



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
У НИШУ



Ивана М. Круљ

**КОНСТРУКТИВИСТИЧКИ ПРИСТУП
ОБРАДИ БЕСТЕЖИНСКОГ СТАЊА У
НАСТАВИ ФИЗИКЕ У ОСНОВНОЈ И
СРЕДЊОЈ ШКОЛИ И ПОДСТИЦАЈ
РАЗВОЈА КРЕАТИВНОГ МИШЉЕЊА
УЧЕНИКА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ниш, 2024.



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF SCIENCES AND MATHEMATICS



Ivana M. Krulj

**A CONSTRUCTIVIST APPROACH IN
PHYSICS TEACHING ABOUT
WEIGHTLESSNESS IN ELEMENTARY AND
HIGH SCHOOLS AND ENCOURAGING THE
DEVELOPMENT OF STUDENTS'
CREATIVE THINKING**

DOCTORAL DISSERTATION

Niš, 2024.

Подаци о докторској дисертацији

Ментор:	Проф. др Љубиша Нешић, редовни професор, Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет
Наслов:	Конструктивистички приступ обради бестежинског стања у настави физике у основној и средњој школи и подстицај развоја креативног мишљења ученика
Резиме:	<p>Значај наставе физике, поред осталог, огледа се и у њеном потенцијалу за развој критичког мишљења ученика. Адекватан избор метода наставе физике може допринети развоју критичког и креативног мишљења ученика. Програме наставе физике треба иновирати тако да физику учине атрактивнијим наставним предметом, посебно имајући у виду недовољно интересовање ученика за студије физике.</p> <p>У дисертацији</p> <ol style="list-style-type: none">1. Представљене су основе конструктивизма и креативности;2. Дат је преглед и анализа демонстрационих експеримената о бестежинском стању у литератури;3. Описани су иновативни демонстрациони експерименти у оквиру којих се демонстрира:<ul style="list-style-type: none">• одсуство хидростатичког притиска и силе потиска у бестежинском стању;• Присуство електромагнетних сила (сила еластичности и магнетна сила) у бестежинском стању.4. Представљени су резултати истраживања о подстицају развоја креативности ученика када се бестежинско стање обрађује применом иновативних демонстрационих експеримената.
Научна област:	Физичке науке
Научна дисциплина:	Методика наставе физике
Кључне речи:	Демонстрациони експерименти, Бестежинско стање, Конструктивизам, Креативност
УДК:	371.3::531.5(043.3) 371.016:531.5:376-056.43(075.2)(043.3) 371.016:531.5:376-056.43(075.3)(043.3)
CERIF класификација:	P 002 Физика S 270 Педагогија и дидактика S 272 Образовање предавача

Тип лиценце
Креативне
заједнице:

Одабрани тип лиценце. Нпр: **CC BY-NC-ND**

Data on Doctoral Dissertation

Doctoral Supervisor:	Prof. dr Ljubiša Nešić, Full Professor, University of Niš, Faculty Sciences and Mathematics
Title:	A constructivist approach in physics teaching about weightlessness in elementary and high schools and encouraging the development of students' creative thinking
Abstract:	<p>The significance of physics education is reflected, among other aspects, in its potential to develop students' critical thinking skills. An appropriate selection of teaching methods in physics can contribute to the enhancement of both critical and creative thinking among students. Physics curricula should be innovated to render physics a more attractive subject, particularly given the insufficient student interest in pursuing studies in physics.</p> <p>In the dissertation:</p> <ol style="list-style-type: none">1. The foundational research related to constructivism and creativity is established;2. A review and analysis of demonstration experiments on weightlessness found in the literature is provided;3. Innovative demonstration experiments are described, showcasing:<ul style="list-style-type: none">• The absence of hydrostatic pressure and buoyant force in conditions of weightlessness;• The presence of electromagnetic forces (elastic force and magnetic force) in weightless conditions.4. Research results are presented on the encouragement of creativity development in students when weightlessness is taught through innovative demonstration experiments.
Scientific Field:	Physics
Scientific Discipline:	Physics Education Research
Key Words:	Demonstration experiments, Weightlessness, Constructivism, Creativity
UDC:	371.3::531.5(043.3) 371.016:531.5:376-056.43(075.2)(043.3) 371.016:531.5:376-056.43(075.3)(043.3)
CERIF Classification:	P190 Mathematical and general theoretical physics, classical mechanics, quantum mechanics, relativity, gravitation, statistical physics, thermodynamics S270 Pedagogy and didactics S272 Teacher education

Creative
Commons
License Type:

