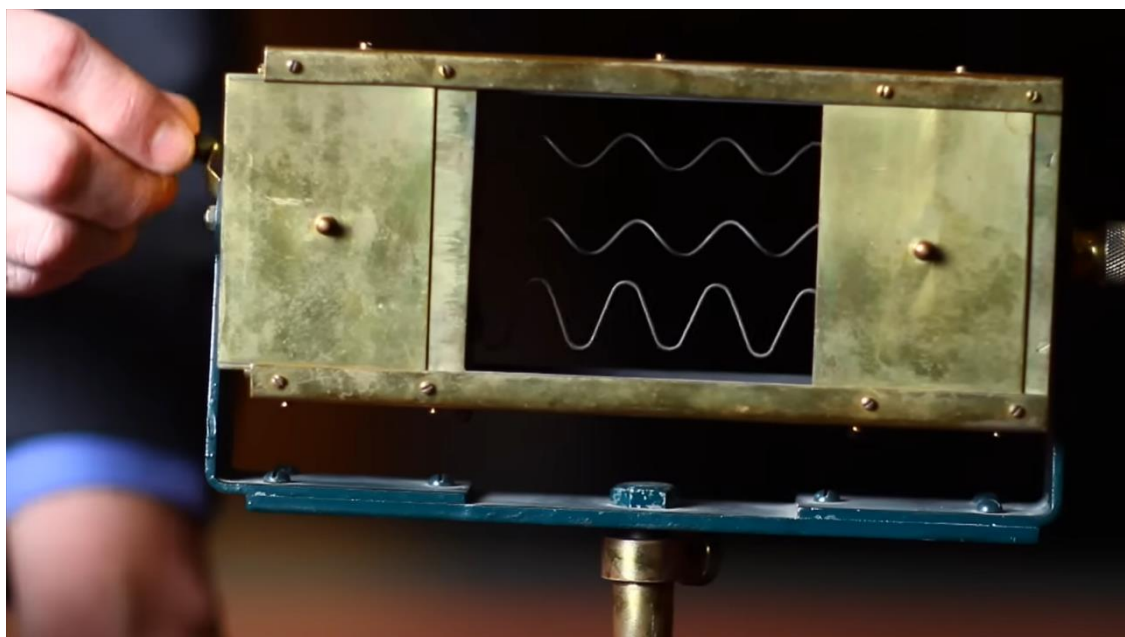
Obrázek 4: interference konstruktivní a destruktivní (17)

2.4.1 KONSTRUKTIVNÍ INTERFERENCE

K ní dochází, když jsou vrcholy jedné vlny synchronizovány s vrcholy druhé vlny a díly dolů jsou synchronizovány s doly druhé vlny. Výsledkem je, že amplituda vzniklé vlny je větší než amplitudy původních vln. Tento jev je zvláště výrazný, když jsou fázové rozdíly mezi vlnami násobky 2π (celých čísel). (4)

Interference vlnění je základním principem ve fyzice a má široké spektrum aplikací. Je to například základní princip při vytváření interferenčních obrazů v optice, při analýze

zvuku a elektromagnetického vlnění a při konstrukci zařízení jako jsou interferenční filtry nebo holografické zobrazení. (4)



Obrázek 5: Historický přístroj na demonstraci konstruktivního skládání vlnění (18)

2.4.2 DESTRUKTIVNÍ INTERFERENCE

V tomto případě jsou vrcholy jedné vlny synchronizovány s důlky druhé vlny a naopak. Výsledkem je, že amplituda vzniklé vlny je menší než amplitudy původních vln. Opět je tento jev nejvýraznější, když jsou fázové rozdíly mezi vlnami liché násobky π .

2.5 INTENZITA VLNĚNÍ

Intenzita mechanického vlnění je klíčovým pojmem v této oblasti, který popisuje množství energie přenášené vlnou za jednotku času a jednotkovou plochu. Tato kapitola se zabývá detailním zkoumáním intenzity mechanického vlnění, jeho definicí, vlastnostmi a praktickým využitím.

Definice a matematický popis

Intenzita mechanického vlnění, označovaná jako I , je definována jako výkon přenášený mechanickou vlnou za jednotku plochy kolmou k směru šíření vlny. Matematicky je intenzita vlnění definována jako: $I = \frac{P}{S}$

Kde P je výkon přenášený vlnou a S je plocha kolmá k směru šíření vlny.

Jednotky

Jednotkou intenzity mechanického vlnění v SI soustavě je watt na metr čtvereční $\frac{W}{m^2}$

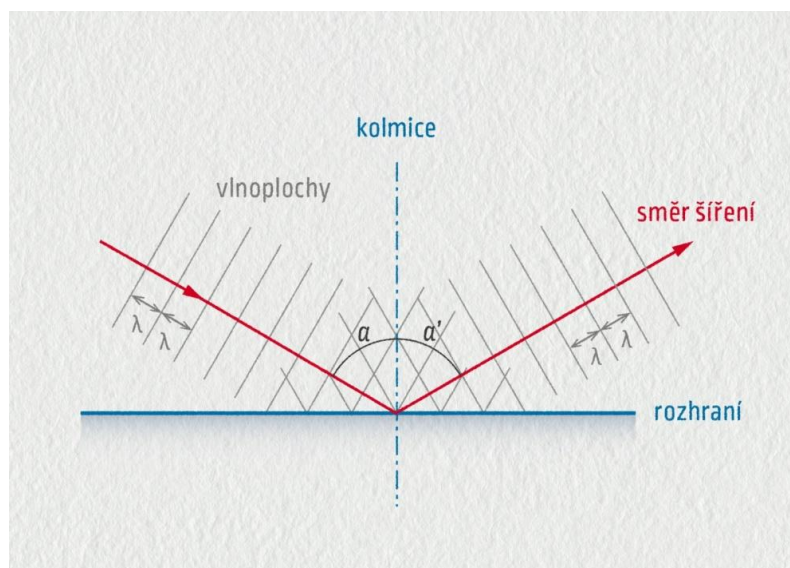
Vlastnosti

- Intenzita vlnění se šíří sféricky od bodového zdroje, což znamená, že s rostoucí vzdáleností od zdroje se intenzita vlnění snižuje podle kvadratické závislosti.
- Intenzita vlnění je úměrná druhé mocnině amplitudy vlny. To znamená, že pokud se amplituda vlny zdvojnásobí, tak se intenzita vlnění zčtyřnásobí.

Intenzita mechanického vlnění je důležitým parametrem, který popisuje množství energie přenášené mechanickou vlnou za jednotku času a plochy. Porozumění intenzitě mechanického vlnění je klíčové pro řadu aplikací v medicíně, inženýrství, akustice a průmyslu.

2.6 ODRAZ VLNĚNÍ

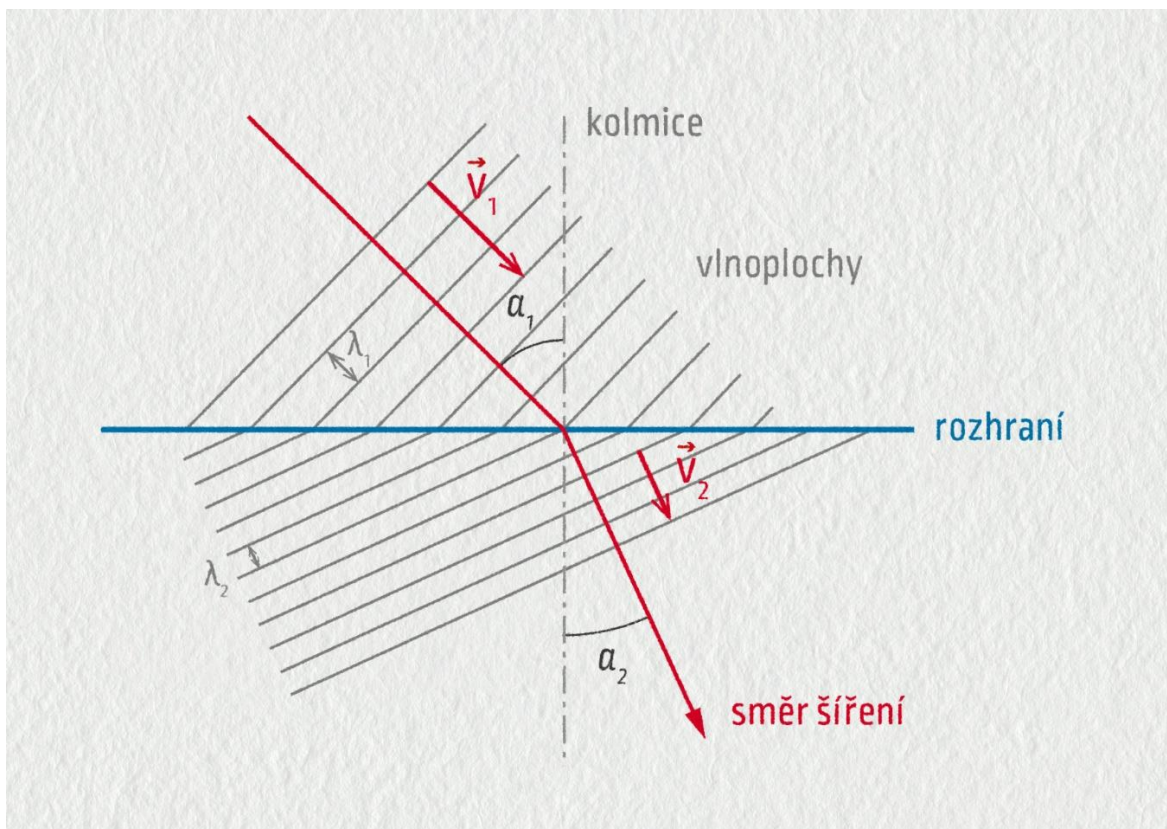
Odraz vlnění nastává, když vlna narazí na rozhraní dvou prostředí a částečně se od něj odrazí. Úhel odrazu je roven úhlu dopadu a odraz vlnění zachovává energii a hybnost. Tento jev je základem mnoha technologií, jako jsou zvukové a elektromagnetické odrazy, které se využívají v radarových systémech, ultrazvukových diagnostických zařízeních a dalších aplikacích.



Obrázek 6: odraz vlnění (19)

2.7 LOM VLNĚNÍ

Lom vlnění nastává, když vlna přechází z jednoho prostředí do druhého s odlišnými vlastnostmi (např. hustotou), což může změnit její směr a rychlost šíření. Při lomu se vlna může lomit pod úhlem k normále, což je vyznačeno Snellovým zákonem, který popisuje vztah mezi úhly dopadu a lomu a indexy lomu obou prostředí. Lomový jev je klíčový pro chápání optických dalekohledů, brýlí či průchodu světla skrz čočky. (9)



Obrázek 7: Vliv prostředí na odraz a lom (20)

Vlastnosti prostředí, jako je hustota, pružnost a index lomu, mají významný vliv na odraz a lom mechanického vlnění. Například při přechodu z jednoho prostředí s vyšším indexem lomu do prostředí s nižším indexem lomu může dojít k většímu lomu a odrazu vlnění.

