Pedagogická fakulta
Faculty of Education
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
University of South Bohemia in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra aplikované fyziky a techniky

Bakalářská práce

Mechanika v úlohách FO

Vypracoval: Adam Pešta
Vedoucí práce: RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.

České Budějovice 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne 6. července 2023 ....

vlastnoruční podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval RNDr. Pavlu Křížovi, Ph. D. za cenné rady, pomoc, podporu a vedení při psaní této bakalářské práce.

Anotace

Předmětem bakalářské práce je zanalyzování obsahů příkladů všech kategorií fyzikálních olympiád a vytvoření statistického pohledu na počet příkladů z oboru mechaniky v jednotlivých kategoriích. Analýza se zabývá posledními deseti dohledatelnými ročníky fyzikálních olympiád.

Klíčová slova

Fyzikální olympiáda, mechanika, analýza

Annotation

The aim of the Bachelor’s degree thesis is to analyze the contents of examples and exercises of all categories of Physics olympiads and to create a statistical view of the quantity of examples from the field of mechanics in each of the categories. Analysis is focused on the last ten traceable years of the Olympics of Physics.

Key words

Olympics of Physics, mechanics, analysis

Obsah

1 Úvod

Fyzikální olympiáda je nejznámější a nerozsáhlejší fyzikální soutěží na území České republiky. Tato soutěž slouží, stejně jako ostatní podobné soutěže, převážně k tomu, aby identifikovaly talentované žáky a podpořily jejich zájem o fyziku. Soutěž je určena pro žáky základních škol od sedmé třídy až po nejvyšší ročníky středních škol a je podle toho rozdělena do sedmi kategorií. Je také skvělou příležitostí pro studenty se setkat s dalšími nadanými studenty napříč různými školami a rozvíjet tak své schopnosti a znalosti společných zájmů čili fyziky. [1]

Jak bylo zmíněno, fyzikální olympiáda je rozdělena do sedmi kategorií. Jednotlivé kategorie se vztahují k ročníkům základních škol či středních škol a nemohou předbíhat výuce ve školách, to například znamená, že v kategorii G se neobjeví příklady, k jejichž řešení je nutné znát teorii k atomové fyzice. Studenti se ovšem ve vlastním zájmu mohou zúčastnit kategorií určených pro žáky vyšších ročníků. [1, 2]

- Kategorie G → 7. ročník ZŠ
- Kategorie F → 8. ročník ZŠ
- Kategorie E → 9. ročník ZŠ
- Kategorie D → 1. ročník SŠ
- Kategorie C → 2. ročník SŠ
- Kategorie B → 3. ročník SŠ
- Kategorie A → 4. ročník SŠ

V jednotlivých kategoriích se konají až tři soutěžní kola. U kategorie G, zvané také Archimediáda, se koná pouze kolo domácí. Kategorie E a F mívají obvykle v domácích kolech stejná zadání, po kterém ti nadanější postoupí do kola okresního, které je již rozdílné. Účastnící kategorie E mohou postoupit ještě dále do kola krajského. Kategorie A, B, C a D se konají jak domácí kola, tak následně krajská a pro kategorii A i celostátní kolo. Přehledněji v tabulce 1.1. [1, 2]

Tabulka 1.1: Přehled kategorií a kol

Kategorie A	Kategorie B, C, D	Kategorie E	Kategorie F	Kategorie G
Domácí kolo	Domácí kolo	Domácí kolo	Domácí kolo	Domácí kolo
Krajské kolo	Krajské kolo	Okresní kolo	Okresní kolo	
Celostátní kolo		Krajské kolo		

Pro nejlepší účastníky kategorie A, B a C se pořádá celostátní soustředění na chatě Táňa. Z vítězů celostátního kola se na základě jejich výsledků vyberou ti nejlepší pro reprezentaci České republiky na Mezinárodní fyzikální olympiádě. Pro reprezentanty je pořádáno ještě přípravné soustředění právě před Mezinárodní fyzikální olympiádou. [1]

1.1 Historie

Fyzikální olympiáda byla založena roku 1959. Organizační a odbornou stránku zajišťuje vědecká společnost Jednota českých matematiků a fyziků [1].

Prof. RNDr. Rostislav Košťál z Vysokého učení technického v Brně sehrál klíčovou roli při vzniku a počátečním rozvoji fyzikální olympiády v bývalém Československu. Založil ji nejen jako vrcholovou soutěž středoškoláků, ale také jako systém, který měl za cíl hledat a rozvíjet talentované studenty v oblasti fyziky. Jeho zájem o fyzikální olympiádu se datuje již od roku 1954, kdy se inspiroval matematickou olympiádou, která tou dobou už probíhala. Původně se mu však nepodařilo najít dostatečný počet spolupracovníků, a tak první pokusné soutěže fyzikální olympiády se konaly až v roce 1958 v Olomouckém a Brněnském kraji. Od školního roku 1959/60 se fyzikální olympiáda začala konat ve všech kategoriích pro střední školy, tedy A, B a C, i v celostátním měřítku. O pár let déle se uskutečňovala i pro dvě kategorie základních škol. [1]

Mezinárodní fyzikální olympiáda (MFO) vznikla roku 1966 a u jejího počátku stál opět prof. RNDr. Rostislav Košťál, jeho polský kolega prof. Cz. Ścislowský a maďarský kolega R. Kunfáli. Bohužel již in memoriam mu za zrod Mezinárodní fyzikální olympiády byla udělena medaile roku 1993, při příležitosti 24. ročníku MFO. Od vzniku samostatné České republiky soutěžilo v MFO celkem 125 českých soutěžících a poměrně velmi úspěšně. Podařilo se jim získat 94 medailí – desetkrát zlatou, třiatřicetkrát stříbrnou a jedenapadesátkrát bronzovou. 39 účastníků dosáhlo čestného uznání. [1]

1.2 Fyzikální soutěže

Fyzikální olympiáda není jedinou soutěží v České republice, která se zabývá fyzikou. Patří ovšem mezi ty nejrozsáhlejší, nejznámější, a hlavně nejvýznamnější fyzikální soutěže. Když se právě tato práce zabývá jednou z fyzikálních soutěží, přijde vhod střídmě popsat nějaké další významné soutěže.

1.2.1 Astronomická olympiáda

Pro zájemce o astronomii a podobné obory je možné se zúčastnit Astronomické olympiády. Tato soutěž vznikla jako samostatná kategorie Fyzikální olympiády v roce 2003/2004, protože žáci projevovali velký zájem o vesmír. Astronomická olympiáda je rozdělena do kategorií podle věku a účastníci mohou absolvovat až tři kola soutěže. V školním kole žáci samostatně řeší úlohy, které vyhodnotí jejich učitel. V korespondenčním kole vypracovávají úlohy doma a jejich řešení vyhodnocuje Ústřední komise astronomické olympiády. Řešitelé s nejlepšími výsledky postupují do celostátního finále, kde se úspěšní řešitelé mohou účastnit odborného soustředění. Ti nejlepší zúčastnění se nominují do soupisky pro reprezentaci České republiky na Mezinárodní astronomické olympiádě. [3]

1.2.2 FYKOS a Výfuk

Studenti na všech typech středních škol se mohou zúčastnit soutěže zvané FYKOS (Fyzikální Korespondenční Seminář), který je pořádán studenty a zaměstnanci Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy. Soutěž se skládá z šesti sérií úloh, z nichž každá obsahuje osm úkolů z různých oblastí fyziky: pět ze středoškolského učiva, jeden problémový úkol a jeden experiment. Poslední úloha, tzv. seriál, se po celý rok zabývá jednou oblastí fyziky, s kterou postupně účastníky seznamuje. Pro nejlepších čtyřicet řešitelů jsou připravena tradiční jarní a podzimní soustředění, kde mohou studenti zúčastnit zajímavých přednášek a experimentů, nebo se zúčastnit různých zábavných her. [4]

Pro studenty na druhém stupni základních škol existuje varianta FYKOSu, která se jmenuje Výfuk (Výpočty fyzikálních úkolů). Tuto soutěž také pořádá Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy. Řešitelé Výfuku mohou získat cenné zkušenosti, ale také vyhrát hmotné ceny a účastnit se letního tábora s výlety, přednáškami a exkurzemi. [5]

1.2.3 Fermiho úlohy

Katedra experimentální fyziky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci každoročně pořádá soutěž zvanou Fermiho úlohy. Soutěže se mohou zúčastnit jak jednotlivci, tak i skupiny žáků ze středních a základních škol. Tato soutěž se nezaobírá pouze fyzikálními problémy, ale všeobecnou problematikou napříč předměty, a i všedního života. Zadání obvykle bývá poněkud strohé, a tak si soutěžící musí dohledávat informace z různých zdrojů, bádat a být kreativní. [6]

1.2.4 Fyziklání

Fyziklání, obdobně jako FYKOS, je soutěž pořádána studenty Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy. Této soutěže se mohou účastnit až pětičlenné skupiny žáků. Fyziklání se koná i v anglickém jazyce, takže se ho mohou zúčastnit i zahraniční studenti. Roku 2021, když se soutěž kvůli Covidu-19 uskutečnila online, se zúčastnili žáci ze 36 různých světových zemí. Účastnící musí v průběhu tří hodin vyřešit co nejvíce zadaných úloh. [7, 8]

1.2.5 Turnaj mladých fyziků

Turnaj mladých fyziků je jinou týmovou soutěží pro středoškoláky. Tento turnaj trvá několik měsíců a žáci se zde věnují řešení náročných otevřených úloh, které jsou pro ně výzvou. Po dokončení soutěže se koná závěrečný turnaj, kde soutěžící prezentují a obhajují své výsledky a diskutují nad řešením ostatních týmů. Tato soutěž se zaměřuje nejen na samotné řešení úloh, ale i na diskusi a schopnost kriticky rozebrat cizí práci. [9]

1.3 Význam soutěží ve vyučování

Soutěže mohou mít několik výhod pro studenty ve vyučovaných předmětech. Jak už to u nich obvykle nastává, soutěže mohou studenty lépe motivovat ke zlepšení svého výkonu, zvýšení snahy a úsilí, když se snaží vyhrát, nebo minimálně předčít ostatní soutěžící. To může mít pozitivní dopad na jejich vůli a schopnosti.

Dalším výrazným kladem soutěží je využití svých znalostí a dovedností v praxi a reálných situací, což jim přiblíží problematiku, dokáží jí lépe aplikovat a vytvoří si tak lepší vazbu mezi teoretickými znalostmi a těmi praktickými.

Některé soutěže nutí žáky spolupracovat v kolektivu a vytvořit tým. To může prospět studentům k rozvoji sociálních dovedností, zlepšení komunikace. Naučí se pracovat v týmu, vystupovat a prezentovat své nápady, návrhy a popisovat své myšlenky.

Soutěže jsou velmi pravděpodobně pro většinu žáků, hlavně těch mladších, zábavnější a zajímavější formou učení. Tím pádem se zvyšuje i šance na to, že studenti projeví větší zájem o učivo a problematiku.