CC BY-NC-ND



**ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
НИШ**

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	монографска
Тип записа, ТЗ:	текстуални / графички
Врста рада, ВР:	докторска дисертација
Аутор, АУ:	Ивана М. Круљ
Ментор, МН:	Љубиша Нешић
Наслов рада, НР:	Конструктивистички приступ обради бестежинског стања у настави физике у основној и средњој школи и подстицај развоја креативног мишљења ученика
Језик публикације, ЈП:	Српски
Језик извода, ЈИ:	Енглески
Земља публиковања, ЗП:	Србија
Уже географско подручје, УГП:	Србија
Година, ГО:	2024.
Издавач, ИЗ:	ауторски репринт
Место и адреса, МА:	Ниш, Вишеградска 33.
Физички опис рада, ФО: <small>(поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)</small>	8 поглавља, 208 страна, 255 цитат, 11 табела, 52 слике, 13 прилога
Научна област, НО:	Физичке науке
Научна дисциплина, НД:	Методика наставе физике
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	демонстрациони експерименти, бестежинско стање, конструктивизам, креативност
УДК	371.3::531.5(043.3) 371.016:531.5:376-056.43(075.2)(043.3) 371.016:531.5:376-056.43(075.3)(043.3)
Чува се, ЧУ:	Библиотека
Важна напомена, ВН:	/

Извод, ИЗ:	<p>Значај наставе физике, поред осталог, огледа се и у њеном потенцијалу за развој критичког мишљења ученика. Адекватан избор метода наставе физике може допринети развоју критичког и креативног мишљења ученика. Програме наставе физике треба иновирати тако да физику учине атрактивнијим наставним предметом, посебно имајући у виду недовољно интересовање ученика за студије физике.</p> <p>У дисертацији</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Представљене су основе конструктивизма и креативности; 2. Дат је преглед и анализа демонстрационих експеримената о бестежинском стању у литератури; 3. Описани су иновативни демонстрациони експерименти у оквиру којих се демонстрира: <ul style="list-style-type: none"> • одсуство хидростатичког притиска и силе потиска у бестежинском стању, • присуство електромагнетних сила (сила еластичности и магнетна сила) у бестежинском стању; 4. Представљени су резултати истраживања о подстицају развоја креативности ученика када се бестежинско стање обрађује применом иновативних демонстрационих експеримената.
Датум прихватања теме, ДП:	27.5.2024.
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	Председник:
	Члан:
	Члан:
	Члан:
	Члан, ментор:

Образац Q4.09.13 - Издање 1



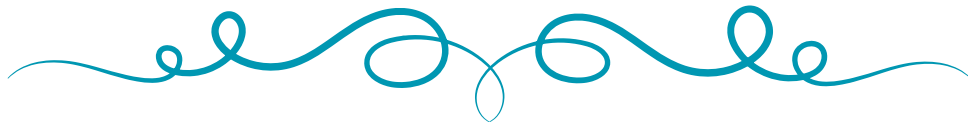
**ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
НИШ**

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	monograph
Type of record, TR :	textual / graphic
Contents code, CC :	doctoral dissertation
Author, AU :	Ivana M. Krulj
Mentor, MN :	Ljubiša Nešić
Title, TI :	A constructivist approach in physics teaching about weightlessness in elementary and high schools and encouraging the development of students' creative thinking
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	English
Country of publication, CP :	Serbia
Locality of publication, LP :	Serbia
Publication year, PY :	2024.
Publisher, PB :	author's reprint
Publication place, PP :	Niš, Višegradska 33.
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	8 chapters, 208 pages, 255 references, 11 tables, 52 figures, 13 appendixes
Scientific field, SF :	Physics
Scientific discipline, SD :	Physics education research
Subject/Key words, S/KW :	Demonstration experiments, Weightlessness, Constructivism, Creativity
UC	371.3::531.5(043.3) 371.016:531.5:376-056.43(075.2)(043.3) 371.016:531.5:376-056.43(075.3)(043.3)
Holding data, HD :	library
Note, N :	/

Abstract, AB :	<p>The significance of physics education is reflected, among other aspects, in its potential to develop students' critical thinking skills. An appropriate selection of teaching methods in physics can contribute to the enhancement of both critical and creative thinking among students. Physics curricula should be innovated to render physics a more attractive subject, particularly given the insufficient student interest in pursuing studies in physics.</p> <p>In the dissertation:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The foundational research related to constructivism and creativity is established; 2. A review and analysis of demonstration experiments on weightlessness found in the literature is provided; 3. Innovative demonstration experiments are described, showcasing: <ul style="list-style-type: none"> • The absence of hydrostatic pressure and buoyant force in conditions of weightlessness; • The presence of electromagnetic forces (elastic force and magnetic force) in weightless conditions. 4. Research results are presented on the encouragement of creativity development in students when weightlessness is taught through innovative demonstration experiments. 										
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	27.5.2024.										
Defended on, DE :											
Defended Board, DB :	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; padding: 2px;">President:</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Member:</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Member:</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Member:</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Member, Mentor:</td> <td style="border: none;"></td> </tr> </table>	President:		Member:		Member:		Member:		Member, Mentor:	
President:											
Member:											
Member:											
Member:											
Member, Mentor:											

Образац Q4.09.13 - Издање 1



Уз све реченице, илустрације и табеле..... у овој дисертацији налази се једна велика захвалност, израстала из подршке свих особа којима је даље упућујем.