2.7.1 APLIKACE ODRAZU A LOMU VLNĚNÍ

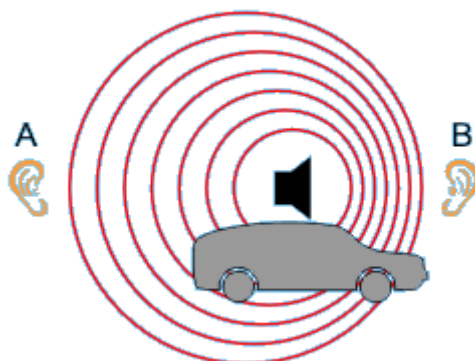
Odraz a lom mechanického vlnění jsou klíčovými jevy v mnoha oblastech, včetně akustiky, optiky, geofyziky a inženýrství. Tyto jevy se využívají například při konstrukci sonarových systémů, ultrazvukových diagnostických přístrojů, optických mikroskopů a mnoha dalších technologií.

2.8 DOPPLERŮV JEV

Dopplerův jev je fyzikální jev, který popisuje změnu frekvence vlnění pozorovaného pozorovatelem v důsledku relativního pohybu mezi zdrojem vlnění a pozorovatelem. Tento jev je pojmenován po rakouském fyzikovi Christianu Dopplerovi, který ho poprvé formuloval v roce 1842. (1, 4, 9, 22)

Dopplerův jev se nejčastěji spojuje se změnou frekvence zvuku nebo světla v důsledku pohybu zvukového nebo světelného zdroje nebo pozorovatele. Základní principy Dopplerova jevu jsou následující:

1. **Pohyb zdroje vlnění:** Pokud se zdroj vlnění (například zvuk nebo světlo) pohybuje směrem k pozorovateli, dochází k tomu, že vlny se "stlačují" a jejich frekvence se zvyšuje. Naopak, pokud se zdroj vlnění pohybuje od pozorovatele, dochází k "roztážení" vln a jejich frekvence se snižuje.
2. **Pohyb pozorovatele:** Pokud se pozorovatel pohybuje směrem k zdroji vlnění, dochází k zvýšení frekvence vln. Jestliže se pozorovatel pohybuje od zdroje vlnění, frekvence vln se snižuje.



Obrázek 8: dopplerův jev (21)

Dopplerův jev má důležité aplikace v různých oblastech, včetně:

Astronomie: Používá se k určení rychlosti hvězd nebo galaxií.

Meteorologie: Pomáhá určit rychlost pohybu bouřkových mraků na základě změn v frekvenci radarových signálů.

3 ROZBOR VLNĚNÍ V UČEBNICI, ROZBOR VLNĚNÍ V RVP, NEBO ŠVP.

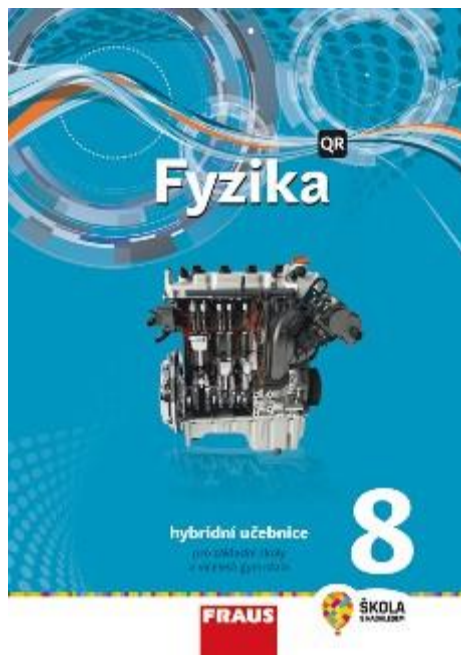
V této části se zaměříme na podrobnou analýzu vlnění v kontextu fyzikální výuky. Vlnění představuje zásadní koncept ve fyzice, jehož porozumění je klíčové pro vysvětlení a popis mnoha přírodních jevů. Cílem této analýzy je zhodnotit způsob, jakým jsou principy vlnění prezentovány v učebnicích, Rámcovém vzdělávacím programu (RVP) a školním vzdělávacím programu (ŠVP). Tyto materiály mají zásadní vliv na formování vzdělávacího procesu a jsou klíčovým prvkem ve vývoji fyzikální gramotnosti žáků. Náš zájem bude soustředěn na jejich obsah, přístup k výuce a způsob, jakým podporují porozumění konceptům vlnění ve fyzice.

3.1 ANALÝZA UČEBNICE FRAUS

Správný výběr učebnice pro učitele je klíčový, protože má obrovský vliv na kvalitu výuky. Učebnice totiž nejsou pouze statickým textem, ale spíše interaktivním průvodcem vzděláváním. Jejich role není omezena pouze na výuku ve třídě, ale rozšiřuje se i do domácí přípravy žáků a spolupráce s rodiči. (24, 25)

V tomto kontextu jsem si vybral učebnici fyziky pro 8. ročník základní školy od nakladatelství Fraus, která se jeví jako vhodná volba. Tato učebnice nejen odpovídá požadavkům Rámcového vzdělávacího programu pro základní vzdělávání (RVP ZV), ale také poskytuje synergii v propojení s pracovním sešitem. Co je však ještě zajímavější, je přítomnost QR kódu v pracovním sešitu, který otevírá přístup k online materiálům. To není jen moderní prvek, ale skvělý způsob, jak propojit tištěný obsah s digitálním světem. (24,25)

Tímto propojením si myslím, že tato učebnice nabízí více než jen statické informace. Poskytuje interaktivní zkušenost a umožňuje flexibilitu ve výuce. Takovýto přístup nejenže podporuje tradiční výuku ve třídě, ale také přizpůsobuje vzdělávání potřebám každého žáka individuálně. To je klíčový aspekt moderního vzdělávání, který bychom měli podporovat a rozvíjet.



Obrázek 9: Učebnice fyziky pro 8. ročník ZV (23)

3.1.1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE

- fyzika pro 8. ročník – učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia.
- Autoři: Miroslav RANDA, Jiří KOHOUT, Václav KOHOUT, Pavel KRATOCHVÍL, Pavel MASOPUST, Josef PETŘÍK, Jitka PROKŠOVÁ a Karel RAUNER
- Nakladatelství: Fraus, Plzeň, 2018

Analýza vychází z hlavních hodnotících kritérií, která jsou odvozena z požadavků Rámcového vzdělávacího programu pro základní vzdělávání (RVP ZV). Zaměřujeme se především na klíčové kompetence, konkrétně schopnosti učení, řešení problémů a komunikace, které jsou úzce spojeny s vzdělávacími oblastmi a průřezovými tématy. V této souvislosti je důležité zdůraznit hlavní tematické bloky, kterými učebnice pracuje. K nim patří práce a energie, tepelné jevy, zvukové jevy, a nakonec elektrický proud s řešením jednoduchých elektrických obvodů. (23, 24,26)

3.1.2 VÝKLAD UČIVA

Tato část rozboru se věnuje tomu, jak je prezentováno vyučované učivo, konkrétně didaktické organizaci. Učebnice v tomto směru následuje inovativní postoj, který podporuje žáky ve vlastní práci a aktivně je zapojuje do řešení problémů. Na rozdíl od tradičního modelu, kde se shrnutí poskytuje pouze na konci a často je vnímáno jako jediné správné řešení, tato učebnice žáky motivuje k samostatnému myšlení, hledání

problémů a jejich řešení (24). Zvlášť výrazným prvkem je propojení učiva mezi jednotlivými ročníky. Učebnice fyziky pro 8. ročník navazuje na témata probíraná v předchozích letech. Každý tematický celek je systematicky rozvíjen a doplňován na vyšší úroveň, což zajišťuje, že všechny obsahy Rámcového vzdělávacího programu pro základní vzdělávání jsou splněny. Strukturování učiva do základních a doplňkových pojmů přináší systematický přístup. Základní poznatky jsou postaveny na znalostech, které žáci již ovládají z předešlých ročníků, zatímco doplňkové pojmy obohacují tuto základní látku o vedlejší koncepty. Tímto způsobem je možné efektivně diferenciovat výuku v rámci jedné třídy. (24)

3.1.3 GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ

Tato část rozboru se nezaměřuje pouze na to, jak učebnice vypadá, ale také na to, jakým způsobem podporuje žáky při jejich práci s textem. Učebnice pro 8. ročník základního vzdělávání se jeví jako moderní a svěží. Její design vzbuzuje pocit klidu a není přeplněný rušivými prvky, což umožňuje žákům soustředit se na text. Přesto autoři dbají na to, aby ilustrace a fotografie vypadaly moderně a aktuálně, což pomáhá motivovat žáky a podporuje jejich kompetenci k učení. Tyto prvky nejenže zlepšují estetický dojem učebnice, ale také zvyšují její vzdělávací hodnotu a přispívají k efektivnějšímu učení žáků. V úvodu učebnice je seznam použitých symbolů, což jasně ukazuje, s jakými typy úkolů se setkáme, jako například práce s internetem, skupinové aktivity a úkoly pro individuální práci. Každý tematický blok má své vlastní logo, což usnadňuje orientaci. Různé velikosti a barvy nadpisů dále usnadňují čtení. Číslování a propojení cvičení a úkolů zvyšuje systematickosti. (23, 24, 25, 26)

Domnívám se, že podněcování žáků k hledání spojitostí v učivu prostřednictvím individuálního nebo skupinového řešení úkolů je efektivní. Aktivizační úlohy na začátku každé kapitoly podporují rozvoj dovedností ve vzdělávání a komunikaci. Barevné odlišení a zdůraznění klíčových pojmů ve vysvětlujících tabulkách zlepšuje srozumitelnost. (23, 24, 25, 26)

Zaujala mě také postranní lišta s vysvětlivkami, poznámkami a odkazy na mezipředmětové vztahy. Tento grafický prvek přidává další rozměr a kontext k učivu. Celkově lze říci,

že grafické provedení učebnice nabízí mnoho zajímavých prvků, které podporují interaktivní a souvislou výuku.

3.1.4 ROZBOR VLNĚNÍ V UČEBNICI PRO 8. ROČNÍK ZŠ FRAUS

Tato učebnice fyziky pro 8. ročník základní školy přináší moderní a interaktivní přístup k výuce tématu vlnění. Jedním z hlavních prvků této učebnice jsou živé a relevantní příklady, jako je tsunami v Japonsku. Tato událost umožňuje žákům spojit teorii s reálnými událostmi a získat tak hlubší porozumění konceptům fyziky. (23)

Text učebnice je strukturován tak, aby byl srozumitelný a atraktivní pro žáky. Obsahuje mnoho obrázků a ilustrací, které vizualizují koncepty vlnění a usnadňují porozumění. Praktické pokusy, jako je například demonstrace vlnění pomocí gumové hadice, poskytují žákům možnost experimentovat a zkoumat fyzikální principy na vlastní pěst (23).

Další silnou stránkou této učebnice jsou matematické výpočty, které jsou prezentovány srozumitelným způsobem a přímo aplikovány na praktické situace. To umožňuje žákům propojit teorii s reálnými problémy a procvičit si matematické dovednosti v kontextu fyziky.

Text dále vysvětluje rozdíl mezi příčným a podélným vlněním a přináší další pokusy a úkoly, které pomáhají žákům lépe porozumět těmto konceptům. Tímto způsobem je výuka fyziky zábavná a interaktivní, což může zvýšit motivaci žáků k učení.

Celkově lze tedy říci, že tato učebnice poskytuje komplexní a poutavý pohled na téma vlnění, který je přizpůsoben potřebám a schopnostem žáků ve 8. ročníku základní školy.

3.2 RVP PRO GYMNÁZIA

Rámcový vzdělávací program (RVP) je strukturovaný dokument, který slouží jako východisko pro tvorbu školních vzdělávacích plánů na různých úrovních školního vzdělávání. RVP obsahuje informace o tom, jaké předměty se vyučují, jaké jsou cíle vzdělávání a jakým způsobem se výuka organizuje.