2 Analýza Fyzikálních olympiád

Jak název této práce napovídá, předmětem zájmu jsou příklady, jak teoretické, tak i experimentální, jenž se zabývají oborem mechaniky. Nejspíše by bylo vhodné odůvodnit, proč byl pro analýzu zvolen právě obor mechaniky. Tím nejhlavnějším důvodem je rozhodně ten fakt, že se mechanika nachází v příkladech napříč všemi kategoriemi. Dalšími důvody pak, že se jedná o tu úplně první oblast, se kterou jsou žáci v prvních hodinách fyziky seznamováni, takže by se tento obor dal považovat za ten nejdůležitější. I z toho důvodu, že s mechanikou jsou žáci seznamováni i na základních školách přišlo vhod pro tuto práci, že analýza kategorií pro základní školy předává nějaké informace.

Z každé kategorie bylo vybráno deset ročníků (většinou 53. až 62.) a ty byly nadále analyzovány. Nadále byla tvořena statistika toho, kolik příkladů z celkového počtu příkladů v jednotlivých kolech se týkalo mechaniky. Vše bylo uváděno jak počtem, tak i procentuální hodnotou. U kategorií pro základní školy byl utvořen pouze celkový přehled. Nadále je u každého typu kola každé kategorie uváděna procentuální hodnota toho, jakým podoborem mechaniky se příklady zabývaly. Konkrétními řešenými podobory byly kinematika, dynamika a statika.

Kinematika je podoborem mechaniky zabývající se popisem pohybu těles, přičemž ale nezkoumá jeho příčiny [10].

Dynamika je podoborem mechaniky zabývající se právě příčinami pohybu těles [10].

Statika je podoborem mechaniky zabývající se podmínkami rovnováhy těles [10].

Je potřeba zmínit, že účastníci Fyzikální olympiády nemusí umět pouze řešit problematiku týkající se přímo fyziky, ale ovšem musí u některých příkladů prokázat i jiné dovednosti, jako jsou například práce s mapami na internetu (u příkladů se objevují především mapy z webů *http://mapy.cz*, *http://earth.google.com* a *http://google.com/maps*). Nadále se u některých příkladů požaduje vyhledávat spoje veřejné dopravy (nejčastěji z webu *http://idos.cz*). V mnoha případech je potřeba umět číst nebo vytvářet grafy a tabulky (program excel). Občas se u příkladů vyskytují dotazy spojené s využitím například kompasu, a jak funguje. Ještě se zde, ovšem minimálně, vyskytuje nutnost si umět poradit s nějakými dalšími programy, jako je například program na zaznamenávání zvuku zvaný Audacity. Samozřejmě s fyzikou je blízce spojena matematika, nutnost umět zaokrouhlovat na různý počet platných číslic a samozřejmě schopnost výpočtu.

2.1 Analýza kategorií G, F a E

Fyzikální olympiády kategorie G, jinak nazývané také jako Archimediády, jsou určeny pro žáky 7. ročníků základních škol. V této kategorii se koná pouze domácí kolo. Zadání obvykle obsahuje 4 příklady a jednu experimentální úlohu. Ve zkoumaných deseti ročnících Fyzikální olympiády v této kategorii jednou nastala výjimka, kdy 55. ročník obsahoval 5 teoretických příkladů. Veškeré příklady z této kategorie se zabývají oborem mechaniky.

Kategorie F je určená pro žáky 8. tříd základních škol a odpovídajícím ročníkům víceletých gymnázií. V této kategorii se koná rovněž domácí kolo, z něhož účastnící mohou postoupit do kola okresního. Zadání domácích kol obsahují od 10 do 17 teoretických příkladů a jednu až dvě praktické úlohy, přičemž z více než dvou třetin obsahují příklady s mechanickou tématikou. Okresní kola pak obvykle čítají čtyři příklady, výjimečně obsahovaly šest příkladů a to v 50. a 51. ročníku. Opět obsahují převážně příklady z mechaniky, přesněji v průměru pouze každý čtvrtý se mechanikou nezabývá.

Kategorie E, určená pro žáky 9. tříd a odpovídajícím ročníkům víceletých gymnázií. Domácí kolo této kategorie je shodné se zadáním domácích kol kategorie F. Následně se koná kolo okresní, které obsahují čtyři příklady, až na výjimku v kole 51. a 52., kde se jich nacházelo šest. Větší polovina příkladů okresních kol se zaobírá mechanikou. Úspěšní řešitelé postupují do kola krajského, která obsahují pravidelně čtyři příklady. Ve 48. a 47. ročníku se zde nacházelo shodně po jednom bonusovém příkladu, takže se jich zde celkem objevilo pět. Při započítání do statistiky bonusových příkladů je přesně polovina z nich zaměřena na obor mechaniky.

2.1.1 Domácí kola kategorií G, F a E

Domácí kola kategorie G za zkoumaných deset ročníků (53. až 62. ročník) obsahovala celkem 41 teoretických příkladů a 10 experimentů. Všechny příklady a experimenty se zabývaly oborem mechaniky. Kategorie F a E v ročnících, z nichž je tato statistika tvořena (53. až 62. ročník), mají společné zadání v domácích kolech. Z celkového počtu 126 teoretických příkladů se mechanika objevila v 88 případech. Praktických úloh se vyskytovalo celkem 17, z toho 12 se zabývalo mechanikou. Vše je přehledněji vyobrazeno v tabulce 2.1.

Tabulka 2.1: Mechanika v příkladech domácích kol kategorie G, F a E

Domácí kolo	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)	Celkem experimentů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
Kategorie G	41	41	100,00	10	10	100,00
Kategorie F, E	126	88	69,84	17	12	70,59

Nadále bylo řešeno procentuální obsazení podoborů mechaniky – kinematiky, dynamiky a statiky ve zkoumaných kolech. V kategorii G se v domácích kolech nacházela ve více než polovině případů kinematika, následována statikou, která se objevila zhruba ve čtvrtině případů. Nejméně se v těchto příkladech objevila dynamika. V kategoriích F a E se ve skoro polovině případů objevila kinematika. Dynamika se statikou se zde objevily ve velmi podobném množství případů. Přehledněji opět možno vidět v tabulce 2.2.

Tabulka 2.2: Procentuální obsazenost podoborů mechaniky v teoretických příkladech

Domácí kola			
Teoretické příklady	Kinematika (%)	Dynamika (%)	Statika (%)
Kategorie G	65,85	7,32	26,83
Kategorie F, E	44,32	29,55	26,14

Tabulka 2.3 poukazuje na velmi podobnou věc jako tabulka 2.2, liší se v tom, že se zajímá o experimentální úlohy. V kategorii G se v nejvyšší míře vyskytovala dynamika. Kinematika se statikou si rozdělily stejnou procentuální hodnotu výskytu, když se obě tyto tématiky nacházely pouze v deseti procentech případů. U kategorií F a E se v experimentálních úlohách nevyskytla kinematika, ve třech čtvrtinách příkladů se zde objevila dynamika, ve zbylé čtvrtině statika.

Tabulka 2.3. Procentuální obsazenost podoborů mechaniky v experimentech

Domácí kola			
Experimenty	Kinematika (%)	Dynamika (%)	Statika (%)
Kategorie G	10	80	10
Kategorie F, E	0	75	25

2.1.2 Okresní kola kategorie F a E

Okresní kola se u kategorie G neuskutečňují, tak byla analyzována kola pouze pro kategorie F a E. Kategorie F v okresních kolech za 10 zkoumaných ročníků (50., 51., 52., 56. až 62.) obsahovala celkem 44 teoretických příkladů. Přesně tři čtvrtiny těchto příkladů byly zaměřeny na obor mechaniky. Kategorie E za stejný počet zkoumaných ročníků, shodnými s těmi, které byly zkoumány u kategorie F, obsahovaly rovněž 44 příkladů, ovšem pouze přibližně v polovině případů se zabývaly mechanikou. Znovu přehledněji viditelné v tabulce 2.4.

Tabulka 2.4: Mechanika v příkladech okresních kol kategorie F a E

Okresní kolo	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
Kategorie F	44	33	75,00
Kategorie E	44	23	52,27

Tabulka 2.5 poukazuje stejně jako u kol domácích na procentuální obsazení podoborů mechaniky – kinematiky, dynamiky a statiky ve fyzikálních olympiádách. V kategorii F se kinematika, dynamika i statika nacházely ve velmi podobném počtu příkladů. V kategorii E se nejčastěji objevovala kinematika, nejméně obsažena pak byla statika, která se objevovala v průměru skoro jednou ze čtyř případů.

Tabulka 2.5: Procentuální obsazenost podoborů mechaniky v okr. kolech kat. F a E

Okresní kola			
Teoretické příklady	Kinematika (%)	Dynamika (%)	Statika (%)
Kategorie F	36,37	33,33	30,30
Kategorie E	43,48	30,43	26,09

2.1.3 Krajská kola kategorie E

Ani v kategorii G, ani v kategorii F se krajská kola nekonají, tak tato analýza se týká pouze kategorie E. V deseti zkoumaných ročnících (47. až 50. a 56. až 62. ročník; bez 61. ročníku, který byl zrušen) se nacházelo celkem 42 teoretických příkladů, z nichž dva byly označeny pouze jako bonusové, ale do této statistiky byly i tak započítány. Mechanika se zde objevila přesně v polovině případech. Vše je názorněji zobrazeno v tabulce 2.6.

Tabulka 2.6: Mechanika v příkladech krajských kol kategorie E

Krajské kolo	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
Kategorie E	40+2	21	50

Tabulka 2.7 opět zobrazuje procentuální obsazenost podoborů mechaniky. Kinematika, dynamika i statika zde byly poměrně rovnoměrně rozloženy, ovšem v nejvíce případech se objevila kinematika, v nejméně pak dynamika.

Tabulka 2.7: Procentuální obsazenost podoborů mechaniky v krajských kolech kat. E

Krajská kola			
Teoretické příklady	Kinematika (%)	Dynamika (%)	Statika (%)
Kategorie E	38,10	28,57	33,33

2.2 Analýza kategorie D

Kategorie D Fyzikální olympiády je první kategorií určenou pro žáky středních škol. Přesněji pak tedy pro první ročníky středních škol. V této kategorii se konají dvě kola, a to kolo domácí a kolo krajské. Krajské kolo má občas stejné zadání i pro kategorie C, či i B.

Domácí kola se skládají z šesti příkladů a jedné praktické úlohy či experimentu. Všechny příklady v tomto kole se zabývají oborem mechaniky.

V krajských kolech pak nalezneme příklady čtyři a žádnou praktickou úlohu či experiment. Znovu se všechny z těchto příkladů zabývají oborem mechaniky.