Захваљујем

- ментору професору др Љубиши Нешићу, због улоге коју има у креирању амбијента за наставу физике у образовном систему Републике Србије - Доприносећи квалитету наставе физике мотивисали сте ме да заживим истом идејом. Почаствована сам временом посвећеним теми моје дисертације, протканим саветима, стрпљењем и дискусијама еквивалентним светионицима;*
- Члановима комисије за оцену и одбрану дисертације, на времену, сугестијама и свеукупној посвећености;*
- Паганинију у свету едукацијске физике, професору др Јосипу Слишку, за често обнављану веру у успех, праћену музиком;*
- Александри Станковић, сараднику за студије и студентска питања, на стрпљењу и свим помоћима које су биле више од драгоцености;*
- колегама које су, упркос преобимним програмима наставе физике и преобимним обавезама у школама у којима раде, пронашле пут да моје истраживање буде остварено;*
- Пријатељима, за број речи подршке који надмашује број речи у овој дисертацији;*
- Родитељима, за ставове иза којих је увек и искључиво стајала родитељска љубав;*
- Урошу Богдану, мом сину, који је године на изради ове дисертације учинио најлепшом могућом сценом живота;*
- Др Влади Круљу, мом супругу, за стрпљење које је показао и онда када неке експерименте није требало понављати;*
- Урошу и Влади, за креативности које инспиришу.*



Садржај

1. Увод.....	1
2. Теоријске основе истраживања – Конструктивизам	5
2.1. Правци у филозофији природних наука и теорије учења	5
2.2. Конструктивизам и његов значај за наставу физике.....	14
2.2.1. Стратегије и методе конструктивистичког приступа	15
2.2.2. Значај конструктивизма за наставу физике	17
2.2.3. Критика конструктивистичког приступа.....	20
2. 4. Теорије креативног мишљења; Развој креативности у настави физике.....	22
2. 3. 1. Резултати анкетања наставника о стимулсању развоја креативности у настави физике	32
3. Теоријске основе истраживања – Демонстрациони експерименти о бестежинском стању	38
3.1. Конфузија око концепата тежине и бестежинског стања.....	38
3.1.1. Тежина тела	40
3.1.2 Бестежинско стање.....	47
3.2. Демонстрациони експерименти о бестежинском стању у програмима наставе физике у основним и средњим школама у Србији	54
3.2.1. Демонстрациони експерименти бестежинског стања у настави физике у основној и средњој школи према програмима наставе и учења	55
3.2.2. Демонстрациони експерименти бестежинског стања у садржајима уџбеника за основну и средњу школу у Србији	66
3.3. Демонстрациони експерименти о бестежинском стању у настави и усвојени програм наставе физике у контексту бестежинског стања.....	75
3.3.1. Имплементација демонстрационих експеримента бестежинског стања у школама у Србији	75
3.3.2. Усвојени програм наставе физике по питању разумевања бестежинског стања	79
3.4. Преглед литературе о демонстрационим експериментима о бестежинском стању.....	86
4. Иновативни демонстрациони експерименти о бестежинском стању	106
4.1. Одсуство хидростатичког притиска у бестежинском стању живе.....	107
4.2. Одсуство хидростатичког притиска и силе потиска у бестежинском стању, демонстрација помоћу мехура ваздуха	114
4.4. Одсуство силе потиска у бестежинском стању, демонстрација магнетним деловањем.	117

4.4. Клатно у бестежинском стању – дигитални експерименти	120
4.5. Еластична опруга у бестежинском стању – дигитални експеримент	130
4.6. Осцилаторно кретање у бестежинском стању	134
5. Методологија истраживања	138
5.1. Предмет истраживања	138
5.2. Циљ и задаци истраживања.....	138
5.3. Хипотезе истраживања	139
5.4. Методе анализе.....	140
5.5. Технике и инструменти истраживања	141
5.6. Узорак истраживања	147
5.7. Организација и ток истраживања	147
6. Резултати истраживања и дискусија резултата истраживања.....	152
6.1. Примери одговора ученика	158
6.2. Ограничења истраживања и препоруке за будућа истраживања	161
6.3.1. Препоруке за унапређење наставе.....	163
7. Закључак и правци даљих истраживања.....	165
8. Прилози	168
Литература.....	189
Биографија.....	206

Глава 1.

Увод

Креативно мишљење је кључна компонента критичког мишљења и решавања проблема у свим аспектима живота. У образовном систему у коме се све више наглашава значај науке, технологије, инжењерства, математике и уметности, способност да се мисли изван уобичајених оквира постаје веома важна. Интеграција подстицаја креативности у наставу физике је вишедимензионални подухват. Креативност се не односи само на подстицање нових идеја, већ и на развој способности за критичко размишљање, решавање проблема и примену знања на иновативне начине [1].

Демонстрациони експерименти о бестежинском стању у настави физике представљају фасцинантну основу за учење и развој креативности. Због своје једноставности омогућавају ученицима да директно учествују у истраживањима, и да кроз практично искуство разумеју комплексне концепте. Бестежинско стање као тема пружа ученицима прилику да размишљају о феноменима који се разликују од њиховог свакодневног искуства у гравитационом пољу, да постављају питања, да истражују и да маштају, јер следећи Ајнштајново уверење машта важнија од знања [2].