Je důležité se seznámit s obsahem RVP, aby byl přehled o tom, co se může očekávat během studia.

3.2.1 NÁZEV VZDĚLÁVACÍHO CELKU

"Pohyb těles a jejich vzájemné působení" (27)

Očekávané výstupy žáka: Žák by měl být schopen objasnit procesy vzniku, šíření, odrazu a interference mechanického vlnění. (27)

Učivo: „Zahrnuje mechanické kmitání a vlnění, jako je kmitání mechanického oscilátoru, jeho perioda a frekvence; postupné a stojaté vlnění; vlnová délka a rychlost vlnění; a charakteristiky zvuku, včetně jeho hlasitosti a intenzity.“ (27)

Celkově je cílem tohoto rozboru poskytnout studentům základní znalosti a dovednosti v oblasti mechanického vlnění, které jsou relevantní pro jejich věkovou skupinu a které je připraví na další studium fyziky. Integrace mezipředmětových vztahů a průřezových témat poskytuje studentům širší perspektivu a umožňuje jim rozvíjet komplexnější dovednosti potřebné pro úspěšné učení a životní dovednosti.

3.3 RVP pro základní vzdělávání

V Rámcovém vzdělávacím programu pro základní školy z v let 2016, 2017 a 2021 nebyly zaznamenány zmínky o mechanickém vlnění. Tento termín nebyl v těchto dokumentech výslovně uveden jako součást strategických priorit či klíčových prvků vzdělávacího plánu. Místo toho se tyto dokumenty zaměřovaly na jiné aspekty vzdělávání.

3.4 ŠVP PRO G

Školní vzdělávací program "Vzdělání – brána do života" určený pro vyšší stupeň Gymnázia Plzeň, Mikulášské nám. 23, se všeobecným zaměřením, je zpracován podle Rámcového vzdělávacího programu gymnázií (RVP G). V tomto úvodu se zaměříme na analýzu části tohoto programu, která se týká specifického tématu, abychom lépe porozuměli jeho obsahu a významu pro studenty.

3.4.1 TÉMA MECHANICKÉ VLNĚNÍ

- Stanovené výstupy pro žáky zdůrazňují pochopení základních principů mechanického vlnění, včetně rozlišování jednotlivých typů mechanických oscilátorů, vztahů mezi periodou, frekvencí a úhlovou frekvencí kmitání a rozdílu mezi kmitáním a vlněním. (28)

3.4.2 CÍLE

- Porozumění rozdílu mezi kmitáním a vlněním: Tento cíl klade důraz na pochopení základního rozdílu mezi dvěma základními jevy v přírodě, což poskytuje základ pro další studium mechanického vlnění. (28)
- Rozlišování mezi postupným a stojatým vlněním: Tento cíl se zabývá dvěma základními typy vlnění a rozlišováním jejich vlastností a charakteristik, což je klíčové pro porozumění různým jevům vlnění. (28)
- Aplikace poznatků o interferenci vlnění: Tento cíl se zaměřuje na praktickou aplikaci znalostí o interferenci vlnění při vytváření stojatých vln a také při studiu šíření zvuku. (28)

3.4.3 UČIVO

- Postupné mechanické vlnění: Zahrnuje učivo týkající se základních principů a vlastností postupného mechanického vlnění, včetně jeho druhů, vzniku a šíření. (28)
- Interference a stojaté vlnění: Tato část učiva se zabývá pokročilejšími koncepty, jako je interferenční jevy a vytváření stojatých vln, které vyžadují důkladnější porozumění. (28)
- Základy akustiky: Zahrnuje základní principy zvuku a jeho šíření, což poskytuje studentům přehled o aplikacích mechanického vlnění v reálném světě. (28)

3.4.4 PŘESAHY

- Propojení s matematikou: Poukazuje na vztah mezi fyzikou a matematikou prostřednictvím goniometrických funkcí a rovnic, což pomáhá studentům lépe porozumět matematickým aspektům fyzikálních jevů. (28)
- Propojení s informatikou: Ukazuje, jaké využití má fyzikální principy, jako je šíření vlnění, v oblasti informační technologie a komunikace. (28)
- Propojení s dějepisem: Poskytuje historický kontext vývoje technologií a vědy, což pomáhá studentům lépe porozumět vývoji a aplikacím mechanického vlnění v průběhu dějin. (28)

3.4.5 TÉMATICKÉ OKRUHY

- Zahrnují širší témata související s aplikacemi a dopady elektromagnetického vlnění a zvukového vlnění na společnost a životní prostředí. (28)
- Posilují multidisciplinární přístup k výuce a ukazují, jaké využití mají fyzikální principy v různých oblastech života a studia. Taková rozsáhlejší analýza umožňuje lepší porozumění tomu, jakým způsobem je mechanické vlnění zahrnuto do školního vzdělávacího plánu a jaké jsou jeho širší implikace pro výuku a učení se. (28)

3.4.6 MEZIPŘEDMĚTOVÉ VZTAHY A PRŮŘEZOVÁ TÉMATA

- Propojení s osobnostní a sociální výchovou podporuje rozvoj komunikace a spolupráce v pracovních skupinách, což je klíčové pro efektivní učení a práci ve skupinách. (28)
- Propojení s mediální výchovou a matematikou poskytuje studentům příležitost rozvíjet kreativitu a pracovat na tvorbě mediálních sdělení a grafů funkcí. (28)

3.5 ŠVP PRO ZV

Školní vzdělávací program "Vzdělání – brána do života" určený pro nižší stupeň Gymnázia Plzeň, Mikulášské nám. 23, orientovaný na matematiku a přírodní vědy, připravuje studenty na další studium a kariéru. Podle Rámcového vzdělávacího programu základního vzdělávání (RVP ZV) je strukturován s ohledem na potřeby moderního vzdělávacího prostředí. Tato analýza se soustředí na jen na téma mechanického vlnění v rámci tohoto školního vzdělávacího programu, abychom lépe porozuměli jeho obsahu a významu pro studenty. (29)

Pro nižší stupeň víceletého gymnázia je rozbor vlnění zaměřen na základní koncepty mechanického vlnění a jejich aplikace, přičemž bere v úvahu věkově odpovídající schopnosti a znalosti studentů.

3.5.1 TÉMA MECHANICKÉ VLNĚNÍ

- Stanovené výstupy pro žáky zdůrazňují pochopení základních principů mechanického vlnění, včetně rozlišování jednotlivých typů mechanických oscilátorů, vztahů mezi periodou, frekvencí a úhlovou frekvencí kmitání a rozdílu mezi kmitáním a vlněním. (29)

3.5.2 Učivo

- Základní učivo se zaměřuje na pochopení mechanických oscilátorů a záznamu mechanického kmitání. (29)
- Zahrnuje popis kmitání, periodu a frekvenci kmitání a základní informace o mechanickém vlnění, včetně jeho šíření v látkách a měření vlnové délky. (29)

3.5.3 MEZIPŘEDMĚTOVÉ VZTAHY A PRŮŘEZOVÁ TÉMATA

- Propojení s osobnostní a sociální výchovou podporuje rozvoj komunikace a spolupráce v pracovních skupinách, což je klíčové pro efektivní učení a práci ve skupinách. (29)
- Propojení s mediální výchovou a matematikou poskytuje studentům příležitost rozvíjet kreativitu a pracovat na tvorbě mediálních sdělení a grafů funkcí. (29)

Integrace mezipředmětových vztahů a průřezových témat poskytuje studentům širší perspektivu a umožňuje jim rozvíjet komplexnější dovednosti potřebné pro úspěšné učení a životní dovednosti.

4 DEMONSTRACE VLNĚNÍ NA VLNOSTROJÍCH

4.1 VLNOSTROJ Z PRUŽINY

4.1.1 ÚVOD

Pružiny jsou strojním prvkem, který má dlouhou historii. Od starověkých strojů až po moderní technologie se pružiny používají v různých aplikacích.

4.1.2 POPIS

Obyčejná pružina je tvořena spirálovitě stočeným kovovým drátem nebo páskem. Pružinové vlnění je způsobeno mechanickými oscilacemi pružiny, která je deformována a uvolněna. Při deformaci pružiny se přenáší kinetická energie z jednoho místa na druhé, což vytváří vlny. To umožňuje pružinám sloužit jako tlumiče, regulátory síly, zpětné mechanismy a mnoho dalších aplikací.

Princip vlnění lze shlédnout na:

https://www.youtube.com/playlist?list=PLzz8zYQQZgMKnuIN144supyQZoPrcP_MK (30)

4.1.3 DEMONSTROVATELNÉ JEVY

Stojaté vlny: Pružina s pevnými konce může vytvářet stojaté vlny, když se vlny odrazí na obou koncích a interferují mezi sebou. Tím vznikají uzly (místa s minimálním pohybem) a kmitnice (místa s maximálním pohybem) v pružině.

Interference: Při kmitání pružiny mohou vlny interagovat a interferovat mezi sebou, což může vést k posílení nebo potlačení amplitudy v různých částech pružiny. Tento jev lze pozorovat při vyvolání dvou nebo více vln, které procházejí pružinou současně.

Podélné a příčné vlnění: S pružinou lze demonstrovat oba typy vlnění. Podélné vlnění se vyskytuje, když se částice pružiny pohybují ve směru šíření vln, zatímco příčné vlnění se vyskytuje, když částice pružiny kmitají kolmo na směr šíření vln.

Vliv pevných a volných konců: Pevné konce pružiny umožňují vznik stojatých vln a ovlivňují interferenci vln. Naopak, pružina s volnými konci umožňuje volnější pohyb na konci pružiny, což může vést k odlišnému chování vlnění.

4.1.4 REALIZACE

Příprava pružiny: Začněte s běžnou kovovou pružinou, která má pevné konce. Ujistěte se, že pružina je čistá a bez deformací.

Zajištění stabilního upevnění: Pevně upevněte oba konce pružiny, například k uchycení na stojan pomocí svorek nebo držáků. Ujistěte se, že pružina je pevně fixována a nedochází k žádnému nechtěnému pohybu.

Aplikace síly: Začněte deformovat pružinu tlačáním nebo tahem. Můžete postupně působit různými silami a pozorovat, jak reaguje pružina na změny sil.

Pozorování vlnění: Pozorujte pohyb pružiny a sledujte vlnění, které vzniká při jejím kmitání. Můžete sledovat vznik stojatých vln, interferenci vln, a také vliv pevných a volných konců na chování pružiny.



Obrázek 10: Vlnostroj z pružiny

4.2 MACHŮV VLNOSTROJ

4.2.1 ÚVOD

Machův vlnostroj, pojmenovaný po fyzikovi Ernstu Machovi, je soubor kyvadel, který byl poprvé představen v roce 1867. Tento zajímavý fyzikální experiment slouží k vizualizaci principů vlnění a interference. Představme si řadu kyvadel, která se postupně rozkmitávají a vytvářejí efektní vlny.

4.2.2 POPIS

Popis Machova vlnostroje spočívá v řadě kyvadel, která mohou být stejně dlouhá, nebo s rozdílnou délkou. Variabilita délek kyvadel způsobuje, že mají kyvadla i různou dobu kmitu. K opětovnému zřázování kyvadel dochází pro společný násobek period kmitů.