2.2.1 Domácí kola kategorie D

Tabulka 2.8: Mechanika v příkladech domácích kol kategorie D

Domácí kolo	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)	Celkem experimentů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
62	6	6	100	1	1	100
61	6	6	100	1	1	100
60	6	6	100	1	1	100
59	6	6	100	1	1	100
58	6	6	100	1	1	100
57	6	6	100	1	1	100
56	6	6	100	1	1	100
55	6	6	100	1	1	100
54	6	6	100	1	1	100
53	6	6	100	1	1	100
Celkem	60	60	100	10	10	100

U kategorie D je statistika mechanických příkladů obsažena v domácích kolech poměrně překvapivá, protože všechny příklady se zabývají mechanikou, a to jak v teoretické části soutěže, tak i v té praktické čili v experimentálních úlohách. Celkový počet teoretických příkladů zahrnutých do statistiky se dostal na hodnotu 60. Experimenty byly po jednom v každém ročníku a to činí 10 praktických úloh celkem (viz tab. 2.8).

Co se týká toho, jakým podoborem se úlohy zabývaly, lze vidět v tabulce 2.9. Teoretické příklady z větší poloviny řešily příklady zaměřené na dynamiku. Kinematikou se zabývaly v menší polovině příkladů a statikou se zabývaly pouze minimálně.

Experimentální úlohy se naopak zaměřovaly převážně na obor statiky, která se zde nacházela v polovině případů. Dynamika byla obsazena v menší polovině případů a kinematika pouze jednou (viz tabulka 2.9).

Tabulka 2.9: Procentuální obsazenost podoborů mechaniky v domácích kolech kat. D

Domácí kola			
Podobor mechaniky	Kinematika (%)	Dynamika (%)	Statika (%)
Teoretické příklady	41,67	55,00	3,33
Experimenty	10	40	50

2.2.2 Krajská kola kategorie D

Tabulka 2.10: Mechanika v příkladech krajských kol kategorie D

Krajské kolo	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
62	4	4	100
61	4	4	100
60	4	4	100
59	4	4	100
58	4	4	100
57	4	4	100
56	4	4	100
55	4	4	100
54	4	4	100
53	4	4	100
Celkem	40	40	100

Rovněž jako v domácích kolech této kategorie se ve všech případech objevila tématika týkající se oboru mechaniky. Příkladů se ve zkoumaných kolech nacházelo celkem 40 (viz tabulka 2.10).

V tabulce 2.11 lze vidět obsazenost podoborů mechaniky v krajských kolech kategorie D ve zkoumaných ročnících byla následující. Nejčastěji se zde objevovala dynamika, následována kinematikou, která se nacházela přibližně ve třetině případů. Statika byla obsažena pouze ve příkladech obsahující mechaniku pouze minimálně.

Tabulka 2.11: Procentuální obsazenost podoborů mechaniky ve krajských kolech kat. D

Krajská kola		
Kinematika (%)	Dynamika (%)	Statika (%)
30,0	67,5	2,5

2.3 Analýza kategorie C

Kategorie C je kategorií opět pro žáky z dalšího ročníku středních škol čili pro žáky druhého ročníku. Uskutečňují se v této kategorii opět dvě kola, domácí a krajské. Domácí kolo má někdy společné zadání s nižší, nebo vyšší kategorií neboli D a B.

2.3.1 Domácí kola kategorie C

Domácí kolo se skládá z 6 příkladů a jedné praktické úlohy či experimentu. Opět se většina z těchto příkladů zabývá mechanikou. U praktických úkol je scénář velmi podobný jako u teoretických a také většina z nich se týká mechaniky.

Tabulka 2.12: Mechanika v příkladech domácích kol kategorie C

Domácí kolo	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)	Celkem praktických úloh	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
62	6	5	83,33	1	0	0
61	6	5	83,33	1	0	0
60	6	5	83,33	1	1	100
59	6	3	50,00	1	1	100
58	6	4	60,67	1	1	100
57	6	5	83,33	1	1	100
56	6	5	83,33	1	1	100
55	6	5	83,33	1	0	0
54	6	5	83,33	1	1	100
53	6	5	83,33	1	1	100
Celkem	60	47	77,73	10	7	70

Ve zkoumaných domácích kolech kategorie C se v teoretických příkladech nacházela mechanika přibližně ve třech čtvrtinách případů. Co se týká části praktické, tak experimenty týkající se mechaniky byly zaměřeny na obor mechaniky ve velmi podobném procentuálním počtu jako teoretické příklady (viz tabulka 2.12).

Co se týká procentuálního zastoupení podoborů mechaniky tak nejčastěji se v domácích kolech kategorie C objevovala dynamika, která byla obsažena v menší polovině případů. Statika a kinematika se nacházela ve velmi podobném počtu případů (viz tabulka 2.13).

U experimentálních úloh se na stejnou procentuální hodnotu dostala kinematika s dynamikou. Oba obory byly obsaženy shodně v menší polovině případů. Statika zaujala zbylých necelých patnáct procent z příkladů zaměřených na mechaniku. Přehledněji v tabulce 2.13.

Tabulka 2.13: Procentuální obsazenost podoborů mechaniky v domácích kolech kat. C

Domácí kola			
Podobor	Kinematika (%)	Dynamika (%)	Statika (%)
Teoretické příklady	27,66	42,55	29,79
Experimenty	42,86	42,86	14,29

2.3.2 Krajská kola kategorie C

Krajské kolo čítá pravidelně čtyři teoretické úlohy a žádnou praktickou úlohu či experiment. Z teoretických příkladů je v každém zadání z posledních deseti vždy minimálně polovina zaměřena na obor mechaniky.

Tabulka 2.14: Mechanika v příkladech krajských kol kategorie C

Krajské kolo	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
62	4	3	75
61	4	3	75
60	4	2	50
59	4	3	75
58	4	4	100
57	4	3	75
56	4	3	75
55	4	4	100
54	4	2	50
53	4	3	75
Celkem	40	30	75

Oborem mechaniky se v krajských kolech kategorie C nezabýval pouze každý čtvrtý příklad (viz tabulka 2.14).

Příklady zaměřeny na mechaniku se v nejvyšší míře zajímaly o dynamiku, o statiku v jedno z pěti případů a lehce méně o kinematiku (tabulka 2.15).

Tabulka 2.15: Procentuální obsazenost podoborů mechaniky v krajských kolech kat. C

Krajská kola			
Podobor mechaniky	Kinematika (%)	Dynamika (%)	Statika (%)
Teoretické příklady	16,67	63,33	20,00

2.4 Analýza kategorie B

Kategorie B Fyzikální olympiády je určena pro žáky třetích ročníků středních škol. Konají se zde dvě kola, domácí a krajská. Domácí kola mají občas stejné zadání s kategoriemi D a C, jak je již zmíněno výše.

2.4.1 Domácí kola kategorie B

Domácí kola obsahují v každém z posledních deseti dohledatelných zadání šest teoretických příkladů a praktickou úlohu či experiment. Přibližně polovina z teoretických příkladů se zabývá oborem mechaniky. Praktické úlohy či experimenty se mechanikou zabývaly ve třech případech z deseti.

Tabulka 2.16: Mechanika v příkladech domácích kol kategorie B

Domácí kolo	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)	Celkem praktických úloh	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
62	6	3	50,00	1	0	0
61	6	3	50,00	1	0	0
60	6	4	66,67	1	0	0
59	6	4	66,67	1	1	100
58	6	3	50,00	1	0	0
57	6	3	50,00	1	1	100
56	6	4	66,67	1	0	0
55	6	3	50,00	1	0	0
54	6	5	83,33	1	1	100
53	6	3	50,00	1	0	0
Celkem	60	35	58,33	10	3	30

Z celkového počtu 60 teoretických úloh se jich mechanikou zabývala větší polovina. V každém zkoumaném kole se mechanika vyskytovala minimálně v polovině příkladů. U experimentálních úloh se mechanika řešila pouze ve 3 případech z celkových deseti. Vše je přehledněji vyobrazeno v tabulce 2.16.

Teoretické příklady zaměřené na mechaniku se nejvíce zaměřovaly na dynamiku, v jedné čtvrtině pak na statiku a nejméně pak na kinematiku. Experimentální úlohy se nejvíce zabývaly kinematikou, ve třetině případů statikou a dynamika se zde vůbec nenacházela. Přehled lze vidět v tabulce 2.17.

Tabulka 2.17: Procentuální obsazenost podoborů mechaniky v domácích kolech kat. B

Domácí kola			
Podobor mechaniky	Kinematika (%)	Dynamika (%)	Statika (%)
Teoretické příklady	8,57	65,71	25,71
Experimenty	66,67	0	33,33

2.4.2 Krajská kola kategorie B

Krajská kola čítají v každém zkoumaném ročníku čtyři příklady a žádnou praktickou úlohu či experiment. Z teoretických příkladů se opět přibližně polovina zabývala oborem mechaniky.

Tabulka 2.18: Mechanika v příkladech krajských kol kategorie B

Krajské kolo	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
62	4	2	50,0
61	4	3	75,0
60	4	2	50,0
59	4	2	50,0
58	4	2	50,0
57	4	2	50,0
56	4	2	50,0
55	4	4	100,0
54	4	3	75,0
53	4	3	75,0
Celkem	40	25	62,5

V krajských kolech kategorie B se z celkového počtu 40 příkladů mechanikou zabývala znovu větší polovina. Každé zkoumané kolo obsahovalo minimálně 2 příklady týkajících se mechaniky (viz tabulka 2.18).

Z tabulky 2.19 se dá zjistit, že teoretické příklady se zabývaly převážně dynamikou, v jedné pětině případů kinematikou a nejméně statikou.

Tabulka 2.19: Procentuální obsazenost podoborů mechaniky v krajských kolech kat. B

Krajská kola			
Podobor mechaniky	Kinematika (%)	Dynamika (%)	Statika (%)
Teoretické příklady	20	68	12

2.5 Analýza kategorie A

Kategorie A Fyzikální olympiády, jak už název napovídá, je nejvyšší kategorií této soutěže. Je určena pro žáky čtvrtého ročníku středních škol. Konají se zde tři kola, domácí, které je následováno krajským a následně se koná kolo celostátní.

2.5.1 Domácí kola kategorie A

Domácí kola obsahují šest příkladů a praktickou úlohu či experiment. Teoretické příklady obsahují slabší polovinu příkladů zaměřených na obor mechaniky. Praktické úlohy či experimenty se v posledních deseti konání zabývala mechanikou přesně dvakrát.

Tabulka 2.20: Mechanika v příkladech domácích kol kategorie A

Domácí kolo	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)	Celkem praktických úloh	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
62	6	2	33,33	1	1	100
61	6	3	50,00	1	1	100
60	6	2	33,33	1	0	0
59	6	0	0,00	1	0	0
58	6	4	66,67	1	0	0
57	6	2	33,33	1	0	0
56	6	3	50,00	1	0	0
55	6	3	50,00	1	0	0
54	6	3	50,00	1	0	0
53	6	2	33,33	1	0	0
Celkem	60	24	40,00	10	2	20

Z tabulky 2.20 lze vyčíst, že z celkového počtu 60 příkladů se mechanika vyskytovala v menší polovině z nich. V 59. ročníků se žádný příklad nezabýval mechanikou, jinak ve všech ostatních byla vždy minimálně třetina příkladů věnována oboru mechaniky. Praktické úlohy se zabývaly mechanikou pouze ve dvou případech.