Конструктивистички приступ се сматра погодним за подстицање креативности у настави физике, јер промовише активно учење, решавање проблема и повезивање теорије са праксом. Овим приступом ученици углавном бивају подстакнути да истражују физичке концепте кроз експерименте [3, 4].

Полазећи од чињенице да програми наставе физике у основној и средњим школама наглашавају улогу демонстрационих експеримената, а посебно осмишљавање експеримената од стране ученика, аутор је истраживање конципирао тако да ти аспекти буду укључени у наставу физике [5-7].

Увод

Истраживање је спроведено у два одељења седмог разреда основне школе и два одељења првог разреда средње школе кроз неколико часова физике. Предмет истраживања била су два различита наставна приступа у обради теме бестежинског стања. Први приступ је традиционалан и произлази из програма наставе физике у основним и средњим школама. Други приступ је конструктивистички и укључује секвенце часова креиране по методу *Предвиди-Посматрај-Објасни*, са демонстрацијом иновативних демонстрационих експеримената.

Истраживање је усмерено на утицај поменутих приступа на развој креативног мишљења код ученика. Акцент је стављен на анализу доприноса иновативних демонстрационих експеримената креативним предлозима ученика у дизајнирању њихових експеримената о бестежинском стању.

Основна хипотеза истраживања била је: Конструктивистички приступ теми бестежинског стања подстиче креативност ученика.

Иако су претходна истраживања развила и тестирала различите инструменте за процену научне креативности, ниједно од њих није истражило специфичан контекст бестежинског стања као потенцијално инспиративан за развој креативних идеја. Досадашња истраживања, као што је приказано код Хуа и Адеја, фокусирали су се на различите аспекте научне креативности, укључујући дивергентно мишљење, способност решавања научних проблема и оригиналност одговора. Тестови развијени на основу Scientific Creativity Structure Model-а показали су се ефикасним у оцењивању ученика средњих школа кроз задатке физике, биологије и математике [8]. Међутим, ниједан од ових тестова није утврдио како концепт бестежинског стања, пре свега када се њему приступа конструктивистички може подстаћи ученике да размишљају креативно.

У инструменту који је коришћен за процену креативности у овом истраживању, објективност је обезбеђена кроз јасно дефинисане параметре за сваку од четири димензије креативности: оригиналност, иновативност, применљивост и детаљност. Да би се проверила међуоцењивачка поузданост спроведена је Коенова к анализа [9] на подацима добијеним од два оцењивача за све четири димензије креативности у одговорима сваког ученика из изабраног узорка.

У сврху статистичке анализе података коришћени су Шапиро – Вилк и Крускал-Валис тестови [10, 11]. Резултати су показали да су ученици у експерименталној групи седмог разреда у одговорима имали већу оригиналност ($\chi^2(1) = 14,057$, $p < 0,001$), детаљност ($\chi^2(1) = 7,245$, $p = 0,007$) и иновативност ($\chi^2(1) = 8,073$, $p = 0,004$) у поређењу са ученицима у контролној групи. Резултати су показали и то да интервенција није утицала на оригиналност ($\chi^2(1) = 0,779$, $p = 0,378$) и детаљност ($\chi^2(1) = 0,206$, $p = 0,650$) ученика првог разреда. За иновативност и применљивост испоставило се да постоји статистичка разлика између контролне и експерименталне групе. Генерално, резултати су показали да конструктивистички приступ може имати различите ефекте на различите аспекте креативности у зависности од узраста ученика и специфичних услова наставе.

Када је реч о структури ове дисертације, она је следећа - Након уводног дела, теоријске основе истраживања постављене су преко друге и треће главе - *Теоријских основа истраживања – Конструктивизам* и *Теоријских основа истраживања – Демонстрациони експерименти о бестежинском стању*. У оквиру друге главе представљене су предности и недостаци конструктивизма а пажња је посвећена и теоријама креативног мишљења и ставовима групе наставника о подстицају креативности у настави физике. У оквиру треће главе представљени су резултати истраживања о концептима тежине и бестежинског стања у релевантној литератури као и одговори групе наставника о приступима у обради овог концепта. Четврта глава је посвећена иновативним демонстрационим експериментима о бестежинском стању. Она само по себи, представља највећи допринос ове дисертације јер суштински чини приручник за наставнике чија је интенција унапређење наставе коју реализују. У овој глави је представљено шест нових експеримента. Аутор је, у часопису *The Physics Teacher*, публиковао радове који се односе на три демонстрациона експеримента [12-14], којима се показује да у бестежинском стању нема хидростатичког притиска, да престаје да делује сила потиска, као и да притисак ваздуха једнако постоји као и у стационарном стању и да магнетене силе делују независно од тога у ком стању је систем — стационарном или бестежинском.

У петој глави описана је методологија истраживања, док су у шестој глави представљени и критички дискутовани резултати истраживања, и наведене су

Увод

могућности даљих истраживања на теме блиске теми овог рада. На крају је дат закључак, постављени су прилози и наведена је коришћена литература.

Глава 2.