Princip vlnění lze vyzkoušet pomocí interaktivní animace na osobních webových stránkách RNDr. Vladimíra Vaščáka: https://www.vascak.cz/?id=1&language=cz#kv_vlnostroj (38)

Princip vlnění lze též shlédnout na:

https://www.youtube.com/playlist?list=PLzz8zYQQZgMKnulN144supyQZoPrcP_MK (30)

4.2.3 DEMONSTROVATELNÉ JEVY

Různé délky kyvadel: různé délky kyvadel umožňují znázornit rozdílnou dobu kmitu v závislosti na délce kyvadla, samotné vlnění se tímto způsobem demonstrovat nedá, ale může to být vhodná pomůcka na demonstraci kmitání.

Stejná délka kyvadel umožňuje znázornit:

Postupné vlnění příčné: Pro znázornění tohoto vlnění je nutné, aby rovina závěsu kyvadel odpovídala rovině šíření vlny (kmitání probíhá kolmo na rovinu závěsu). Tím kyvadla kmitají kolmo na směr šíření vlny.

Postupné vlnění podélné: Zde je rovina závěsu kyvadla kolmá k rovině šíření vlny (tím, že kmitání probíhá kolmo na rovinu závěsu, tak kyvadla kmitají ve směru šíření vlny).

Stojaté vlnění příčné: Toto vlnění lze zobrazit tak, že v počátečním stavu (rovina závěsu kyvadel odpovídá rovině šíření vlny) vložíme kyvadla do otvorů, přičemž tyto otvory jsou v různé vzdálenosti od centrální roviny (na kmitnách jsou nejdále a naopak v uzlech leží kyvadlo svisle pod závěsem). Po spuštění vlnostroje pak kyvadla kmitají s rozdílnou amplitudou podle původní výchylky kyvadla.

Stojaté vlnění podélné: U demonstrace tohoto typu vlnění začneme stejně jako v předchozím případě, ale upravíme závěsy tak, aby byla jejich rovina kolmo na rovinu vlny.

4.2.4 REALIZACE

Machův vlnostroj lze realizovat následujícím způsobem:

Pro demonstraci závislosti frekvence kmitání na délce kyvadla je možné použít různě dlouhé závěsy, avšak pro demonstraci vlnění je vhodnější, aby byly stejně dlouhé.



Obrázek 11: Machův vlnostroj (31)

4.3 CHLADNIHO OBRAZCE:

4.3.1 ÚVOD

Chladniho obrazce, pojmenované po fyzikovi Ernstu Chladnim, představují vizuální projev mechanického vlnění a rezonance. Nabízejí nejen estetický pohled, ale také hlubší porozumění fyzikálním principům, které ovlivňují chování vln v různých materiálech. (4, 8, 9)

4.3.2 POPIS

Vytváření Chladniho obrazců spočívá ve využití stojatých vln, které se vytvářejí na povrchu pevného materiálu, když je podroben zvukovému vlnění. Tyto stojaté vlny vytvářejí charakteristické geometrické vzory, které jsou viditelné díky jemnému prášku rozptýlenému na povrchu materiálu. (4, 8, 9)

Princip vlnění lze vyzkoušet pomocí interaktivní animace na osobních webových stránkách RNDr Vladimíra Vaščka: https://www.vascak.cz/?id=1&language=cz#kv_vlnostroj (38)

4.3.3 DEMONSTROVATELNÉ JEVY

Tvorba stojatých vln:

Stojaté vlny jsou vlny, které zdánlivě zůstávají na místě, protože se mění jen jejich amplituda. Chladniho obrazce vznikají díky stojatým vlnám na povrchu materiálu, kdy se deska mezi jednotlivými uzly a antinodami pohybuje nahoru a dolů, což vede k vytváření viditelných geometrických vzorů.

Prezentace rezonančních frekvencí:

Chladniho obrazce lze použít k ilustraci rezonančních frekvencí daného materiálu. Každý vzor odpovídá určité rezonanční frekvenci, kterou můžeme modifikovat laděním frekvence zvukového zdroje.

Vizualizace uzlů a antinod:

Na místě uzlů se prášek hromadí, zatímco na místě kmíten je prášek naopak vymeten.

Akustické vlnění:

Jsou-li stojaté vlny generovány zvukovým zdrojem, lze Chladniho obrazce využít k demonstraci akustických principů a rezonančních jevů. Například při ladění hudebního nástroje nebo návrhu akustických prostor. (4, 8, 9)

4.3.4 REALIZACE

Příprava materiálu:

Vyberte tenký, pevný materiál, jako je kov nebo sklo, který je vhodný pro vytváření Chladniho obrazců. Nasypte jemný prášek, jako je například jemný písek nebo křemen, na povrch materiálu.

Ladění frekvence:

Použijte zvukový generátor nebo reproduktor k vyvolání zvukových vln na určité frekvenci.

Postupně měňte frekvenci zvuku a pozorujte, jak se mění Chladniho obrazce na povrchu materiálu.

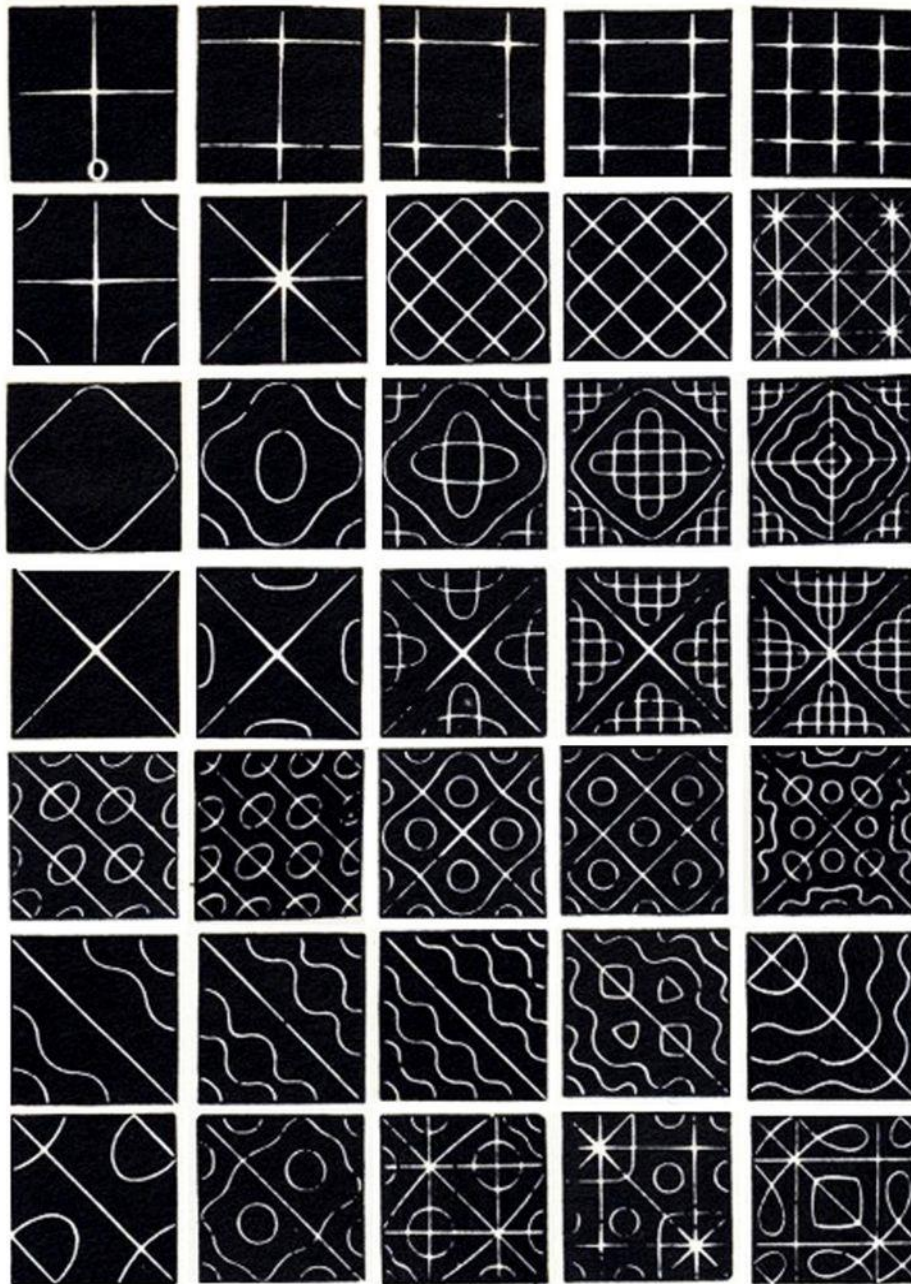
Pozorování a interpretace:

Pozorujte vznikající obrazce a snažte se porozumět vztahu mezi frekvencí zvuku a tvarem obrazců.

Identifikujte uzly a antinody vln, které jsou zodpovědné za vytváření geometrických vzorů.

Volba vlnostroje:

Pro demonstraci Chladniho obrazců je nejlepší použít zvukový generátor nebo reproduktor s možností přesného ladění frekvence. Tímto způsobem lze efektivně generovat zvukové vlny s různými frekvencemi a pozorovat vznikající Chladniho obrazce.



Obrázek 12: Chladniho obrazce (32)

4.4 RUBENSOVA TRUBICE

4.4.1 Úvod

Rubensova trubice byla vyvinuta jako prostředek pro demonstraci akustického tlaku ve stojatém vlnění. Koncept této trubice poprvé představil německý fyzik Heinrich Rubens ve svých raných pracích zabývajících se infračerveným zářením a odrazivostí materiálů. Trubice slouží k vizualizaci akustických jevů a stojatého vlnění pomocí plamenů. (33, 34, 35)

4.4.2 POPIS

Rubensova trubice je konstrukce zahrnující lineární plynový hořák a tenkostěnnou kovovou trubici s otvory vyvrtanými po celé délce. Na jednom konci trubice je umístěn zdroj zvuku, například reproduktor s generátorem zvuku, zatímco na druhém konci je uzavírací mechanismus. Plyn, jako je směs propanu a butanu, je přiveden do trubice pod nízkým tlakem, což vytváří svítící plamen. (33, 34, 35)

Demonstraci pokusu lze shlédnout na:

<https://www.youtube.com/watch?v=gpCquUWqaYw> (43)

4.4.3 DEMONSTROVATELNÉ JEVY

Stojaté vlnění: Při pouštění vhodných zvukových frekvencí vytvoří plameny o rozdílné výšce stojatou vlnu, kde lze identifikovat body s minimálním (uzly) a maximálním (kmitny) akustickým tlakem.

Závislost tvaru vlny na frekvenci: Při změně frekvence zvuku se mění polohy uzlů a kmiten ve stojatých vlnách v trubici, což změní tvar vlny.

Reverze maxim a minim: Úpravou parametrů, jako je frekvence zvuku nebo tlak plynu, lze dosáhnout reverze poloh maxim a minim v trubici.

4.4.4 REALIZACE

Příprava trubice: Umístění Rubensovy trubice na stabilní podklad.

Nastavení zdroje zvuku: Připojení laditelného zdroje zvuku na jeden konec trubice.

Uzavření druhého konce: Uzavření druhého konce trubice.

Pozorování a měření: Sledování výšky plamene při změnách frekvence zvuku a měření této výšky.

Identifikace jevů: Identifikace uzlů a kmiten na základě měření.