Teoretické příklady se většinou zabývaly dynamikou, přibližně v jedné pětině případů statikou a nejméně kinematikou. Experimentální úlohy byly v deseti zkoumaných ročnících pouze dvě, jedna řešící kinematiku a jedna dynamiku. Názorně lze vidět v tabulce 2.21.

Tabulka 2.21: Procentuální obsazenost podoborů mechaniky v domácích kolech kat. A

Domácí kola			
Podobor mechaniky	Kinematika (%)	Dynamika (%)	Statika (%)
Teoretické příklady	12,50	66,67	20,83
Experimenty	50	50	0

2.5.2 Krajská kola kategorie A

Krajská kola se skládají pravidelně ze čtyř teoretických příkladů. Experimentální úlohy se v těchto kolech nevyskytují.

Tabulka 2.22: Mechanika v příkladech krajských kol kategorie A

Krajské kolo	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
62	4	2	50
61	4	1	25
60	4	3	75
59	4	1	25
58	4	2	50
57	4	1	25
56	4	1	25
55	4	2	50
54	4	1	25
53	4	2	50
Celkem	40	16	40

Z celkového počtu 40 příkladů ve zkoumaných kolech, se jich menší polovina zabývala mechanikou. Přehledně je vše vyobrazeno v tabulce 2.22.

Ze zmiňovaných šestnácti příkladu se ve více než třech čtvrtinách případů zabývalo dynamikou. Kinematika se zde pak objevila dvakrát častěji než statika. (viz tabulka 2.23).

Tabulka 2.23: Procentuální obsazenost podoborů mechaniky ve krajských kolech kat. A

Krajská kola			
Podobor mechaniky	Kinematika (%)	Dynamika (%)	Statika (%)
Teoretické příklady	12,50	81,25	6,25

2.5.3 Celostátní kola kategorie A

Celostátní kola se ve zkoumaných deseti ročnících skládala ze čtyřech teoretických úloh a jedné praktické úlohy v každém kole.

Tabulka 2.24: Mechanika v příkladech celostátních kol kategorie A

Celostátní kolo	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)	Celkem praktických úloh	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
62	4	1	25	1	0	0
61	4	2	50	1	0	0
60	4	2	50	1	0	0
59	4	1	25	1	0	0
58	4	2	50	1	1	100
57	4	2	50	1	0	0
56	4	1	25	1	1	100
55	4	2	50	1	0	0
54	4	2	50	1	0	0
53	4	1	25	1	1	100
Celkem	40	16	40	10	3	30

Z celkového počtu 40 příkladů se jich opět pouze menší polovina zabývala mechanikou. Z 10 experimentálních úloh se pouze 3 zabývaly mechanikou. Názorně je vyobrazeno v tabulce 2.24.

Z šestnácti příkladů se jich ve třech čtvrtinách zabývalo dynamikou. Ve zbylé čtvrtině byla statika s kinematikou rovnoměrně rozložena a čítají tak stejnou procentuální obsazenost. Experimenty se zabývaly dvakrát dynamikou a jednou. Kinematikou se nezabývaly v žádném případě. Přehledněji lze vidět v tabulce 2.25.

Tabulka 2.25: Procentuální obsazenost podoborů mechaniky v celost. kolech kat. A

Celostátní kolo			
Podobor mechaniky	Kinematika (%)	Dynamika (%)	Statika (%)
Teoretické příklady	12,5	75,0	12,5
Experimenty	0	66,67	33,33

2.6 Shrnutí analýz

V této kapitole lze najít celkový souhrn analýz, aby mohlo dojít k nějakému srovnání. Shrnutí je přehledně vyobrazeno v tabulkách po jednotlivých kolech. Pro celostátní kolo by byl takový souhrn zbytečný, protože se koná pouze v kategorii A. Souhrnnou tabulkou by pak byla stejná tabulka jako tabulka 2.24.

2.6.1 Domácí kola

Tabulka 2.25: Souhrn analýz domácích kol

Domácí kola kategorie	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)	Celkem praktických úloh	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
G	41	41	100,00	10	10	100,00
F, E	126	88	69,84	17	12	70,59
D	60	60	100,00	10	10	100,00
C	60	47	77,73	10	7	70,00
B	60	35	58,33	10	3	30,00
A	60	24	40,00	10	2	20,00

V tabulce 2.25 lze vidět, že výskyt mechaniky v domácích kolech se v kategoriích postupně od G po A snižuje, až na výjimku mezi kategoriemi F, E, která mají stejná zadání v domácích kolech, a D. Naprosto stejný případ nastává u praktických úloh, kde dochází k postupnému snižování výskytu úloh zaměřených na mechaniku, až na výjimku mezi stejnými kategoriemi jako u praktických úloh.

2.6.2 Okresní kola

Tabulka 2.26: Souhrn analýz okresních kol

Okresní kola kategorie	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
F	44	33	75,00
E	44	23	52,27

Okresní kola se konají pouze u kategorií E a F. Ve zkoumaných deseti kolech těchto kategorií se u obou kategorií objevil stejný počet zadaných příkladů. Z těchto příkladů obsahovala kategorie E přibližně polovinu příkladů zaměřených na mechaniku, u kategorie F tomu byly tři čtvrtiny příkladů zabývající se mechanikou. Lze znát poněkud významný pokles výskytu mechaniky z kategorie F do E. Přehledněji v tabulce 2.26.

2.6.3 Krajská kola

Tabulka 2.27: Souhrn analýz krajských kol

Krajská kola kategorie	Celkem příkladů	Z toho mechanika	Z toho mechanika (%)
E	40+2	21	50,0
D	40	40	100,0
C	40	30	75,0
B	40	25	62,5
A	40	16	40,0

Krajská kola se nekonají pouze v kategoriích G a F. Podobně jako u domácích kol dochází v krajských kolech k poklesu výskytu mechaniky postupem kategorií s tou výjimkou, že v kategorii E je tento výskyt o mnoho menší než u kategorie D, ve které jsou všechny příklady zaměřené na mechaniku. Přehledněji lze vidět v tabulce 2.27.

Při porovnání krajských kol těchto kategorií s domácími koly tentýž kategorií si lze všimnout, že procentuální výskyt mechaniky je velmi podobný. Největší rozdíl se nachází u kategorie E, ale to je zapříčiněno společným zadáním domácího kola s nižší kategorií F.

3 Analýza náročnosti příkladů krajských kol kategorie D

Kategorie D byla vybrána pro hlubší prozkoumání, hlavně z toho důvodu, že všechny příklady zde obsažené se týkaly mechaniky. Zajímavé pro tuto práci bylo pouze krajské kolo, protože pro všechny soutěžící jsou zde stejné podmínky, což by u domácích kol bylo zpochybnitelné. Tento průzkum je založen na průměrném počtu získaných bodů z jednotlivých příkladů. je zkoumána více do hloubky, a to na základě toho, kolik z jednotlivých příkladů zúčastnění získali průměrně bodů. V potaz byly brány výsledky z kraje Jihočeského a kraje Vysočina od 54. do 62. ročníku.

Tabulka 3.1: Průměrný počet získaných bodů v krajských kolech kategorie D

Ročník	Příklad 1	Příklad 2	Příklad 3	Příklad 4
62	7,18	3,72	4,39	1,88
61	6,14	3,66	4,43	1,28
60	3,86	4,14	3,56	2,58
59	7,68	3,13	3,20	3,84
58	3,96	4,10	3,79	4,71
57	5,86	7,20	5,29	3,14
56	5,79	4,70	5,44	4,14
55	2,36	5,30	5,68	2,35
54	5,79	5,41	2,73	3,22

V tabulce 3.1 je možno vidět, kolik bodů v průměru účastníci z jednotlivých příkladů získali. Celkový průměrný počet bodů z příkladu činil 4,32 bodů. Jako problémové příklady byly tedy vybrány ty, u kterých byl průměrný počet získaných bodů nižší než 4,32 bodů a v tabulce 3.1 jsou vyznačeny červenou barvou. Z celkového počtu 36 takto zkoumaných příkladů jich bylo za problematické považováno 20. K těmto příkladům byly přidány ty, v nichž byl průměrný počet získaných bodů menší než 5 z toho důvodu, že k úspěšnému řešení příkladu je potřeba z něj získat alespoň právě těch pět bodů. Tyto příklady jsou v tabulce 3.1 vyznačeny žlutou barvou.

3.1 Problematické příklady

Jak již bylo napsáno, problematické příklady jsou ty, v nichž byl průměrný počet získaných bodů roven či nižší než 5. V této kapitole jsou problematické příklady důkladněji zanalyzovány, především co se týče témat, kterých se tyto příklady týkaly.

Následně je zde ukázaná teorie ke všem tématům, která byla potřeba k vyřešení těchto příkladů.

3.2 Témata problematických příkladů

Tabulka 3.2: Výskyt témat u problematických příkladů

Téma	Výskyt (%)
Kinematika přímočarého pohybu	22,0
Pohyb po kružnici	14,6
Newtonovy zákony, tření, hybnost	17,1
Mechanická práce, výkon, energie	28,0
Gravitační pole	7,3
Pohyby v homogenním tíhovém poli	4,9
Kmitání na pružině	4,9
Archimedův zákon	1,2

Nejvíce řešenou problematikou ve vybraných příkladech bylo odvětví mechaniky zabírající se mechanickou prací, výkonem a energiemi. Následovala kinematika přímočarého pohybu, Newtonovými zákony, třením a hybností a pohybem po kružnici. V menší míře se zde pak objevovalo téma gravitačního pole, pohyby v homogenním tíhovém poli a kmitáním na pružině. Téma, které se zde objevilo pouze jednou je Archimedův zákon. Přehledněji lze vidět v tabulce 3.2.

Následující podkapitoly obsahují témata, kterým se věnují problematické příklady

3.2.1 Kinematika přímočarého pohybu

Kinematika se zabývá pohybem, přičemž nezkoumá jeho příčiny. Důležitým pojmem je hmotný bod, jímž nahrazujeme tělesa, jenž je rozměrově a tvarově nepodstatné. Polohu hmotného bodu určujeme pomocí souřadnic. Čára, po níž hmotný bod koná pohyb se nazývá trajektorie. Délka trajektorie se nazývá dráha, obvykle značená s.

Pokud hmotný bod urazí dráhu s za čas t, pak je možné zjistit průměrnou rychlost v_{p}, kterou se pohyboval

$$v_{\mathrm{p}} = \frac{s}{t}. \tag{1}$$

Velikost okamžité rychlost lze získat tak, že se vezme co nejmenší část dráhy Δs a času Δt pohybu. Směr této rychlosti je vždy na tečně trajektorie ve směru pohybu.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}. \tag{2}$$

Při rovnoměrném pohybu se hmotný bod pohybuje bez zrychlení, proto je velikost rychlosti neměnná. Dráhu pak lze získat ze vztahu

$$s = s_0 + vt. \tag{3}$$

Pro velikost zrychlení přímočarého pohybu a platí vztah, kdy je změna velikosti rychlosti Δv dělena intervalem času Δt

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}. \tag{4}$$

Pokud je zrychlení a konstantní, jedná se o rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb. Pro velikost rychlosti v a dráhy s pak platí

$$v = v_0 + at, \tag{5}$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2. \tag{6}$$

Kde v_0 je počáteční rychlost. [10].