Теоријске основе истраживања – Конструктивизам

2.1. Правци у филозофији природних наука и теорије учења

Правци у филозофији природних наука и теорије учења представљају две различите, али често одређеним елементима и подударне области истраживања. Филозофија природних наука продире у основна питања и методологију природних наука, тежећи да објасни природу и обим научног знања и валидност научног резоновања. Теорије учења се баве процесима кроз које се стичу знања и вештине.

Од античких времена до данас, различити филозофски правци утицали су на развој и интерпретацију научног знања. Од емпиризма у раној модерни до методологија савременог доба, опсервација, експериментисање и теоријско моделовање заузели су најзначајнију улогу у научним истраживањима.

Емпиризам је био заснован на идеји да је искуство, посредством чула и опсервације, основни извор сваког знања. Џон Лок је елаборирао тезу да је људски ум у почетним фазама живота сличан табули рази, чију структуру и садржај формирају накнадна искуства. Дејвид Хјум је продубио ову идеју критичким преиспитивањем природе људског знања и веза између узрока и последице [15, 16]

Рационализам је постављао разум у средиште стицања знања. За разлику од емпиризма, према коме је знање засновано на подацима добијеним путем чула, рационализам упућује да се оно не исцрпљује искључиво чулним искуством. Рене

Декарт је, у делу *Meditationes de prima philosophia*¹, изложио идеју о непобитним истинама које разум може достићи без помоћи чула. Декартова позната изрека „Cogito, ergo sum“ илуструје централну идеју рационализма [17]. Готфрид Вилхелм Лајбниц је развио концепт монадологије² и универзалног калкулуса³. Он је наглашавао да је наш ум у стању да достигне знање о свету кроз априорне принципе [18].

Рационализам је утицао на формулацију и развој научних закона и теорија које теже да објасне природне појаве кроз логичке и математичке принципе. Идеја да постоје општи закони који важе за све у природи, и без директног посматрања, произилази из размишљања које више вреднује разум него искуство. Упркос утицају на развој науке, рационализам је био суочен са критикама. Отуда тежња савремених погледа ка синтези рационализма и емпиризма, којом се признају важност и разума и искуства у научном истраживању.

Имануел Кант је увео револуционарни приступ у питање људског знања, настојећи да помири супротстављене филозофске ставове рационализма и емпиризма. Кант је сматрао да је знање резултат интеракције чула и разума. У свом делу *Критика чистог ума* [19], увео је појам синтетичких судова *a priori* — судова чија истинитост не зависи од искуства, али који, ипак, проширују наше знање о свету. Према Канту, неки математички и физички принципи, попут принципа каузалности, су синтетички судови *a priori*, јер су нужни за размишљање и разумевање света, а не потичу директно из искуства. Кант дели процес спознаје на две основне компоненте — чулност и разум. Априорне форме чулности су *простор и време*, које служе као оквири кроз које организују подаци добијени чулима и структурирају опажаји на начин који омогућава оријентацију у простору и времену. Разум, са својим урођеним категоријама, попут узрочности, јединства, множине и супстанције, даје смисао и логичку структуру опажајима. Поменуте категорије су априорне јер претходе искуству и омогућавају да

¹ Медитације о првој филозофији

² Монадологија је филозофски концепт у чијем центру су монаде, основне јединице реалности које су недељиве, непропусне и динамичне. Лајбниц сматра да је свака монада затворена јединица која садржи у себи одраз целокупног универзума и да функционише према сопственим принципима.

³ Универзални калкулус представља облик логичког система који има за циљ да формализује правила рачунања и дедукције у свим областима знања.

подаци из добијени посредством чула добију смисао у облику формулације универзалних закона природе. Кантова теорија утврђује границе научног знања – наука се може бавити само феноменима односно оним што је доступно унутар људских чула и категорија разума, док питања која се односе на метафизику остају изван домашаја научног сазнања јер се не могу доказати нити оповргнути искуством.

Позитивизам, чији је утемељивач Огист Конт, заснован је на принципу да аутентично знање произилази искључиво из емпиријских података и научних метода, те да је само такво знање објективно и проверљиво. Према позитивизму, метафизичке и апстрактне концепте треба одбацити као непроверљиве и ирелевантне за научно истраживање. У складу с тим приступом, филозофија би требало да се фокусира на анализу и систематизацију чињеница које се могу директно посматрати и искуствено проверити [20].

Логички позитивизам⁴ је проширио основне принципе позитивизма применом логичке анализе и језика на научне теорије. Овај филозофски правац настојао је да успостави проверљив критеријум значења кроз употребу логичког и математичког језика, чиме би била омогућена прецизна и јасна артикулација научних концепата. Очекивања логичких позитивиста да ће таква артикулација бити у потпуности остварена, се није остварило јер се испоставило да многи научни концепти садрже елементе који се не могу свести на чисто логичке и емпиријске изразе [21, 22].

Емпиризам и позитивизам су довели до метода које обухватају емпиријску проверу и логичку конзистентност. Иако се њихови приступи разликују, оба правца су допринела критичком приступу у стицању и примени знања при истраживању природних феномена.