Obrázek 13: Rubensova trubice (35)

4.5 KUNDTOVA TRUBICE JAKO VLNOSTROJ:

4.5.1 ÚVOD

Kundtova trubice byla vyvinuta v 19. století Augustem Kundtem, německým fyzikem, který se zabýval studiem akustických vln. Trubice byla původně navržena k experimentálnímu studiu zvukových vln a měření rychlosti zvuku v různých médiích. Je obvykle vyrobena ze skla nebo plastu a má uzavřený kónický tvar. Uvnitř trubice je jemný prášek, jako je písek nebo prach, který slouží k vizualizaci vzorů vznikajících zvukovými vlnami. Trubice má také uzavíratelný píst na jednom konci, což umožňuje měnit její délku. (36, 37)

4.5.2 POPIS

Kundtova trubice je využívána k vizualizaci a studiu vlnění prostřednictvím zvuku. Zvukový generátor je připojen k jednomu konci trubice, což způsobuje vytváření zvukových vln uvnitř. Tyto vlny interagují s jemným práškem uvnitř trubice, což vede k vytváření charakteristických vzorů v prášku. (36, 37)

Demonstraci vlnění lze shlédnout na: https://www.youtube.com/watch?v=qUiB_zd9M0k
(39)

4.5.3 DEMONSTROVATELNÉ JEVI

Stojaté podélné vlnění: Tím, jak se zvuková vlna odrazí od konce trubice, dochází k interakci mezi přímou a odraženou vlnou, čímž vzniká stojaté vlnění, které je vizualizováno pomocí vzorů v prášku. Lze zde dobře identifikovat místa s minimální amplitudou (uzly vlnění) a místa s maximální amplitudou (kmitny).

Závislost tvaru vlny na délce trubice a frekvenci zvuku: Lze experimentovat s délkou trubice změnou pozice uzavíracího pístu a také měnit frekvenci pouštěného zvuku. Poté lze pozorovat, jak se mění vzory v prášku a rezonanční frekvence.

4.5.4 REALIZACE

Příprava trubice: Ujistěte se, že trubice je čistá a suchá. Naplňte ji jemným práškem, jako je písek nebo prach.

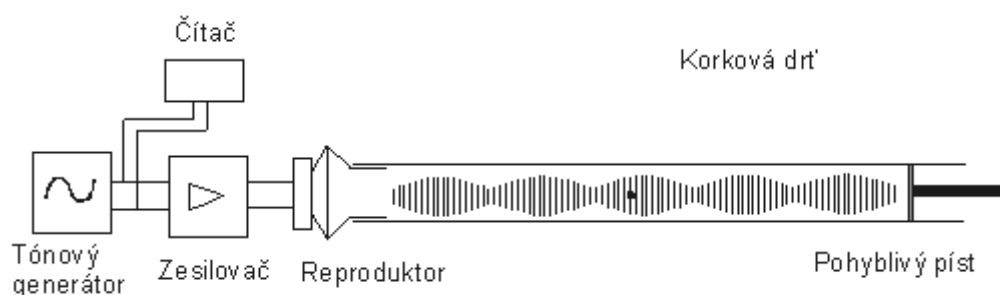
Připojení zdroje zvuku: Připojte zvukový generátor k jednomu konci trubice.

Vytvoření zvukových vln: Spusťte zvukový generátor a vyberte frekvenci zvuku.

Pozorování jevů: Pozorujte vzory v prášku v závislosti na frekvenci zvuku a délce trubice.

Experimentace s délkou trubice: Posouvejte uzavírací píst a sledujte změny v rezonanční frekvenci a vzorech v prášku.

Záznam a analýza: Zaznamenejte pozorované jevy a diskutujte o jejich vztahu k frekvenci zvuku a délce trubice.



Obrázek 14: Kundtova trubice (36)

4.6 VLNOSTROJ ZE ŠŇŮRY A GENERÁTORU MECHANICKÝCH KMITŮ

4.6.1 ÚVOD

Vlnostroj využívající šňůry a generátoru mechanických kmitů představuje jedno z dalších zařízení pro vizualizaci vlastností vln. Tento systém umožňuje demonstraci různých vlnových jevů a jejich charakteristik pomocí jednoduchého, avšak efektivního mechanismu. Šňůra, poháněná krokovým motorem, se stává prostředkem pro pozorování a experimentování s vlnami, což poskytuje jedinečný prostředek pro zkoumání fyzikálních principů v praxi.

4.6.2 POPIS

Vlnostroj se skládá ze šňůry, která je upevněna na jednom konci a na druhém konci připojena ke generátoru mechanických kmitů. Ten zajišťuje pohyb šňůry nahoru a dolů, čímž vytváří vlny. Alternativně lze místo motoru použít pohyb ruky konající nahoru a dolů, což dodává větší variabilitu pokusu, avšak je třeba poznamenat, že lidská ruka nedosáhne takové frekvence jako elektrický pohon. Místo šňůry/lana lze eventuálně použít zahradní hadici, i když s dalším omezením ve frekvenci pohybu.

Princip vlnění lze též shlédnout na:

https://www.youtube.com/playlist?list=PLzz8zYQQZgMKnuIN144supyQZoPrcP_MK (30)

4.6.3 DEMONSTROVATELNÉ JEVY

Příčné vlnění: Pomocí ručních pohybů rukou můžeme demonstrovat příčné vlnění na zahradní hadici či laně s pevným koncem. Držením jednoho konce hadice nebo lana a pohybem ruky nahoru a dolů můžeme vyvolat vlny, které se budou šířit po celé délce. Důležité je udržovat pohyby pravidelné a rytmické. Můžeme pozorovat vlastnosti vln a zkoumat jejich chování v závislosti na různých parametrech, jako je napětí hadice nebo rychlost pohybu ruky. Tato jednoduchá demonstrace umožňuje vizuální a interaktivní studium příčného vlnění.

Stojaté vlny: Při určitých nastaveních vlnostroje můžeme vytvořit stojaté vlny, kde uzly a vrcholy zůstávají na místě, což je důsledek interference vln, Pro tento experiment je vhodné využít krokového motoru a šňůru s pevným koncem šňůry.

4.6.4 REALIZACE

Pro dosažení pohybu šňůry nahoru a dolů lze využít generátor kmitů, který je připojen k jednomu konci šňůry. Generátor kmitů je řízen elektronicky tak, aby konal periodický pohyb, čímž vytváří vlny na šňůře. Důkladné nastavení frekvence a amplitudy vibrace krokového motoru umožňuje manipulaci s vlastnostmi vln, které vlnostroj vytváří.



Obrázek 15: Příčné stojaté vlnění na šnůře a krokovém motoru, zdroj: autor

4.7 WHEATSTONŮV VLNOSTROJ

4.7.1 ÚVOD

Wheatstonův vlnový stroj představuje užitečný historický nástroj pro demonstraci vlastností vln a mechaniky vln. Jeho účelem je ilustrovat chování příčných vln, jako jsou ty, které se vyskytují v rovině a kruhově polarizovaném světle. (40)

4.7.2 POPIS

Tento vlnový stroj byl vyvinutý sirem Charlesem Wheatstonem, který byl profesorem experimentální filozofie na Univerzitě v Londýně. Stroj obsahuje pole kovových tyčí, na jejichž koncích jsou bílé kuličky. Tyčemi lze pohybovat nahoru a dolů nebo ze strany na stranu dřevěnými posuvníky s vlnovým profilem na jedné straně. (40)

Demonstraci vlnostroje lze shlédnout na:

<https://www.youtube.com/watch?v=bw4R5qXalww> (40)

4.7.3 DEMONSTROVATELNÉ JEVY

Příčné vlnění: Na tomto vlnostroji lze velmi efektně demonstrovat postupné příčné vlnění, které je zde znázorněno pohybem bílých kuliček.

Interference vlnění: Při vhodném nastavení stroje lze demonstrovat zesilování a zeslabování amplitudy vlnění vlivem interference s druhou vlnou. (40)

4.7.4 REALIZACE

Pro realizaci experimentů s Wheatstonovým vlnovým strojem je důležité správně nastavit posuvníky a manipulovat s jejich pohybem. Experimentátor sleduje vznikající vlny a jejich chování na kuličkách na koncích tyčí.



Obrázek 16: Wheatstonův vlnostroj (41)

4.8 MODEL PROJEKČNÍHO VLNĚNÍ

4.8.1 ÚVOD

Tento vlnostroj umožňuje vizualizaci principů vlnění a interferencí. Tento přístroj se skládá z jednoduchých prvků, které společně tvoří složitý model vlnových jevů. Díky tomuto modelu lze demonstrovat a lépe pochopit různé aspekty vlnění. Tento konkrétní přístroj, vyrobila společnost William Gaertner Company z Chicaga, vyniká svou neobvyklou konstrukcí a schopností detailně simulovat chování vln v prostoru. (42)

4.8.2 POPIS

Projekční model vlny se skládá ze tří drátů, každý ohnutý do tvaru příčné vlny. Tyto dráty jsou umístěny v mosazné krabici, která je umístěna před objektivem projektoru. Horní dva dráty jsou identické, ale jejich polohy jsou nastaveny tak, aby se stíny, které vytvářejí, zdánlivě pohybují v opačných směrech, když se otáčí klikou na straně krabice. Při otáčení kliky se hřbety a údolí vln střídají, což způsobuje střídavé zarovnání a překrytí vln. Tento jev interference je pak patrný na třetím drátu, jehož tvar se mění podle toho, jak se vlny překrývají. (42)

Demonstraci vlnostroje lze shlédnout na:

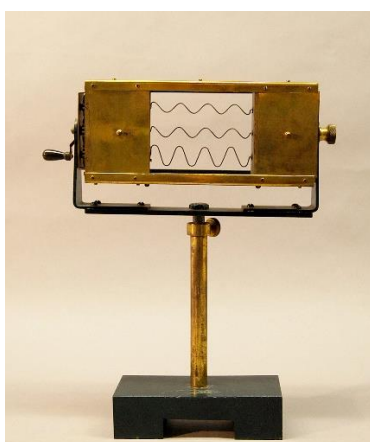
<https://www.youtube.com/watch?v=lqU9MWBLqVw> (45)

4.8.3 DEMONSTROVATELNÉ JEVY

Interference vln: Při otáčení kliky dochází k interferenci mezi dvěma identickými vlnami, což způsobuje střídané zarovnání a překrytí vln. Tento jev je pozorovatelný ve změně tvaru třetího drátu.

4.8.4 REALIZACE

Model se ovládá otáčením kliky na straně krabice, čímž se pohybují horní dva dráty a vytvářejí se vlny. Tyto vlny pak způsobují jevy interference a pohybující se stíny, což umožňuje demonstraci základních principů vlnění.