3.2.2 Pohyb po kružnici

Polohu hmotného bodu udává veličina zvaná úhlová dráha. Je to úhel, který je opsán průvodičem hmotného bodu, což je spojnice středu kružnice s hmotným bodem a má tak stejnou velikost jako poloměr kružnice po níž se hmotný bod pohybuje r. Po obvodu kružnice urazí hmotný bod dráhu s. Velikost úhlové dráhy pak udává vztah

$$\varphi = \frac{s}{r}. \tag{7}$$

Úhlová rychlost je veličina, která říká, jak rychle se hmotný bod po kružnici pohybuje. Její velikost je podílem změny úhlové dráhy φ za velmi malou dobu t.

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \tag{8}$$

Vztah mezi okamžitou obvodovou rychlostí a úhlovou rychlostí je dán vztahem

$$v = \omega r. \tag{9}$$

Dalšími veličinami týkající se pohybu po kružnici jsou perioda T a frekvence f. Perioda je veličina, která říká, za jakou dobu hmotný bod udělá jeden celý oběh (tedy opíše jeden celý obvod kružnice a navrátí se do původní polohy). Frekvence pak udává počet těchto oběhů za jednotku času.

$$T = \frac{1}{f} \tag{10}$$

$$f = \frac{1}{T} \tag{11}$$

Pro úhlovou rychlost v závislosti na frekvenci a periodě platí vztahy

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f. \tag{12}$$

Pokud se hmotný bod pohybuje po kružnici rovnoměrně, má dostředivé zrychlení a_d. Jeho velikost je dána vztahem

$$a_\mathrm{d} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r. \tag{13}$$

Pokud se hmotný bod pohybuje nerovnoměrně křivočaře, pak pro jeho celkové zrychlení a platí

$$a = \sqrt{a_\mathrm{t}^2 + a_\mathrm{n}^2}, \tag{14}$$

kde a_t je tečné zrychlení a a_n zrychlení normálové. [10]

3.2.3 Newtonovy zákony

První Newtonův pohybový zákon, přezdívaný také jako zákon setrvačnosti říká: „*Každé těleso setrvává v klidu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu, pokud není nuceno vnějšími silami tento stav změnit.*“

Druhý Newtonův pohybový zákon, známý také jako zákon síly popisuje stav, kdy na těleso působí nějaká jiná tělesa silami. Těleso, na které působí vnější síly, se začne pohybovat se zrychlením ve směru výslednice sil na něj působících. Velikost tohoto zrychlení tělesa je nepřímo úměrná jeho hmotnosti a přímo úměrná výslednici na něj působících sil

$$a = \frac{F}{m}. \tag{15}$$

Pohybová rovnice je nejznámější formou vyjádření druhého Newtonova pohybového zákona, kde součin zrychlení a hmotnosti tělesa vyjadřuje velikost výslednice působících sil na těleso

$$F = ma. \tag{16}$$

Zákon síly lze také vyjádřit pomocí změny hybnosti. Velikost výslednice sil je pak rovna změně hybnosti dělené dobou působení síly

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}, \tag{17}$$

kde Δp je změna hybnosti tělesa. Vztah pro hybnost vypadá následovně

$$p = mv. \tag{18}$$

Třetí Newtonův zákon, nazývaný také jako zákon akce a reakce, sděluje, že každá dvě tělesa vzájemně na sebe působí stejně velkými silami, které ovšem mají opačný směr. Jejich vznik a zánik je současný.

$$F_1 = -F_2 \tag{19}$$

Zákon zachování hybnosti platí pro tělesa v takzvané izolované soustavě těles. Tělesa v této soustavě na sebe silově působí podle zákona akce a reakce, ale žádné další síly na ně nepůsobí.

$$p = p_1 + p_2 + \cdots + p_\mathrm{n} = \mathrm{konst.} \tag{20}$$

Zákon zachování hybnosti říká, že celková hybnost této soustavy je neměnná. [10]

3.2.4 Tření

Jestliže se těleso pohybuje po jiném tělesu v přímém kontaktu, vzniká na jejich styčné ploše třecí síla vždy směřující proti pohybu tělesa. Záleží přitom na povrchu obou těles a jejich nerovnostech. Velikost třecí síly F_t je přímo úměrná velikosti tlakové síly. Při pohybu je závislá i na součiniteli smykového tření f, který popisuje právě povrchy styčných ploch obou těles.

$$F_\mathrm{t} = fF_\mathrm{n} \tag{21}$$

Pokud se těleso nepohybuje, působí mezi tělesy klidové tření, závisející na součiniteli klidového tření f_0.

$$F_\mathrm{t} = f_0 F_\mathrm{n} \tag{22}$$

3.2.5 Mechanická práce, energie a výkon

Mechanická práce W je fyzikální veličinou, která je závislá na neměnné síle F, která působí na pohybující se těleso a na dráze s, kterou těleso urazí působením síly. Zároveň práci koná pouze složka síly F, která je rovnoběžná s trajektorií tělesa. Trajektorie tělesa s konstantní silou F svírá úhel α.

$$W = Fs \cdot \cos\alpha \tag{23}$$

Kinetická energie E_k je fyzikální veličina, kterou má pohybující se těleso (vzhledem ke vztažné soustavě). Platí pro ni následující vztah (2), kde m je hmotnost tělesa a v jeho rychlost.

$$E_\mathrm{k} = \frac{1}{2} m v^2 \tag{24}$$

Kinetická energie soustavy hmotných bodů se rovná součtu kinetických energií jednotlivých hmotných bodů.

$$E_\mathrm{k} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \cdots + \frac{1}{2} m_\mathrm{n} v_\mathrm{n}^2 \tag{25}$$

Změna kinetické energie je rovna práci vykonané výslednicí sil, které na těleso působí.

$$\Delta E_\mathrm{k} = E_{k2} - E_{k1} = W \tag{26}$$

Potenciální energii mají tělesa nacházející se v silovém působení jiných těles. Nejvýznamnější je tíhová potenciální energie čili energie tělesa nacházejícího se v tíhovém poli Země. Pro určení tíhové potenciální energie je potřeba určit nulovou hladinu této energie, v níž je její hodnota rovna nule.

$$E_\mathrm{p} = mgh \tag{27}$$

Mechanická energie je rovna součtu kinetické a potenciální energie tělesa. V izolované soustavě je konstantní.

$$E = E_{\mathrm{k}} + E_{\mathrm{p}} = \text{konst.} \tag{28}$$

Zákon zachování energie v izolované soustavě těles říká, že nějaká forma energie se může měnit v jinou formu energie, nebo přechází z jednoho tělesa na jiné, při čemž celková energie soustavy zůstává neměnná.

Průměrný výkon je fyzikální veličina, která vyjadřuje, jak rychle se práce koná. Je tedy roven podílu práce W a času t.

$$P_{\mathrm{p}} = \frac{W}{t} \tag{29}$$

Okamžitý výkon určujeme, pokud je práce konaná nerovnoměrně. Pak se okamžitý výkon rovná podílu práce ΔW a velmi malé doby Δt.

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = Fv \tag{30}$$

To lze také vyjádřit do vztahu, kdy se okamžitý výkon rovná součinu velikosti síly F, která působí na těleso, a okamžité rychlosti tělesa v. [10]

3.2.6 Gravitační pole

Newtonův gravitační zákon říká, že každá dvě tělesa se navzájem přitahují gravitačními silami. Tyto síly mají stejnou velikost, ale opačný směr.

$$F_{\mathrm{g}} = -F_{\mathrm{g}} \tag{31}$$

Velikost gravitační síly F_{g} pak závisí přímo úměrně na součinu hmotností obou těles a nepřímo úměrně druhé mocnině jejich středové vzdálenosti r. κ se nazývá gravitační konstanta a její hodnota je $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N·m²·kg⁻².

$$F_{\mathrm{g}} = \kappa \frac{m_1 m_2}{r^2} \tag{32}$$

Gravitační zrychlení tělesa, na které působí tato gravitační síla (10), je z pohybové rovnice dáno vztahem

$$a_{\mathrm{g}} = \kappa \cdot \frac{m}{r^2}, \tag{33}$$

kde r je vzdálenost středů těles a m je hmotnost tělesa, které silou působí na druhé těleso

První kosmická rychlost v_{k} je, přezdívaná také jako kruhová rychlost, je rychlost tělesa obíhajícího kolem jiného tělesa po kružnici

$$v_{\mathrm{k}} = \sqrt{\frac{\kappa \cdot m_{\mathrm{x}}}{r}}, \tag{34}$$

kde m_{x} je hmotnost tělesa kolem kterého obíhá a r středová vzdálenost těles.

Druhá kosmická rychlost v_{p}, známá také jako úniková nebo parabolická rychlost, je rychlost, které musí těleso dosáhnout, aby se stále vzdalovalo od tělesa, v jehož působení gravitačního pole se nachází

$$v_{\mathrm{p}} = v_{\mathrm{k}}\sqrt{2} = \sqrt{\frac{2\kappa \cdot m_{\mathrm{x}}}{r}}. \tag{35}$$

První Keplerův zákon se zabývá trajektoriemi planet. Zní: *„Planety se pohybují kolem Slunce po elipsách málo odlišných od kružnic, v jejichž společném ohnisku je Slunce.“*

Jak moc se liší elipsoidní trajektorie od kružnice popisuje veličina zvaná numerická či číselná excentricita

$$\varepsilon = \frac{e}{a}, \tag{36}$$

kde e, délková excentricita, je vzdálenost ohniska od středu elipsy a a je délka hlavní poloosy.

Vzdálenost od Slunce je pak popisována hlavně ve dvou případech, a to v aféliu (odsluní) r_{a} a perihéliu (přísluní) r_{p}.

$$r_{\mathrm{p}} = 2a - r_{\mathrm{a}} \tag{37}$$

Druhý Keplerův zákon vysvětluje pohyb planet. Zní: *„Obsahy ploch opsaných průvodičem planety za jednotku času jsou konstantní.“*

Třetí Keplerův zákon se týká vztahu mezi oběžnými drahami planet a hlavními poloosami jejich trajektorií.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \tag{38}$$

. Podíl druhých mocnin oběžných dob T_1 a T_2 je roven třetím mocninám hlavních poloos jejich trajektorií a_1^3 a a_2^3. [10]

3.2.7 Pohyby v homogenním tíhovém poli Země

Jde o pohyby probíhající v těsné blízkosti zemského povrchu, a tak jsou jejich trajektorie při porovnání se Zemskými rozměry velmi malé. Na těleso působí pouze tíhová síla F_G. Základním takovýmto pohybem je volný pád, při kterém těleso padá kolmo dolů k povrchu rovnoměrně zrychleným přímočarým pohybem s nulovou počáteční rychlostí a tíhovým zrychlením g.

$$v = gt \tag{39}$$

$$s = \frac{1}{2} g t^2 \tag{40}$$

Svislý vrh vzhůru je pohyb tělesa, které se pohybuje s počáteční rychlostí v_0 svisle vzhůru, to znamená proti směru tíhového zrychlení g. Pro okamžitou rychlost v platí vztah

$$v = v_0 - gt. \tag{41}$$

Okamžitá výška y se pak získá z následujícího vztahu

$$y = v_0 - \frac{1}{2} g t^2. \tag{42}$$

Vodorovný vrh je pohyb tělesa, kterému je ve výšce h dodána počáteční rychlost v_0 ve vodorovném směru. Při zanedbání vnější vlivů jeho trajektorií je část paraboly.