Од емпиризма до савременог доба, у филозофији природних наука испољавала се све већа сложеност научног истраживања и непрекидна тежња да се природни свет разуме. Карл Попер, оснивач критичког рационализма, изнео је идеју фалсификабилности као критеријума научности, прецизирајући да се научном може сматрати само она хипотеза која је подложна емпиријском оповргавању. Поперов

⁴ Логички позитивизам је развијен у XX веку од стране Бечког круга; истакнути представник је Рудолф Карнап

критеријум демаркације, дакле, сугерише да научне теорије треба стално излагати ригорозним тестовима који би могли да их оборе, чиме се научна сазнања динамично развијају. По овом приступу, одбацавање непотврђених хипотеза сматра се суштинским делом процеса истраживања, јер води ка прецизнијем разумевању света и усавршавању научних теорија [23].

Према конструктивном емпиризму, основни циљ науке није пружање истинитих теорија о стварности, већ теорија које су у складу са посматрањима. По ван Фрасену, научне теорије не морају нужно да одражавају стварност на дубљем нивоу, већ само да прецизно предвиђају и објашњавају емпиријске феномене. С друге стране, Ненси Картрајт заступа сложенији облик научног реализма, који се често назива „прагматичним“. Њена критика традиционалног научног реализма односи се на идеју да закони физике и других природних наука не описују увек директно како свет функционише у свим околностима [24, 25].

Програмска филозофија науке се бави питањима о томе како научни програми, који се састоје од низа повезаних истраживања и теорија, воде еволуцији научног знања. Концепт научних истраживачких програма Имреа Лакатоша укључује постојање језгра тврдих принципа заштићених појасом ауксилијарних (помоћних) хипотеза. Лакатошева идеја је да научни програми напредују кроз прогресивне промене у „појасу“, док се тврдо језгро штити од оповргавања до крајњих граница [26]. Иако није директно повезан са програмском филозофијом науке, Кунов концепт научних парадигми доприноси разумевању програмских промена у науци. Он је заступао идеју да наука напредује кроз прелазе између различитих парадигми – скупова основних претпоставки, метода и стандарда прихваћених у датом тренутку [27]. Пол Фејерабенд, са својом критиком строгих методолошких правила, заступањем научног плурализма и идејом да „све иде“ указује на потребу за отвореношћу према различитим методолошким приступима унутар научних програма [28]. Кроз програмску филозофију науке наглашена је важност отворености, критичког преиспитивања и методолошке разноликости у напретку научног знања.

Социологија науке истражује како социјални, економски, политички и културни фактори утичу на развој науке, укључујући процесе кроз које научна заједница стиже до консензуса и прихвата нове теорије и открића. Док филозофија науке тежи да анализира

методолошке и епистемолошке аспекте науке, социологија науке се бави друштвеним утицајем на процес стицања научног знања.

У теорији научних норми (универзализам, комунализам, незаинтересованост и организована скептичност) Роберт Мертон истиче да циљ научне заједнице треба да је постизање објективног и проверљивог знања. Дефинисане норме треба да служе као водич за етичко и одговорно понашање у науци, али и као критика науке у случају њиховог непоштовања [29].

Теорија актер-мрежа, коју заступа Бруно Латур, тврди да научна сазнања настају унутар сложених мрежа односа између људских и нељудских актера. У овом контексту, не само људи, већ и технологија, инструменти и друге материјалне компоненте, попут лабораторијске опреме, важну улогу у формирању научног знања [30, 31].

Структурализам и постструктурализам су највише заступљени у друштвеним наукама, али њихов утицај се осећа и у филозофији природних наука. Структурализам пружа оквир за разумевање како се чињенице, подаци и теорије организују у координисане системе знања. С друге стране, постструктурализам се фокусира на преиспитивање начина на који су научне истине конструисане и како друштвени, политички и културни фактори могу обликовати научно знање [32, 33].

Феноменологија пружа јединствен приступ разумевању науке, фокусирајући се на субјективне аспекте научног искуства. Иако природне науке теже објективности, свако научно истраживање засновано је на перцепцији, свести и когнитивним процесима научника. Оно представља динамичан процес који укључује непрекидан однос између свести и света [34].

Конструктивизам је филозофска и образовна теорија која потенцира да људи стварају своје знање и разумевање света кроз интеракцију са окружењем. Основна идеја конструктивизма је да научна сазнања нису резултат једноставног откривања објективних и независних реалности, већ су производ активних процеса које људски ум користи да би интерпретирао своје искуство, како кроз перцепцију окружења, тако и кроз социјалне интеракције. Учење није пасивно примање информација, већ динамичан процес у коме појединац гради своје сазнање путем искуства и размишљања. Према Пијажеовој теорији когнитивног развоја, деца активно уче о свету око себе кроз директну интеракцију са својом околином, пролазећи кроз сензомоторни,

предоперационални, конкретно операционални и формално операционални когнитивни стадијум. Сваки од ових стадијума представља специфичан начин на који деца перципирају и разумеју свет у различитим фазама свог развоја. Да би интегрисала нова искуства у постојеће шеме знања, деца користе асимилацију и акомодацију. Асимилација подразумева уношење нових информација у постојеће когнитивне структуре, док акомодација представља прилагођавање тих структура како би могле да обраде нове информације. Ови процеси омогућавају деци да постепено изграде све комплексније разумевање света. Према Пијажеу, когнитивни развој детета је дубоко повезан са физичким и социјалним искуствима која дете доживљава, што подржава конструктивистички став да је учење активан и контекстуалан процес. Овај приступ у образовању имплицира да настава треба да подстиче истраживање, критичко размишљање и интеракцију са окружењем, омогућавајући ученицима да сами граде своје знање кроз искуство и рефлексiju [35, 36].