Obrázek 17: Model projekčního vlnění (44)

4.9 KLIKOVÝ VLNOSTROJ PRO PŘÍČNÉ VLNĚNÍ

4.9.1 ÚVOD

Tento technický artefakt, vyráběný v Německu kolem přelomu 19. a 20. století, představuje nástroj pro vizualizaci vlnění a jeho využití ve vzdělávání. Jeho kompaktní rozměry a možnost projekce stínů z něj činí praktickou pomůcku pro výuku fyziky. (46)

4.9.2 POPIS

Jedná se o malý přístroj, který lze snadno uchopit jednou rukou. Byl navržen tak, aby se umístil před objektiv projektoru. Jeho hlavní funkcí je projekce stínů, což je metoda výuky, běžnější v německých školách než v amerických. (46)

Demonstraci vlnostroje lze shlédnout na:

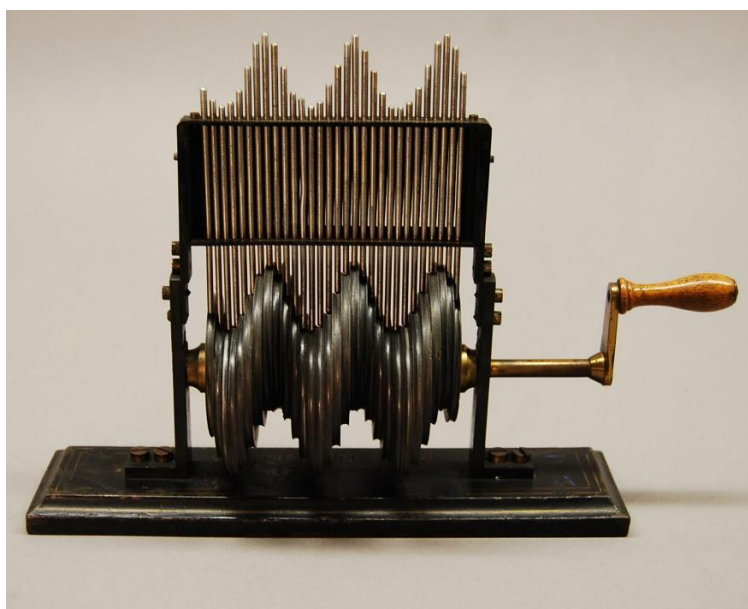
<https://www.youtube.com/watch?v=tihcRFWeZlQ> (48)

4.9.3 DEMONSTROVATELNÉ JEVY

Příčné postupné vlnění: Tento přístroj se zaměřuje především na vizualizaci sinusového pohybu příčných vln, kdy pohyb tyčinek simuluje postup příčného vlnění. (Existuje však i pokročilejší verze, která umožňuje demonstraci podélných vln prostřednictvím série skloněných tyčí). (46)

4.9.4 REALIZACE

Výroba tohoto přístroje vyžadovala precizní zpracování. Pro dosažení maximální účinnosti je důležité správné umístění přístroje před projekční objektiv a jeho použití v prostředí s vhodným osvětlením.



Obrázek 18: Klikový vlnostroj pro demonstraci příčného vlnění (47)

4.10 VÁLCOVÝ VLNOSTROJ

4.10.1 ÚVOD

Historický vlnostroj, který představujeme, zaujme svou unikátní konstrukcí a schopností demonstrovat dynamické vlastnosti vln. Jeho prostřednictvím lze detailně pochopit různé typy vlnění a jejich chování.

4.10.2 POPIS

Tento vlnostroj se skládá z válců, na jejichž povrchu jsou zobrazeny zdánlivě nesouvisající čáry. Při zasunutí válce do konstrukce je vidět pouze jeho podélná část škvírou o šířce přibližně 1 cm. Otáčením válce pomocí kliky se při pohledu do této škvíry zobrazí vlnění. Celkově disponuje třemi výměnnými válci, z nichž dva reprezentují podélné postupné vlnění o různých vlnových délkách a třetí podélné stojaté vlnění.

Princip vlnění lze též shlédnout na:

https://www.youtube.com/playlist?list=PLzz8zYQQZgMKnuIN144supyQZoPrcP_MK (30)

4.10.3 DEMONSTROVATELNÉ JEVY

Podélné postupné vlnění: Křivky po obvodu válce zobrazí při otáčení válce postupnou podélnou vlnu, jejíž vlnová délka závisí na tvaru křivek.

Podélné stojaté vlnění: U válce, kde je uprostřed rovná čára po obvodu celého válce, se zobrazí stojaté vlnění (tato čára představuje uzel).

4.10.4 REALIZACE

Konstrukce vlnostroje je provedena s důrazem na jednoduchost a umožňuje snadnou výměnu válců.



Obrázek 19: Válcový vlnostroj, horní válec znázorňuje podélnou stojatou vlnu a zbylé dva válce znázorňují postupné podélné vlnění, zdroj: autor

5 PODOMÁCKU VYROBENÉ VLNOSTROJE:

5.1 TORZNÍ (JULIŮV) VLNOSTROJ ZE ŠPEJLÍ

Tento experiment o vlnostroji představuje skvělý způsob, jak názorně ukázat principy příčného vlnění pomocí dostupných materiálů. Jeho jednoduchost a nízká nákladovost umožňuje jednoduché sestavení a interaktivní přiblížení abstraktních fyzikálních konceptů.

Inspiraci pro provedení můžeme čerpat z videa "Sweet Science Experiment: Make a Candy Wave Machine" na Youtube kanálu KiwiCo (62). V prvním kroku umístíme pruh lepicí pásky na stůl s lepidlem nahoru a pevně ji připevníme k pracovní desce na obou koncích. Následně si poznačíme střed špejle a další čárkou označíme špejli na kraji lepicí pásky. Tyto body nám umožní přesně umístit špejli na pásku. Po položení špejlí na lepidlo část pásky ve vhodné vzdálenosti získáme základ pro vytvoření našeho vlnostroje. Dále, abychom zvýšili pevnost, přilepíme pásku i z horní strany, spojujíc tak obě lepicí strany. Nakonec na konce špejlí přidáme závaží, kterým může být třeba marshmallow, matice. (6)

Juliův torzní vlnostroj umožňuje studium postupujících vln, odrazů na pevných koncích, skládání vlnění, vznik stojatého vlnění a zobrazení vlnění z různých perspektiv. Vhodným klepnutím do jednoho konce vlnostroje lze docílit vzniku vlny, přičemž pokud se klepne několikrát ve vhodné frekvenci, lze pozorovat vzájemnou interakci vln. Jedná se v tomto případě o torzní vlnění, které lze při vhodném úhlu pohledu demonstrovat jako vlnění příčné.

Zároveň bych rád zdůraznil, že tento experiment nabízí skvělou příležitost pro aktivní zapojení žáků do výuky. Sestavení vlnostroje může být i kolektivní aktivitou při pracovní výchově, kde celá třída spolupracuje, což dodává dimenzi kolektivního učení a posiluje spolupráci mezi spolužáky. Při pozorování vzniku stojatého vlnění na vlnostroji můžeme nejen sledovat kmitání a uzly, ale také rozvinout diskuzi o tom, jaké fyzikální jevy se v daném experimentu odehrávají. Tento vlnostroj může být poutavým nástrojem pro hlubší porozumění fyzikálním principům vlnění.

Princip vlnění lze též shlédnout na:

https://www.youtube.com/playlist?list=PLzz8zYQQZgMKnuIN144supyQZoPrcP_MK (30)



Obrázek 20: Torzní Juliův vlnostroj, zdroj: autor

5.2 TORZNÍ (JULIŮV) VLNOSTROJ ZE DŘEVA

Dalším zajímavým typem vlnostroje je žebříkový model, který se výrazně neliší od předchozí varianty. Tento experimentální vlnostroj používá místo tradičních špejlí kulatiny, na jejichž koncích jsou našroubované matice. Kulatiny jsou následně propojeny ve středu pomocí provázku, což vytváří charakteristický žebříkový efekt. Rozteč mezi jednotlivými kulatinami činí přibližně 3 centimetry a vzdálenost mezi nimi, měřená od jednoho konce kulatiny k druhému, odpovídá přibližně délce jednoho palce.

Tento vlnostroj je vhodný na demonstraci odrazu na pevném a volném konci (při poslání vlny zdola se nahoře odrazí na pevném konci a následně se dole odrazí na volném konci). Zejména lze demonstrovat, že na volném konci se vlna vrací se stejnou fází, zatímco na pevném konci s opačnou. Opět se zde jedná o torzní vlnění, které lze projekcí pohybu do kolmé roviny demonstrovat jako vlnění příčné.

Co tento model činí ještě zajímavějším, je možnost posouvání matic na koncích kulatin. Tímto způsobem můžeme ovlivnit moment hybnosti systému, což otevírá možnost

pro zkoumání vlivu parametru na vlnové jevy. Experiment s žebříkovým vlnostrojem se tak stává nejen prostředkem pro vizualizaci fyzikálních jevů vlnění, ale také nabízí prostor pro zkoumání momentu hybnosti v závislosti na variabilním uspořádání matic. Tato možnost přidává nový rozměr do výuky fyziky, podporuje diskuzi o fyzikálních principech a motivuje k experimentaci s různými konfiguracemi vlnostroje.

Princip vlnění lze též shlédnout na:

https://www.youtube.com/playlist?list=PLzz8zYQQZgMKnuIN144supyQZoPrcP_MK (30)



Obrázek 21: Torzní vlnostroj

5.3 MACHŮV VLNOSTROJ

Výroba Machova vlnostroje začíná s výběrem vhodných konstrukcí, zajišťujících potřebnou pevnost a stabilitu. První varianta konstrukce je z lékařských špachtlí, které jsou pečlivě vrstveny, přičemž každá vrstva je precizně překládána a spojována pomocí tavící pistole, čímž se vytvářejí odolné spoje mezi jednotlivými částmi vlnostroje.

Po dokončení základní konstrukce se přistupuje k přípravě závěsů pro závaží. V tomto procesu jsou matice M16 využity jako závaží, připevněné k vlnostroji. Každý závěs

je pečlivě zkrácen a upevněn na jednom samostatném bodě s přesně stanovenými rozestupy, což zajišťuje rovnoměrné rozložení zátěže.

Druhá varianta vlnostroje je vytvořena z tenkých dřevěných latí, přinášející vylepšení ve formě závěsů upevněných na dvou bodech pro lepší stabilizaci závaží. V této variantě jsou všechny závěsy stejně dlouhé, což usnadňuje montáž a přispívá k jednotnému vzhledu vlnostroje.

Po upevnění závěsů jsou provedeny finální úpravy a pečlivá kontrola designu a funkčnosti vlnostroje, zajišťující jeho kvalitu a spolehlivost.

Určení délky závěsu přímo ovlivňuje frekvenci Machova vlnostroje. Pro demonstraci vlnění je nutné, aby všechny závěsy byly stejně dlouhé (různě dlouhé závěsy jsou poté vhodné na demonstraci kmitání, resp. závislosti frekvence na délce závěsu – čím delší závěs, tím nižší frekvence vlnění).

Jak už bylo zmíněno v kapitole 7.2.3, na tomto vlnostroji lze teoreticky demonstrovat jak příčné, tak i podélné vlnění (a to v postupné i stojaté podobě), nicméně v případě této jednoduché verze lze efektivně demonstrovat pouze příčné postupné vlnění, a to tím, že vychýlíme kyvadla např. prknem a poté prkno odsuneme tak, aby se kyvadla postupně uvolňovala (pro demonstraci dalších typů by bylo nutné upravit závěsy a dodat další komponenty)

Princip vlnění lze též shlédnout na:

https://www.youtube.com/playlist?list=PLzz8zYQQZgMKnuIN144supyQZoPrcP_MK (30).



Obrázek 22: Machův vlnostroj – stejná délka závěsů, zdroj: autor



Obrázek 23: Machův vlnostroj – rozdílná délka závěsů, zdroj: autor

5.4 DEMONSTRÁTOR PŘÍČNÉHO VLNĚNÍ

Pro tento demonstrátor byla použita tyčka o průměru 8 mm a délce 630 mm, která tvořila základní nosnou konstrukci celého vlnostroje. Pro nakreslení technického výkresu kolečka jsem využil program RDWorksV8. Kolečko mělo průměr 55 mm a vnitřní díru o velikosti 8 mm, umístěnou 1 cm od kraje.

Exportoval jsem tento výkres do vypalovačky, kde jsem měl již připravenou 3 mm silnou překližku, laser na ní vypálil jednotlivá kolečka. Poté jsem nasazoval kolečka na tyčku v pevných rozstupech 20 mm. Důkladně jsem dbal na to, aby každé kolečko bylo otočeno o 45 stupňů ve srovnání s předchozím. Pro zajištění jejich pevné polohy bylo využito tavné pistole.