Vzniká skládáním rovnoměrně přímočarého pohybu ve směru v_0 a volného pádu, který má zrychlení g.

Pro dobu letu tělesa t_d platí

$$t_{\mathrm{d}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}. \tag{43}$$

Pro délku d pak platí

$$d = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}. \tag{44}$$

Šikmý vrh vzhůru těleso koná, když je mu udělena počáteční rychlost v_0, která svírá s vodorovnou osou úhel α, zvaný elevační úhel. Stejně jako u vodorovného vrhu dochází ke skládání rovnoměrného přímočarého pohybu a volného pádu.

Pro souřadnice v libovolném místě na trajektorii v čase t platí

$$x = v_0 t \cdot \cos\alpha, \tag{45}$$

$$y = v_0 t \cdot \sin\alpha - \frac{1}{2}gt^2. \tag{46}$$

Pro dobu pohybu tělesa t_d při šikmém vrhu platí

$$t_{\mathrm{d}} = \frac{2v_0 \cdot \sin\alpha}{g}. \tag{47}$$

Délka šikmého vrhu d je pak

$$d = \frac{2v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}. \tag{48}$$

Velikost okamžité rychlosti v je

$$v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}. \tag{49}$$

Trajektorií tohoto pohybu při zanedbání okolních vlivů je parabola. [10]

3.2.8 Kmitavý pohyb na pružině

Je-li těleso zavěšeno na pružině, pak na tuto soustavu působí síla pružnosti F_p a jako obvykle tíhová síla F_G. Síla pružnosti F_p při kmitavém pohybu má vždy směr opačný ke směru výchylky oscilátoru. Je dána vztahem

$$F_{\mathrm{p}} = k\Delta y, \tag{50}$$

kde k je tuhosti pružiny a Δy je prodloužení pružiny.

Pro velikost výslednice tíhové síly a síly pružiny platí

$$F = F_{\mathrm{G}} - F_{\mathrm{p}} = -ky. \tag{51}$$

Perioda T a frekvence f jsou pak dány vztahy

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \tag{52}$$

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \tag{53}$$

Perioda T a frekvence f jsou navzájem obrácenými hodnotami. [11]

3.2.9 Archimedův zákon

Pokud ponoříme těleso do kapaliny, pak na něj působí tíhová síla F směrem ke dnu a vztlaková síla F_{vz}, která těleso nadlehčuje.

Archimedův zákon zní: *„Těleso ponořené do tekutiny je nadlehčováno vztlakovou silou, jejíž velikost se rovná tíze kapaliny stejného objemu, jako je objem ponořené části tělesa.“*

$$G = F_{\mathrm{g}} = F_{\mathrm{vz}} = mg = V\varrho_k g \tag{54}$$

kde V je objem ponořené části tělesa a ϱ_k je hustota kapaliny. [12]

3.3 Ukázka nejhůře hodnocených příkladů

Zadání a řešení příkladů i s obrázky jsou převzata z archivu zadání a řešení Fyzikálních olympiád ([13]).

V této kapitole jsou příklady vždy uvedeny jejich názvem, kterým předchází označení, o jaký příklad se jedná ve tvaru XX-Y. Dvouciferné číslo XX znamená, v jakém ročníku krajského kola kategorie D Fyzikální olympiády lze příklad dohledat. Číslice Y označuje ke kolikátému příkladu ze čtyř zadaných v každém kole se zadání vztahuje.

Příkladů zde nacházejících se je celkem šest a jedná se o ty nejhůře hodnocené, tedy ty pro soutěžící nejnáročnější. Průměrný počet získaných bodů z těchto příkladů byl nižší než 3 body na příklad. Seřazeny jsou od toho, v němž byl průměrný počet bodů z vybraných příkladů nejvyšší, po nejnižší počet průměrně získaných bodů. Tedy od toho nejsnazšího z nejtěžších po ten nejsložitější ze všech.

54-3 Dva chlapci na kolotoči

Průměrný počet získaných bodů: 2,73

Na dvojsedačce kolotoče sedí vedle sebe dva chlapci o stejné hmotnosti, Emil a Ota. Emil má poloměr otáčení svého těžiště kolem osy otáčení kolotoče r_1 = = 3,0 m, Ota r_3 = 3,6 m. Kolotoč se roztáčí rovnoměrně zrychleným pohybem z klidu tak, že po třech otáčkách v čase t_3 = 27,0 s dosáhne konečné rychlosti, od tohoto okamžiku se otáčí rovnoměrně.

a) Chlapci se dohadovali, na kterého z nich bude během rovnoměrného pohybu působit větší setrvačná odstředivá síla. Emil tvrdil: „Na mne! Podle vzorce $F = \frac{mv^2}{r}$ je velikost odstředivé síly nepřímo úměrná poloměru a já jsem přece blíže k ose otáčení.“ Ota odpověděl: „Ale podle vzorce $F = m\omega^2 r$ je odstředivá síla přímo úměrná poloměru otáčení a od osy otáčení jsem dále já. Proto větší setrvačná síla bude působit na mne!“ Kdo měl pravdu? Zdůvodněte.
b) Určete periodu T otáčení během rovnoměrného pohybu. Řešte obecně a číselně.
c) Určete doby Δt_1, Δt_2 a Δt_3 první, druhé a třetí otočky kolotoče během roztáčení. [13]

Řešení [13]

a) Vzorec, kterým byl zmíněn Emilem je mimo rozdílného poloměru r, taktéž i rozdílná obvodová rychlost v a hmotnost obou m je stejná. Díky těmto dvěma proměnným, v a r, tak nejde o nepřímou úměru. Ve vztahu, kterým Ota oponoval, zůstává hmotnost m pro oba neměnná, stejně tak i úhlová rychlost ω. Jedinou proměnou je zde tedy poloměr r, který zároveň vyjadřuje přímou úměru síly právě tomuto poloměru. A vzhledem k tomu, že Ota sedí dále od osy otáčení, má pravdu pouze on.
b) Dráha, kterou urazí libovolný bod, vzdálený r od osy otáčení, při rovnoměrně zrychleném pohybu, kdy se kolotoč otočil třikrát, vyjádřena podle (6)

$$3 \cdot 2\pi r = \frac{1}{2}at_3^2 = \frac{1}{2} \cdot vt_3.$$

Při rovnoměrném pohybu, kterým se kolotoč začne pohybovat po třech celých otočkách platí podle (9) a (12)

$$2\pi r = vT.$$

Z těchto dvou rovnic lze porovnáním získat

$$T = \frac{1}{6}t_3 = 4{,}5\ s.$$

c) Pro tentýž bod jako v úloze b) platí podle (6):

$$6\pi r = \frac{1}{2}at_3^2 \quad ; \quad 2\pi r = \frac{1}{2}a(\Delta t_1)^2$$

Z těchto rovnic po podělení vyplývá

$$\Delta t_1 = \frac{t_3}{\sqrt{3}} = 15{,}6\ \mathrm{s}$$

Velmi podobně i pro čas t_2, pro ten platí

$$t_2 = \Delta t_1 + \Delta t_2 \quad ; \quad 4\pi r = \frac{1}{2}at_2^2 \quad ; \quad 6\pi r = \frac{1}{2}at_3^2.$$

Znovu podělením druhé a třetí zmíněné rovnice získáme vyjádřené t_2

$$t_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot t_3 = 22{,}0\ s$$

Pak

$$\Delta t_2 = t_2 - \Delta t_1 = 6{,}5\ s$$

Zjištění velikosti Δt_3 je pak už velmi jednoduché

$$\Delta t_3 = t_3 - t_2 = 5{,}0\ \mathrm{s}$$

60-4 Hrátky s pukem

Průměrný počet získaných bodů: 2,58

a) Chlapci se na ledě trefovali pukem o hmotnosti m do pohybující se malé krabice s měkkou výstelkou o celkové hmotnosti $4m$ a otvorem orientovaným proti pohybu puku. Jeden chlapec poslal po ledě krabici a druhý vystřelil puk kolmo ke směru pohybu krabice. Velikost rychlosti krabice těsně před zásahem byla v_1. Po zásahu puk v krabici zůstal a soustava krabice s pukem se pohybovala ve směru odchýleném od původního směru letu samotného puku o úhel $\alpha = 20°$. Určete velikost v_2 rychlosti puku bezprostředně před zásahem krabice a velikost v rychlosti soustavy krabice s pukem bezprostředně po zásahu.

b) Puk o hmotnosti $m_1 = 160$ g vystřelený po ledě narazil při rychlosti o velikosti $v_1 = 7{,}0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ do ležícího malého dětského puku, čímž se velikost jeho rychlosti zmenšila na hodnotu $u_1 = 2{,}0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Těžiště obou puků se po celou dobu nacházelo v jedné přímce. Určete hmotnost m_2 malého puku a velikost u_2 jeho rychlosti bezprostředně po nárazu.