Когнитивне теорије учења усмеравају фокус разумевања учења са спољашњих понашања на унутрашње менталне процесе. Когнитивизам наглашава важност менталних процеса који се одвијају између стимулације и одговора, а укључују перцепцију, пажњу, меморију, размишљање и решавање проблема. У контексту когнитивних теорија учења, метакогниција игра важну улогу. Она се односи на свест и регулацију сопствених когнитивних процеса. Ученици који ефикасно користе своје метакогнитивне стратегије боље управљају својим процесима учења, планирају своје активности, надгледају свој напредак и регулишу своје стратегије учења према потреби. Когнитивне теорије, такође, истражују концепте као што су когнитивни стилови и когнитивне стратегије. Когнитивни стилови односе се на префериране начине обраде информација појединца, док когнитивне стратегије укључују технику коју особа користи за ефикасно учење, попут организовања информација, елаборације или визуелизације. Примена когнитивних теорија у образовању довела је до развоја конструктивистичких приступа учењу, а у оквиру којих се ученици подстичу на активну конструкцију знања кроз интеракцију са градивом [37].

Теорија конструктивизма подвлачи значај активне улоге ученика у процесу учења, у ком се нове идеје и концепти развијају на темељу постојећег знања и претходних искустава. Ова теорија указује на то да контекст у којем се образовни садржај преноси,

уз ставове и уверења ученика, има значајан утицај на процес учења. Брунер указује на то да се информације боље разумеју и дуже памте када ученици самостално дођу до њих кроз процесе откривања, категоризације и решавања проблема [38].

Савремени конструктивисти настављају да развијају и примењују основне принципе конструктивистичке теорије у различитим контекстима учења, прилагођавајући и проширујући оригиналне идеје у складу са променама у технологији, друштву и образовању. Значајан допринос развоју и популаризацији конструктивизма остварен је кроз конструкционизам и конективизам.

Паперт је развио концепт конструкционизма, који се надовезује на Пијажеову теорију когнитивног развоја са новом димензијом употребе рачунара као алата за учење. Она се ослања на идеју да деца најбоље уче кроз директно искуство и креирање. Паперт рачунаре види као моћне алате који омогућавају ученицима да визуелизују апстрактне појмове и подстичу ученике да истражују, експериментишу и граде сопствено разумевање концепата. Папертова књига *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*, објављена 1980. године, са револуционарним погледом на коришћење технологије у образовању, значајна је и као основа за развој образовних софтвера који подстичу креативност, истраживање и самостално учење. Иако Папертова каријера почиње пре савремене дигиталне ере, његов рад на теорији конструкционизма, који се често сматра подкупом конструктивизма, као и његов рад на развоју програмског језика Лого за едукативне сврхе, који омогућава ученицима да користе рачунаре за креирање сопствених игара и симулација, промовишући логичко размишљање, решавање проблема и креативност, остају утицајни до савремених образовних технологија и СТЕМ образовања. Папертова теорија конструкционизма остаје релевантна и данас, када су технологија и дигитални алати свеprisутни у свим аспектима образовања [39].

Теорија активности темељи се на идеји да је људска активност усмерена ка остваривању циљева посредством алата и на комплексне социјалне интеракције, те омогућава разумевање учења као социјално уграђеног и медијализованог процеса. Виготскијев концепт зоне најближег развоја проширен је концептом „експанзивног учења“, којим се учење посматра као процес преображавања целокупног система активности, а не искључиво као индивидуални развој унутар постојећих структура. У основи теорије активности је модел система активности који укључује субјекте –

појединце и групе, објекте – циљеве и мотиве, алате – физичке и симболичке, правила, заједницу и поделу рада, преко чега омогућава анализу и разумевање сложених интеракција унутар социјалних система. Експанзивно учење се одвија када учесници у систему активности препознају контрадикције унутар постојећих система и раде на њиховом решавању кроз промене у пракси, што укључује реконфигурацију комплетног система активности и води ка новим формама рада и учења [40].