Po rozmístění 30 koleček na celé délce tyčky jsme dosáhli vytvoření lineární sinusovky. Pro praktickou demonstraci jsem jeden konec tyčky upevnil do aku šroubováku a začal pomalu otáčet. Tento jednoduchý pohyb umožnil pozorovat příčné vlnění, které se šířilo po celé konstrukci.

Během tvorby vlnostroje se studenti nejenom seznámí s procesem digitálního návrhu a výroby, ale také získají nové kompetence v práci s technologiemi. Tyto nové digitální kompetence využijí v rámci hodin technické výchovy, kde by mohli samostatně zkonstruovat podobné výrobky. Taková aktivita by nejenom posílila jejich technické dovednosti, ale také podpořila kreativní myšlení a praktické zkušenosti s výrobou reálných objektů. Inspirací pro výrobu tohoto vlnostroje mi posloužila obyčejná kliková hřídel z tříválcového spalovacího motoru automobilu.

Princip vlnění lze též shlédnout na:

https://www.youtube.com/playlist?list=PLzz8zYQQZgMKnuIN144supyQZoPrcP_MK (30)



Obrázek 24: Vypalování koleček na laserové vypalovačce, zdroj: autor



Obrázek 25: Detailní pohled na vypalování, zdroj: autor



Obrázek 26: Demonstrace příčného vlnění, zdroj: autor

5.5 RUBENSOVA TRUBICE

Pro vytvoření Rubensovy trubice byl využit reproduktor se zesilovačem, pozinkovaný okap o průměru 76 mm a propanbutanovou bombu s hořákem.

Nejdříve vyvrtáme přibližně 90 děr v rozestupech 1 cm pomocí vrtáku o průměru 2 mm. Bohužel, vrták o průměru 1,5 mm se příliš lámal, proto jsme ho nevyužili.

Poté umístíme trubici na prkno, abychom ji vyvýšili a umístili blánu reproduktoru co nejbližší k trubici. Následně oblepíme spojení trubky s tělem reproduktoru papírovou izolepou (trubku a tělo reproduktoru, nikoliv samotnou blánu).

Do druhého konce trubky vložíme plynovou hadici a zbylý prostor mezi vstupem hadice a průměrem trubky utěsníme tak, aby plyn mohl unikat pouze skrz navrtané dírky.

Pustíme plyn a opatrně zapálíme unikající plyn z improvizovaných trysek. Prostřednictvím reproduktoru a mobilního telefonu poté můžeme měnit hudební modulaci, abychom dosáhli co nejlepšího výsledku.

Tento pokus zásadně nedoporučuji provádět ve školním prostředí z důvodu rizika popálení a manipulace s plynem. Vhodnější volbou je použití zemního plynu místo propan-butanu, neboť zemní plyn je lehčí než vzduch, a tak dochází k jeho samovolnému odvětrání. Bohužel tento experiment se nezdařil z důvodu nedostatečného utěsnění konců trubky a následnému vzplanutí přívodní hadice plynu.

ZÁVĚR

V kontextu tématu vlnění a jeho demonstrování ve školní fyzice je nezbytné zdůraznit důležitost praktických experimentů a využití vlnostrojů pro lepší porozumění principům mechanického vlnění.

Práce přinesla detailní pohled na teoretické základy vlnění, jeho druhy a vlastnosti, a to včetně konkrétních aplikací v praxi. Analýza učebnice pro základní ukázala, jak je vlnění prezentováno v rámci vzdělávacího programu, a poskytla nám podněty k další reflexi a zlepšení výuky.

Demonstrace vlnění na různých vlnostrojích a provedení série experimentů nejenom zvýraznily konkrétní aplikace teoretických konceptů, ale také poskytly inspiraci pro vytvoření vlastního vlnostroje. Tento proces konstrukce a testování vlastního vlnostroje nejenom ukázal praktické schopnosti autora práce, ale také otevřel nové možnosti pro využití ve výuce.

Celkově lze konstatovat, že bakalářská práce dosáhla svého cíle, kterým bylo prozkoumat možnosti a využití vlnostrojů pro demonstraci mechanického vlnění ve školní fyzice. Přispěla k lepšímu pochopení principů vlnění a nabídla návrhy pro praktickou demonstraci vlnění ve školské fyzice ve výuce. Doufám, že práce bude sloužit jako inspirace pro další výzkum v oblasti výuky fyziky a podnítí zájem o experimentální přístup k vzdělávání.

RESUMÉ

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou mechanického vlnění ve školské fyzice. Úvodní část práce poskytuje teoretický úvod do vlnění, který zahrnuje přehled stojatého, příčného a podélného vlnění a jejich význam v praxi. Dále se práce zaměřuje na základní principy a vlastnosti vlnění, včetně rovnic popisujících vlnění, vlnové délky, rychlosti šíření, interference, intenzity, odrazu, lomu a Dopplerova jevu.

Další část práce analyzuje výuku vlnění v učebnicích pro základní vzdělávání. Jsou zde poskytnuty přehledy a rozvíjeny různé aspekty výuky vlnění v rámci rámcových vzdělávacích programů pro různé stupně školního vzdělávání.

Důležitou částí práce jsou experimenty s vlnostrojí, které slouží k demonstraci různých typů mechanického vlnění. Jsou zde popsány různé typy vlnostrojů a jejich praktické využití při výuce. Práce obsahuje také návrh a výrobu vlastního vlnostroje, jehož účinnost a využití ve školní výuce jsou zde zhodnoceny.

Tato práce přináší ucelený přehled problematiky mechanického vlnění ve školní fyzice a nabízí konkrétní návody a doporučení pro výuku a demonstraci vlnění na základě teoretických poznatků a praktických experimentů.

SUMMARY

This bachelor thesis deals with the issue of mechanical waves in school physics. The introductory part of the thesis provides a theoretical introduction to waves, which includes an overview of standing, transverse, and longitudinal waves and their practical significance. Furthermore, the thesis focuses on the basic principles and properties of waves, including equations describing waves, wavelength, propagation velocity, interference, intensity, reflection, refraction, and the Doppler effect.

Another part of the thesis analyzes the teaching of waves in textbooks for primary education. Overviews are provided and various aspects of wave teaching within the framework of educational programs for different levels of schooling are developed.

An important part of the thesis consists of experiments with wave apparatuses, which are used to demonstrate various types of mechanical waves. Various types of wave apparatuses and their practical use in teaching are described here. The thesis also includes the design and production of a custom wave apparatus, the effectiveness and use of which in school teaching are evaluated.

This thesis provides a comprehensive overview of the issue of mechanical waves in school physics and offers specific instructions and recommendations for teaching and demonstrating waves based on theoretical knowledge and practical experiments.

SEZNAM LITERATURY

- 1) HALLIDAY, David; RESNICK, Robert a WALKER, Jearl. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 978-80-214-1868-4.
- 2) KOPAL, Antonín. *Fyzika I: mechanika, kmitání, vlnění, termodynamika*. Vyd. 2., opr. a dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-477-1.
- 3) VYBÍRAL, Bohumil. *Kmitání a vlnění*. Hradec Králové: Gaudeamus, 2014. ISBN 978-80-7435-379-6.
- 4) LEPIĽ, Oldřich. *Mechanické kmitání a vlnění: studijní modul*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. ISBN 978-80-244-3295-3.
- 5) KUBERA, Miroslav, Tomáš NEČAS a Vojtěch BENEŠ. *Elektronická učebnice fyziky pro gymnázia* [online]. In: GYMNÁZIUM MATYÁŠE LERCHA, BRNO GYMNÁZIUM BRNO, TŘÍDA KAPITÁNA JAROŠE MASARYKOVA UNIVERZITA BRNO. 2022 [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://e-manuel.cz/kapitoly/mechanicke-vlneni/vyklad/vlneni/>
- 6) KUČEROVÁ HAVLOVÁ, Markéta. Podpora výuky kmitání a vlnění na střední škole pomocí experimentů Online. Diplomová práce. Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta. 2020. Dostupné z: <https://theses.cz/id/r67hxp/>. [cit. 2024-03-30].
- 7) *Šíření akustického vlnění* [online]. In: . [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/%C5%A0%C3%AD%C5%99en%C3%AD_akustick%C3%A9ho_vln%C4%9Bn%C3%AD
- 8) VLACHOVÁ, Magda. *MECHANICKÉ KMITÁNÍ A VLNĚNÍ: učební text pro studenty distančního a denního studia* [online]. 2006, 40 s. [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Koktavý-Bohumil/publication/47088120_Mechanicke_kmitani_a_vlneni_ucebni_text_pro_studenty_distančního_a_denního_studia/links/551418010cf283ee0834a4d6/Mechanicke-kmitani-a-vlneni-ucebni-text-pro-studenty-distančního-a-denního-studia.pdf

- 9) HANÁK, Vojtěch. Kmity a vlny - multimediální učební text. Online, Diplomová. Brno: MASARYKOVA UNIVERZITA, 2011. Dostupné z: <https://vojtahanak.cz/sites/default/files/dip3.pdf>. [cit. 2024-03-31].
- 10) *Shrnutí o stojatém vlnění* [online]. [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://cs.khanacademy.org/science/fyzika-vlneni-a-zvuk/x34b3f391df7f0014:mechanicke-vlneni/x34b3f391df7f0014:interference-vlneni/a/standing-waves-review-ap>
- 11) KHAN ACADEMY. *Shrnutí o vlastnostech vlnění* [online]. [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://cs.khanacademy.org/science/fyzika-vlneni-a-zvuk/x34b3f391df7f0014:mechanicke-vlneni/x34b3f391df7f0014:zakladni-pojmy-vlneni/a/wave-characteristics-review-ap-physics-1>
- 12) LIBRETEXTSPHYSICS. *Wave Speed on a Stretched String* [online]. [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/University_Physics_\(OpenStax\)/Book%3A_University_Physics_I_-_Mechanics_Sound_Oscillations_and_Waves_\(OpenStax\)/16%3A_Waves/16.04%3A_A_Wave_Speed_on_a_Stretched_String](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/University_Physics_(OpenStax)/Book%3A_University_Physics_I_-_Mechanics_Sound_Oscillations_and_Waves_(OpenStax)/16%3A_Waves/16.04%3A_A_Wave_Speed_on_a_Stretched_String)
- 13) KRÁLOVÁ, Magda. *ZÁKON POISSONŮV* [online]. TECHMANIA SCIENCE CENTER EDUPORTÁL. Plzeň [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/plyny/stavove-zmeny/zakon-poissonuv>
- 14) KRÁLOVÁ, Magda. *ŠÍŘENÍ ZVUKU* [online]. TECHMANIA SCIENCE CENTER EDUPORTÁL. Plzeň [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/akustika/sireni-zvuku>
- 15) SOUBUSTA, Jan. *Fyzika pevných látek SLO/PL*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. ISBN 978-80-244-3095-9.
- 16) SKŘIVÁNEK, Jan. *MOŽNOSTI SIMULACE ŠÍŘENÍ VYSOKOFREKVENČNÍHO VLNĚNÍ TENKOSTĚNNÝM PANELEM* [online]. Brno, 2015 [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=104585.

Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce ING. MICHAL MALIŠ, PH.D.