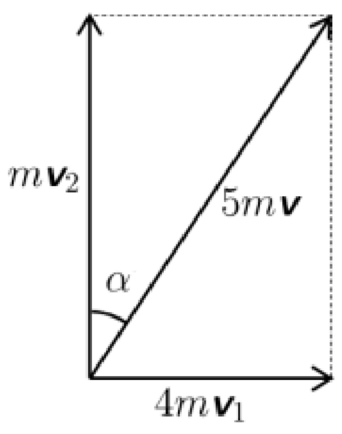
Srážku obou puků považujte za dokonale pružnou. Řešte nejprve obecně, pak pro dané hodnoty. [13]

Řešení [13]

a) Při srážce má krabice hybnost p_1 a puk hybnost p_2 (18).

$$p_1 = 4mv_1$$

$$p_2 = mv_2$$



Obr. 1 Vektorový diagram hybností [14]

Na obr. 1 vidíme vektorový diagram hybností, ze kterého plyne

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{4mv_1}{mv_2} = \frac{4v_1}{v_2}.$$

Z toho vyjádříme v_2

$$v_2 = \frac{4v_1}{\mathrm{tg}\alpha} = 11v_1.$$

Taktéž můžeme vyjádřit

$$\sin\alpha = \frac{4mv_1}{5mv} = \frac{4v_1}{5v}.$$

Z toho

$$v = \frac{4v_1}{5\sin\alpha} = 2{,}3v_1.$$

b) Jedná se o pružnou srážku, při které platí zákon zachování hybnosti a zákon zachování mechanické energie. Ze vzorců (20) a (28) dostaneme soustavu rovnic

$$m_1v_1 = m_1u_1 + m_2u_2$$

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_1u_2^2.$$

Rovnice můžeme upravit do tvaru

$$m_2u_2 = m_1(v_1 - u_1)$$

$$m_2u_2^2 = m_1(v_1^2 - u_1^2).$$

Poté druhou rovnici vydělíme první rovnicí a získáme vztah pro u_2.

$$u_2 = \frac{v_1^2 - u_1^2}{v_1 - u_1}$$

Z matematických vzorců pro mnohočleny pak víme, že $v_1^2 - u_1^2 = (v_1 - u_1) \cdot (v_1 + u_1)$, pak po vykrácení máme

$$u_2 = v_1 + u_1 = 7{,}0 + 2{,}0 = 9{,}0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}.$$

Z první uvedené rovnice v tomto řešení, pro zákon zachovaní hybnosti (20), vyjádříme neznámou m_2, značící hmotnost dětského puku.

$$m_2 = m_1 \cdot \frac{v_1 - u_1}{u_2} \cong 89\ \mathrm{g}$$

55-1 Kulička na niti

Průměrný počet získaných bodů: 2,36

Na konci niti délky l je upevněna malá kulička o hmotnosti m. Druhý konec niti vezmeme do ruky, kuličku uvedeme pohybem ruky do pohybu po kružnici ve svislé rovině a nepatrným krouživým pohybem zápěstí ji v tomto pohybu udržujeme. Poloměr kružnice, po které kulička obíhá, je tedy prakticky roven délce niti l.

a) Určete minimální velikost v_1 rychlosti v nejvyšším bodě trajektorie tak, aby nit ještě zůstala napnutá.
b) Určete velikost v_2 rychlosti, kterou bude kulička mít v nejnižším bodě trajektorie při splnění podmínky a).
c) Určete velikost F_2 síly, kterou je při splnění podmínky a) nit napínána v nejnižší poloze.
d) Určete velikost F_3 síly, kterou je nit při splnění podmínky a) napínána ve vodorovné poloze.

Řešte nejprve obecně, pak pro hodnoty $m = 0{,}14$ kg, $l = 0{,}45$ m. Odporové síly považujte za zanedbatelné. [13]

Řešení [13]

a) Aby nit byla napnutá, musí být setrvačná odstředivá síla F_s z dosazení (13) do (16) větší nebo rovna tíhové síle F_g. Vzhledem k tomu, že chtěná velikost rychlosti v_1 je minimální, pak nás zajímá rovnost těchto dvou sil.

$$F_s = F_g$$

$$\frac{mv_1^2}{l} = mg$$

Z toho lze vyjádřit v_1

$$v_1 = \sqrt{gl} = 2{,}1\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}.$$

b) Pro určení rychlosti v_2, kterou kulička bude mít v nejnižším bodě trajektorie, se využije zákon zachování mechanické energie (28).

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mg \cdot 2l = \frac{1}{2}mv_2^2$$

Z toho vyplývá

$$v_2 = \sqrt{4gl + v_1^2}$$

Z a) víme, že $v_1 = \sqrt{gl}$, pak

$$v_2 = \sqrt{5gl} = 4{,}7\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

c) Síla F_2, která napíná nit, je výslednicí setrvačné odstředivé síly a tíhové síly.

$$F_2 = mg + \frac{mv_2^2}{l}$$

Po dosazení $v_2 = \sqrt{5gl}$ získáme

$$F_2 = 5gl = 8{,}2\ N$$

d) Ve vodorovné poloze kuličky má tíhová síla F_g směr dolů čili v této poloze napnutí nitě neovlivňuje. Napnutí způsobuje pouze síla setrvačná F_3 z dosazení (13) do (16).

$$F_3 = \frac{mv_3^2}{l}$$

Rychlost v_3 zjistíme obdobně jako u v_2 ze zákona zachování mechanické energie (28).

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgl = \frac{1}{2}mv_3^2$$

Z toho

$$v_3 = \sqrt{3gl}$$

Dosazením rychlosti v_3 do vztahu pro sílu F_3 jsme schopni již získat velikost této síly.

$$F_3 = \frac{mv_3^2}{l} = \frac{3mgl}{l} = 3mg = 4{,}1\ N$$

55-4 Přistání kosmické sondy na planetce Eros

Průměrný počet získaných bodů: 2,35

Planetka Eros obíhá kolem Slunce po eliptické trajektorii s periodou T_{E} = 1,76 roku, v aféliu je její vzdálenost od Slunce r_{a} = 1,78 AU. V roce 1996 vypustila NASA sondu NEAR Schoemaker, která 14. 2. 2000 zakotvila na oběžné dráze kolem planetky a 12. 2. 2001 přistála na planetce. Kolem planetky sonda obíhala s periodou T_{N} = 6,6 pozemského dne po kruhové trajektorii s poloměrem r_{N} = 155 km. Planetka má objem přibližně jako koule o poloměru r_{E} = 8,8 km, ale nepravidelný tvar podobný bramboru. Určete

a) vzdálenost planetky Eros od Slunce v periheliu r_{p} a číselnou výstřednost ε její trajektorie,
b) hmotnost planetky M_{E} a její průměrnou hustotu
c) gravitační zrychlení a_{g} na povrchu planetky, pokud by měla tvar koule, a nejmenší startovní rychlost v sondy nutnou k opuštění planetky.

Gravitační konstanta $\kappa = 6{,}67 \cdot 10{-}11\ \mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg}^{-2}$. [13]

Řešení [13]

a) Pro zjištění vzdálenosti planetky Eros od Slunce v periheliu r_{p} a číselné výstřednosti ε její trajektorie využijeme 3. Keplerův zákon (38).

$$\frac{a^3}{a_{\mathrm{Z}}^3} = \frac{T_{\mathrm{Z}}^2}{T_{\mathrm{E}}^2}$$

Kde doba oběhu Země T_{Z} = 1 rok, délka hlavní poloosy trajektorie Země a_{Z} = 1 AU. Můžeme pak vyjádřit a.

$$a = a_{\mathrm{Z}} \sqrt[3]{\frac{T_{\mathrm{E}}^2}{T_{\mathrm{Z}}^2}} = 1{,}46\ \mathrm{AU}$$

Číselnou výstřednost trajektorie zjistíme pak podle vztahu (36).

$$\varepsilon = \frac{e}{a} = \frac{r_{\mathrm{a}} - a}{a} = 0{,}22$$

Vzdálenost planetky r_{p} podle (37) je pak

$$r_{\mathrm{p}} = 2a - r_{\mathrm{a}} = 1{,}14\ \mathrm{AU}.$$

b) Pro zjištění hmotnosti planetky Eros M_E vyjdeme ze Newtonova vztahu pro gravitační sílu F_g (32)

$$F_g = \kappa \frac{M_E m_N}{r_N^2}.$$

Gravitační síla (32) je zároveň silou dostředivou podle (13) a (12) dosazené do (16), takže

$$F_d = F_g = \kappa \frac{M_E m_N}{r_N^2} = m_N \cdot \frac{4\pi^2}{T_N^2} \cdot r_N.$$

Z toho

$$M_E = \frac{4\pi^2 r_N^3}{\kappa T_N^2} = 6{,}8 \cdot 10^{15}\ \mathrm{kg}.$$

Průměrná hustota ϱ planetky Eros je pak

$$\varrho = \frac{M_E}{\frac{4}{3}\pi r_E^3} = 2{,}4 \cdot 10^3\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}.$$

c) Pro vyjádření gravitačního zrychlení a_g (33) využijeme vztahu pro gravitační sílu (32), která by působila na těleso o hmotnosti m

$$m a_g = \kappa \frac{m M_E}{r_E^2}.$$

Pak

$$a_g = \frac{\kappa M_E}{r_E^2} = 5{,}9 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}.$$

Startovní rychlost sondy k opuštění planetky musí být parabolickou rychlostí (35)

$$v = \sqrt{\frac{2\kappa M_E}{r_E}} = 10{,}2\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

62-4 Člun na řece

Průměrný počet získaných bodů: 1,88

Řeka s rovnými rovnoběžnými břehy má šířku d = 240 m a voda teče v celém řečišti rychlostí o velikosti $v_0 = 2{,}0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Malý motorový člun je u jednoho břehu ukotven tak, že jeho podélná osa směřuje kolmo k břehu. V jednom okamžiku člun uvolníme a současně motor začne loďku uvádět do rovnoměrně zrychleného pohybu kolmo ke směru toku. Když člun dorazí do středu řeky, bude jej motor udržovat v rovnoměrně zpomaleném pohybu se zrychlením o stejné velikosti. V obrázku je v souřadnicovém systému *Oxy* pevně spojeném s břehy řeky znázorněna trajektorie člunu, tvoří ji dvě na sebe navazující shodné části paraboly.

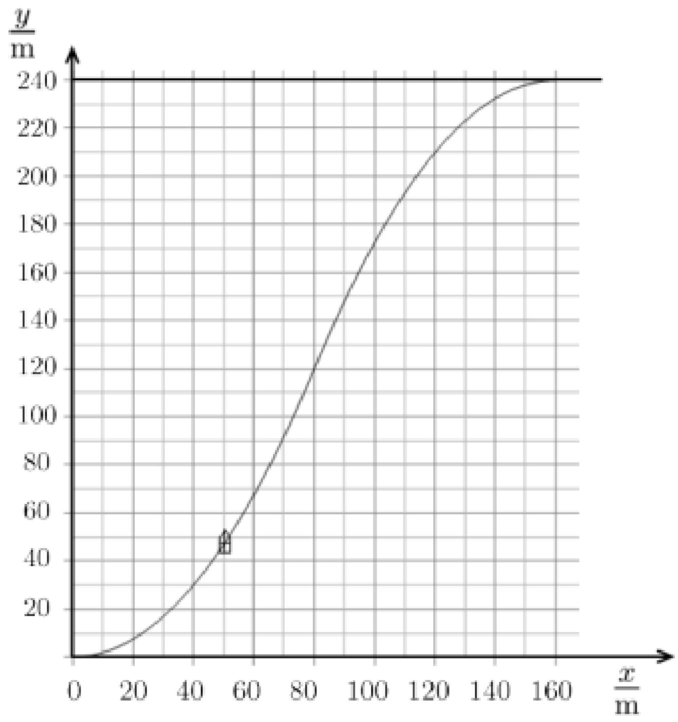
a) Určete čas t_0, ve kterém člun dopluje k protilehlému břehu.

b) Určete velikost a zrychlení člunu.

c) Určete velikost okamžité rychlosti v_1 člunu vzhledem k břehu v poloze znázorněné v obrázku (obr. 2).

d) Určete souřadnice x_2, y_2 polohy v okamžiku, kdy velikost rychlosti člunu vzhledem k břehům je $v_2 = 5{,}0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Rozměry člunu vzhledem k uvažovaným vzdálenostem zanedbejte. [13]



Obr. 2 Poloha člunu [15]

Řešení [13]

a) Z obr. 2 víme, že v ose x se člun pohyboval po délku $x_0 = 160$ m. Rychlost člunu ve směru osy x je pouze rychlost, kterou ho unáší proud vody, tedy $v_0 = 2\mathrm{ms^{-1}}$. Pro hledaný čas t_0 pak platí podle (1)

$$t_0 = \frac{x_0}{v_0} = 80\ \mathrm{s}.$$

b) Pro získání zrychlení člunu a vyjdeme ze vztahu pro dráhu rovnoměrně zrychleného pohybu (6)

$$\frac{d}{2} = \frac{1}{2} a \left(\frac{t_0}{2}\right)^2.$$

Z toho vyplývá zrychlení

$$a = \frac{4d}{t_0^2} = 0{,}15\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}.$$

d) K určení velikosti okamžité rychlosti člunu v_1, musíme znát velikosti složek rychlostí v_x a v_y. Složka rychlosti ve osy x je $v_x = v_0$. Složka rychlosti $v_y = at_1$. Jedinou neznámou je čas t_1 a pro něj platí podle (1)

$$t_1 = \frac{x_1}{v_0} = 25\ s$$

kde x_1 je x-ová souřadnice polohy člunu v čase t_1.