- 17) KUBERA, Miroslav, Tomáš NEČAS a Vojtěch BENEŠ. *Elektronická učebnice fyziky pro gymnázia* [online]. In: GYMNÁZIUM MATYÁŠE LERCHA, BRNO GYMNÁZIUM BRNO, TŘÍDA KAPITÁNA JAROŠE MASARYKOVA UNIVERZITA BRNO. 2022 [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://e-manuel.cz/kapitoly/mechanicke-vlneni/vyklad/vlneni/>
- 18) *Projected Wave Machine* [online]. 2012, 2012 [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=lqU9MWBqVw>
- 19) HLOUŠKOVÁ, Jitka. *Vlnové jevy: Odraz vlnění*. [online]. In: . [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://e-manuel.cz/kapitoly/mechanicke-vlneni/vyklad/vlnove-jevy/>
- 20) Lom vlnění HLOUŠKOVÁ, Jitka. *Vlnové jevy: lom vlnění*. [online]. In: . [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://e-manuel.cz/kapitoly/mechanicke-vlneni/vyklad/vlnove-jevy/>
- 21) SLÁDEK, Tomáš. *Dopplerův jev: Princip a využití pro detekci bublin* [online]. In: . [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://stranypotapecske.cz/teorie/doppler.asp?str=200409222341500>
- 22) REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie Fyziky* [online]. 2012 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/editions/kindle.pdf>
- 23) RANDA, Miroslav, Jiří KOHOUT, Václav KOHOUT, Pavel KRATOCHVÍL, Pavel MASOPUST, Josef PETŘÍK, Jitka PROKŠOVÁ a Karel RAUNER. *Fyzika 8: hybridní učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia* [online]. 2. vydání. Plzeň: Fraus, 2021 [cit. 2024-03-27]. Škola s nadhledem. ISBN 978-80-7489-700-9.
- 24) HLAVICOVÁ, Šárka. *ZČU:2022/LS-KPG/OBDI: Zkoušková práce z OBDI*. Plzeň, 2023.
- 25) MĚSÍČEK, Michal. *ZČU:2022/LS-KPG/OBDI: Zkoušková práce z OBDI*. Plzeň, 2023.
- 26) HAJEROVÁ MÚLLEROVÁ, Lenka. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. *KPG/OBDI Obecná didaktika* [online]. Plzeň, 2023, 73 s. [cit. 2024-04-03]. Dostupné z: https://phix.zcu.cz/moodle/pluginfile.php/609518/mod_resource/content/1/OBDI%20Obecn%C3%A1%20didaktika.pdf

- 27) Rámcový vzdělávací program [online]. Praha: Výzkumný ústav pedagogický v Praze, 2021 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcove-vzdelavaci-programy-pro-gymnazia-rvp-g/>
- 28) ŠKOLNÍ VZDĚLÁVACÍ PROGRAM čtyřleté, osmileté a šestileté studium s všeobecným zaměřením vyšší stupeň gymnázia denní studium (zpracováno podle RVP G) [online]. Plzeň: Mikulášské gymnázium Plzeň, 2017 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: https://www.mikulasske.cz/wp-content/uploads/2020/10/SVP1718v_vse.pdf
- 29) Školní vzdělávací program, osmileté studium s všeobecným zaměřením nižší stupeň gymnázia denní studium zpracováno podle RVP ZV [online]. Plzeň: Mikulášské gymnázium, 2017 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.mikulasske.cz/wp-content/uploads/2015/11/1617n8vse.pdf>
- 30) MĚSÍČEK, Michal. [online]. 2024, 2024 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: https://www.youtube.com/playlist?list=PLz8zYQQZgMKnuIN144supyQZoPrcP_MK
- 31) LIPTOVSKÝ, Václav. *Machův vlnostroj* [online]. In: GYMNAZIUM TRUTNOV. 2016 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.gymnaziumtu.cz/files/vaclav-lipovsky.pdf>
- 32) HUNTER, Rian. *Chladní Patterns* [online]. In: . 2014 [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://thelig.ht/chladni/>
- 33) KONEČNÝ, Pavel. *Z jídelního lístku Fyzikální kavárny při ÚFE PŘF MU aneb Kundtova a Rubensova trubice* [online]. Brno, **12** [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://vnuf.cz//sbornik/prispevky/12-02-Konecny.html>
- 34) ZAHRADNÍČEK, Josef. *Časopis pro pěstování matematiky a fyziky* [online]. Rubensova trubice, 1919, **48** [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: https://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/121286/CasPestMatFys_048-1919-2_8.pdf
- 35) REICHL, JAROSLAV a JAKUB DVOŘÁK. *Rubensova trubice* [online]. 2018, **23**, 7 [cit. 2024-03-28]. Dostupné z: https://home.pf.jcu.cz/~vnufcb/CD/pdf/VNUF23_28.pdf

- 36) TESAŘ, Jiří. *Klasické a inovované měření rychlosti zvuku* [online]. 2003 [cit. 2024-03-28]. Dostupné z: <https://vnuf.cz/sbornik/prispevky/08-16-Tesar.html>
- 37) Kundt's tube. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Kundt%27s_tube
- 38) VAŠČÁK, Vladimír. [online]. [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: https://www.vascak.cz/?id=1&language=cz#kv_vlnostroj
- 39) *Kundts Tube resonance* [online]. 2011, 2011 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=qUiB_zd9M0k
- 40) Wheatstone Wave Machine [@Research and Cultural Collections]. Online. 2014. Dostupné z: YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=bw4R5qXalww>. [cit. 2024-03-30].
- 41) Physical Optics Wheatstone's wave machine, c 1842 [online]. In: . [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.bridgemanimages.com/en/noartistknown/physical-optics-wheatstone-s-wave-machine-c-1842/object/asset/5083483>
- 42) SMITHSONIAN NATIONAL MUSEUM OF AMERICAN HISTORY. *Wave Machines* [online]. 2012 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://americanhistory.si.edu/science/wave.htm>
- 43) *Portland Rubens' Tube - Music Trials* [online]. 2008, 2008 [cit. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=gpCquUWqaYw>
- 44) Projection Wave Model. In: SMITHSONIAN NATIONAL MUSEUM OF AMERICAN HISTORY. *The Science Teaching Collection* [online]. 2012 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: https://americanhistory.si.edu/science/assets/large/projection_wave.jpg
- 45) *Projected Wave Machine* [online]. 2012, 2012 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=lqU9MWBLqVw>

- 46) SMITHSONIAN NATIONAL MUSEUM OF AMERICAN HISTORY. *Wave Machines* [online]. 2012 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z:
<https://americanhistory.si.edu/science/wave.htm>
- 47) Transverse_Wave Machine. In: SMITHSONIAN NATIONAL MUSEUM OF AMERICAN HISTORY. *The Science Teaching Collection* [online]. 2012 [cit. 2024-03-31].
Dostupné z:
https://americanhistory.si.edu/science/assets/large/transverse_wave.jpg
- 48) Transverse_Wave Machine [online]. 2012, 2012 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z:
<https://www.youtube.com/watch?v=tihcRFWeZIQ>
- 49) SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky*. 6., upravené a doplněné vydání. Praha: Prometheus, 2019. ISBN 978-80-7196-475-9.
- 50) LÁTAL, František. *ŠKOLNÍ POKUSY*. Online. 2012. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. [cit. 2024-03-31]. Dostupné z
http://mofy.upol.cz/vystupy/02_texty/modul_spvf_color.pdf
- 51) MAIN, Iain G. *Kmity a vlny ve fyzice: celostátní vysokoškolská příručka pro stud. matematicko-fyzikálních a přírodovědeckých fakult, skupiny stud. oborů matematicko-fyzikální vědy*. Praha: Academia, 1990. ISBN 80-200-0272-3.
- 52) KRÁLOVÁ, Magda. *Vlnění* [online]. Plzeň [cit. 2024-03-31]. Dostupné z:
<https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/akustika/vlneni>
- 53) KRÁLOVÁ, Magda. *ODRAZ A OHYB VLNĚNÍ* [online]. Plzeň: Eduportál Techmania [cit. 2024-03-31]. Dostupné z:
<https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/akustika/vlneni/odraz-ohyb-vlneni>
- 54) KRÁLOVÁ, Magda. *ŠÍŘENÍ VLNĚNÍ V PROSTORU* [online]. Plzeň: Eduportál Techmania [cit. 2024-03-31]. Dostupné z:
<https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/akustika/vlneni/sireni-vlneni-v-prostoru>
- 55) KRÁLOVÁ, Magda. *DOPPLERŮV JEV* [online]. Plzeň: Eduportál Techmania [cit. 2024-03-31]. Dostupné z:
<https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/akustika/doppleruv-jev>

- 56) KHAN ACADEMY. *Mechanické vlnění* [online]. [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://cs.khanacademy.org/science/fyzika-vlneni-a-zvuk/x34b3f391df7f0014:mechanicke-vlneni>
- 57) *Vlna z lidí: Podélné a příčné vlnění* [online]. 2018 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://fyzikalnipokusy.cz/2062/vlna-z-lidi:-podelne-a-pricne-vlneni>
- 58) Příčné vlnění. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99%C3%AD%C4%8Dn%C3%A9_vln%C4%9Bn%C3%AD
- 59) Mechanické vlnění. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Mechanick%C3%A9_vln%C4%9Bn%C3%AD
- 60) JAKOUBEK, Stanislav. *Mechanické vlnění* [online]. 2021, 2021 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLBSkAe7tgqL8G53xkYM3tw7EkINnsvwyt>
- 61) VAŠČÁK, Vladimír. *ANIMACE VLNĚNÍ* [online]. In: . 2017, s. 8 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/domino2017.pdf>
- 62) *Sweet Science Experiment: Make a Candy Wave Machine* [online]. [cit. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/shorts/LvFOPWChyA0>

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ

Obrázek 1: Příčné a podélné vlnění (5)	6
Obrázek 2: Stojaté vlnění (10).....	9
Obrázek 3: Vlnová délka (11).....	12
Obrázek 4: interference konstruktivní a destruktivní (17)	14
Obrázek 5: Historický přístroj na demonstraci konstruktivního skládání vlnění (18)	15
Obrázek 6: odraz vlnění (19).....	16
Obrázek 7: Vliv prostředí na odraz a lom (20).....	17
Obrázek 8: dopplerův jev (21)	18
Obrázek 9: Učebnice fyziky pro 8. ročník ZV (23).....	20
Obrázek 10: Vlnostroj z pružiny	28
Obrázek 11: Machův vlnostroj (31).....	30
Obrázek 12: Chladního obrazce (32).....	32
Obrázek 13: Rubensova trubice (35).....	34
Obrázek 14: Kundtova trubice (36).....	35
Obrázek 15: Příčné stojaté vlnění na šňůře a krokovém motoru, zdroj: autor	37
Obrázek 16: Wheatstonův vlnostroj (41).....	38
Obrázek 17: Model projekčního vlnění (44)	39
Obrázek 18: Klikový vlnostroj pro demonstraci příčného vlnění (47).....	40
Obrázek 19: Válcový vlnostroj, horní válec znázorňuje podélnou stojatou vlnu a zbylé dva válcové znázorňují postupné podélné vlnění, zdroj: autor	41
Obrázek 20: Torzní Juliův vlnostroj, zdroj: autor	43
Obrázek 21: Torzní vlnostroj.....	44
Obrázek 22: Machův vlnostroj – stejná délka závěsů, zdroj: autor.....	45
Obrázek 23: Machův vlnostroj – rozdílná délka závěsů, zdroj: autor	46
Obrázek 24: Vypalování koleček na laserové vypalovačce, zdroj: autor.....	47
Obrázek 25: Detailní pohled na vypalování, zdroj: autor.....	47
Obrázek 26: Demonstrace příčného vlnění, zdroj: autor.....	47