Nyní je již možné vypočítat velikost složky rychlosti v_y (5)

$$v_y = at_1 = 3{,}75\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}.$$

Velikost okamžité rychlosti v_1 je pak

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = 4{,}3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

e) Pro x-ovou souřadnici platí vztah (3) $x_2 = v_0 t_2$. Pro y-ovou souřadnici pak (6) $y_2 = \frac{1}{2} a t_2^2$. Je potřeba zjistit velikost času t_2. Tu zjistíme ze vztahu pro složku rychlosti v_{y2}

$$v_{y2} = \sqrt{v_2^2 - v_0^2} = 4{,}58\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}.$$

Čas t_2 pak je podle (4)

$$t_2 = \frac{v_{y2}}{a} = 30{,}5\ \mathrm{s}.$$

Již lze zjistit souřadnice podle (3) a (6)

$$x_2 = v_0 t_2 = 61 \text{ m},$$

$$y_2 = \frac{1}{2} a t_2^2 = 70 \text{ m}.$$

Dalšími správnými souřadnicemi pak jsou souřadnice, kterých člun dosáhne v druhé polovině trajektorie, kdy se pohybuje rovnoměrně zpomaleným pohybem.

$$x_2' = (x_{\max} - x_2) = (160 - 61) \text{ m} = 99 \text{ m},$$

$$y_2' = (y_{\max} - y_2) = (240 - 70) \text{ m} = 170 \text{ m}.$$

61-4 Miska na pružině

Průměrný počet získaných bodů: 1,28

Na svislé pružině o zanedbatelné hmotnosti je zavěšena miska. Když pružinu natáhneme o malou délku a pustíme, začne soustava kmitat s periodou T_1. Když na misku vložíme závaží o hmotnosti m_1, kmitá soustava s periodou $T_2, T_2 > T_1$.

a) Stanovte hmotnost m misky.
b) O jakou délku y můžeme pružinu, na jejíž misce je závaží o hmotnosti m_1, natáhnout, aby při kmitání soustavy závaží na misce nenadskakovalo?
c) Když je na misce závaží o hmotnosti m_1, zaujme miska určitou rovnovážnou polohu. O jakou délku Δy se tato poloha posune, když závaží o hmotnosti m_1 nahradíme závažím o hmotnosti m_2?
d) Vysvětlete, jak se soustava, které se úloha týká, dá použít k měření hmotnosti těles, když máme k dispozici jen stopky a závaží o známé hmotnosti m_1. [13]

Řešení [13]

a) Samostatná pružina s miskou bez závaží kmitá s periodou T_1. Miska se závažím na pružině pak kmitá s periodou T_2. Obě podle vztahu (52).

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{m + m_1}{k}}$$

kde konstanta k, nazvaná tuhost pružiny, popisuje pružinu. Z těchto rovnic po vydělení jedné druhou a dalších úpravách lze vyjádřit hmotnost misky m.

$$m = m_1 \frac{T_1^2}{T_2^2 - T_1^2}$$

b) Aby závaží neodskakovalo od povrchu misky, musí se splnit podmínka, že zrychlení harmonického pohybu je rovno nebo menší tíhovému zrychlení $|a| \leq g$. Zrychlení harmonického pohybu lze zjistit ze vztahu podle (13) a (12)

$$|a| = \omega^2 y = \frac{4\pi^2}{T_2^2} y.$$

Z toho y

$$y = \frac{|a| \cdot T_2^2}{4\pi^2}.$$

Splněním podmínky $|a| \leq g$, pro y platí

$$y \leq \frac{gT_2^2}{4\pi^2}.$$

c) Na pružinu s miskou a závažím, které má hmotnosti m_1, působí síla $F_1 = (m + m_1)g$ podle (16). Když na misce bude závaží o hmotnosti m_2, pak na pružinu působí síla $F_2 = (m + m_2)g$. Předmětem zájmu v tomto případě je rozdíl těchto sil (50)

$$\Delta F = |F_2 - F_1| = |m_2 - m_1|g = k\Delta y.$$

Do vztahu z a) pro hmotnost m dosadíme za T_1 v čitateli $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ (52) a vyjádříme k

$$k = \frac{4\pi^2 m_1}{T_2^2 - T_1^2}.$$

Pak pro Δy platí

$$\Delta y = \frac{|m_2 - m_1|g(T_2^2 - T_1^2)}{4\pi^2 m_1}.$$

d) Známe periodu pohybu, kdy na pružině je pouze miska T_1, periodu misky s nám známým závažím T_2, perioda se závažím o m_x je pak T_x. Všechny periody podle vztahu (52) jsou

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},\quad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m + m_1}{k}},\quad T_x = 2\pi\sqrt{\frac{m + m_x}{k}}.$$

Třetí rovnici umocníme a podělíme umocněnou první rovnicí

$$\frac{T_x^2}{T_1^2} = \frac{m + m_x}{m}.$$

Vyjádříme hmotnost *m*

$$m = m_x \frac{T_1^2}{T_x^2 - T_1^2}.$$

Hmotnost *m* máme již z předchozích úkolů vyjádřenou i z prvních dvou rovnic

$$m = m_1 \frac{T_1^2}{T_2^2 - T_1^2}.$$

Obě tyto rovnice jsou vyjádřením hmotnosti *m*, takže musí být sobě rovny

$$m_x \frac{T_1^2}{T_x^2 - T_1^2} = m_1 \frac{T_1^2}{T_2^2 - T_1^2}.$$

Z toho dostaneme

$$m_x = m_1 \frac{T_x^2 - T_1^2}{T_2^2 - T_1^2}.$$

Pro zjištění neznáme hmotnosti m_x nám stačí znát hmotnost závaží m_1, periodu kmitání pouze misky T_1, periodu kmitání misky se závažím T_1 a periodu misky s neznámě hmotným závažím T_x. Není třeba znát tuhost pružiny, ani hmotnost misky.

Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo zanalyzovat a utvořit statistiku příkladů z mechaniky ve fyzikálních olympiádách. Bylo pro každou kategorii využito deset dohledatelných konaných kol. Dále bylo popsáno v procentuálních hodnotách přehledně rozřazených do tabulek, jakým podoborům se jednotlivé kategorie věnovaly a kolik příkladů mechaniky se v jednotlivých kategoriích vyskytovalo. Detailněji pak byly zanalyzovány příklady krajských kol kategorie D, protože výskyt mechaniky v těchto příkladech byl stoprocentní, zároveň byla vybrána krajská kola z toho důvodu, že podmínky pro všechny soutěžící jsou stejné.

V první kapitole byla představena fyzikální olympiáda jako taková a byly představeny další fyzikální soutěže.

Druhá kapitola se věnovala analýzám jednotlivých kol Fyzikální olympiády a veškeré statistiky byly přehledně viditelné v tabulkách.

Ve třetí kapitole došlo k doplňující analýze výsledků účastníků krajských kol kategorie D za účelem rozeznání složitosti příkladů a určení obtížnosti příkladů. Následně byla představena teorie, která byla nejčastěji potřeba ke správnému řešení příkladu. Tato kapitola také obsahuje šest nejtěžší příkladů, které byly zvoleny na základě průměrného bodového zisku jednotlivých účastníků. Tyto příklady jsou v práci představeny včetně oficiálního zadání a následně řešeny.

Seznam zdrojů

[1] *FYZIKÁLNÍ OLYMPIÁDA: Co je Fyzikální olympiáda* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: http://fyzikalniolympiada.cz/co-je-fo

[2] *FYZIKÁLNÍ OLYMPIÁDA: Organizační řád FO* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: http://fyzikalniolympiada.cz/dokumenty/organizacni-rad-fo.pdf

[3] *ASTRONOMICKÁ OLYMPIÁDA: Co je Astronomická olympiáda* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: https://olympiada.astro.cz/co_je_ao.html

[4] *FYKOS: Co je to FYKOS* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: https://fykos.cz/o-nas/co-je-fykos

[5] *VÝFUK: Kdo jsme a co děláme aneb krátká historie Výfuku* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: https://vyfuk.mff.cuni.cz/o_vyfuku/historie

[6] HOLUBOVÁ, Renata. *Fermiho úlohy* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: https://fyzweb.cz/materialy/vlachovice/2011/prispevky/005-holubova-prispevek.pdf

[7] *FYZIKLÁNÍ: O čem je fyziklání* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: https://fyziklani.cz/o-soutezi

[8] *FYZIKLÁNÍ: Jak soutěž vznikla?* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: https://fyziklani.cz/history

[9] PANOŠ, Stanislav. *Pravidla soutěže Turnaj mladých fyziků* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: https://tmf.fzu.cz/34/pdf/pravidla.pdf

[10] BEDNAŘÍK, Milan a Miroslava ŠIROKÁ. *Fyzika pro gymnázia*. 4. vyd. Praha: Prometheus, 2009. ISBN 978-80-7196-382-0.

[11] REICHL, Jaroslav. *Encyklopedie fyziky: Kmitání způsobené silou pružnosti* [online]. [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: http://fyzika.jreichl.com/index.php/main.article/view/182-kmitani-zpusobene-silou-pruznosti

[12] REICHL, Jaroslav. *Encyklopedie fyziky: Vztlaková síla v tekutinách* [online]. [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/118-vztlakova-sila-v-tekutinach

[13] *FYZIKÁLNÍ OLYMPIÁDA: Archiv zadání a řešení* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/zadani-a-reseni

Obr. 1:

[14] JÍRŮ, J. Vektorový diagram hybností. In: *FYZIKÁLNÍ OLYMPIÁDA: Archiv zadání a řešení* [online]. [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/60/fo60d2_r.pdf

Obr. 2:

[15] JÍRŮ, J. Poloha člunu. In: *FYZIKÁLNÍ OLYMPIÁDA: Archiv zadání a řešení* [online]. [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/62/fo62d2_z.pdf