Рад Роџера Шанка се фокусира на концептуално учење и знање засновано на искуству, промовише „учење чињењем“ и развој софтвера који садрже симулације и приче као средства за учење. У делу *Tell Me a Story: Narrative and Intelligence (Rethinking Theory)*, детаљно истражује улогу прича и наратива, аргументујући да су приче фундаментални начин на који људи структурирају, памте и дају смисао својим искуствима. Шанкова теорија истиче значај наратива у развоју интелигенције и предлаже иновативне начине за примену наратива у едукативне сврхе. Наративи и приче нису само начин забаве, већ важни алати за пренос знања и учење, јер приче омогућавају људима да организују и приступе информацијама на ефикасан начин кроз повезивање нових информација са већ постојећим знањем. Истовремено, Шанк указује важност искуственог учења током ког се знање стиче кроз директну активну партиципацију. Он предлаже да приче служе као мост између теоријског знања и практичног искуства и да тако омогуће ученицима да „доживе“ концепте и идеје кроз наративне реконструкције. У раду се предлаже ревизија едукативних приступа и форсира употреба наратива и прича у учионицама. Образовање би требало да се фокусира на развој наративних вештина ученика, као што је способност приповедања, разумевања наратива и способност критичког размишљања о причама. Шанк такође истражује како се наративи могу користити у развоју интелигентних система и предлаже да би машине које разумеју и генеришу наративе могле боље да симулирају људску интелигенцију, што је отворило врата за примену наратива у области вештачке интелигенције, посебно у развоју едукативних софтвера који користе причање прича као средство за подучавање [41].

Дејвид Џонасен је био заговорник коришћења технологија као алата за конструктивистичко учење. Он дефинише конструктивистичко учење као процес током кога ученици активно конструишу знање, уместо да га пасивно примају. Такав приступ подразумева да је знање субјективно и да се развија кроз интеракцију са окружењем,

проблемима и задацима који су релевантни за ученика. Дизајнирање конструктивистичких учионица подразумева дизајнирање окружења која омогућавају ученицима да истражују, постављају питања, решавају проблеме и долазе до сопствених закључака. Јонасен истиче важност пружања аутентичних задатака који одражавају стварне проблеме и ситуације. Јонасен посебно наглашава важност алата за когнитивно моделовање, симулација, хипертекста и колаборативних алата који омогућавају ученицима да конструишу своје знање и да утичу на њега. Он предлаже неколико принципа дизајна конструктивистичких окружења за учење, при чему укључује и контекстуализацију учења, пружање изазова кроз проблеме и пројекте, могућности социјалне интеракције и сарадње и подршку рефлексiji и метакогницији [42]. Значај Јонасенових истраживања је у представљању практичног оквира за интеграцију технологије у образовање на начин који поштује принципе конструктивизма и омогућава креирање ангажованих искустава учења.

Сименс је развио теорију конективизма, као проширење конструктивистичке теорије у дигиталној ери. Конективизам указује на важност дигиталних технологија у процесу учења. Сименс сматра да традиционалне теорије учења попут бихејвиоризма, когнитивизма и конструктивизма, не могу у потпуности објаснити како се знање стиче, дели и користи у свеприсутном и непрестано повезаном дигиталном окружењу. Критикујући традиционалне теорије учења и указујући да оне претпостављају да се учење остварује као стабилан ентитет који се може пренети од наставника до ученика, истиче да је знање динамично и дистрибуирано преко различитих платформи и мрежа. Конективизам представља учење као процес формирања веза и мрежа између појединца у ужем и ширем социјалном и технолошком контексту. Учење се може одвијати на многим различитим местима истовремено и често је ван појединачног контролисања.

У конективизму, способност да се зна више важнија је од тренутног знања, те учење постаје процес откривања, повезивања и интерпретирања информација и извора знања. Дигитална ера трансформише приступ информацијама, њихово стварање и дељење. Учење се више одвија у интеракцији са дигиталним алатима, онлајн ресурсима и кроз друштвене мреже, што захтева нови приступ разумевању и подршци учењу. Конективизам препознаје важност технолошке писмености као основне вештине у

дигиталном добу, у коме је способност претраживања, филтрирања, анализе и синтезе информација кључна.

Када је реч о импликацијама конективизма за образовање, наглашава се потреба за педагошким приступима који обухватају аутономију ученика, развој вештина критичког размишљања и способности да се ефикасно користе дигитални алати и ресурси. Ови приступи треба да охрабре ученике да граде своје мреже за учење, које укључују вршњаке, наставнике и онлајн заједнице, и да активно учествују у креирању и дељењу знања. На крају, Сименсов рад нуди важан теоријски оквир за обликовање образовних пракси које одговарају потребама и изазовима савремених ученика, и подстиче стручњаке да преиспитују и адаптирају своје методе и стратегије учења и поучавања [43].

Рад Даунса из 2007. године представља веома важну компоненту теорије конективизма, коју је заједно са Сименсом развио као одговор на ограничења традиционалних теорија учења у контексту стално растућег дигиталног окружења. Даунс нуди практично релевантан ресурс, јер пружа увиде који могу водити развоју ефикаснијих и инклузивнијих образовних система [44]. Према њему, алати попут друштвених медија, блогова, вики-страница и онлајн заједница омогућавају појединцима да се повезују, деле идеје и стварају знање на дистрибуиране начине који нису били могући у претходним временима. Такође, истиче да се у конективистичком окружењу знање конструише кроз процес повезивања специјализованих „чворова“ или извора информација, а да се учење одвија када ученик успешно успостави везе међу „чворовима“, због чега издваја потребу за стратегијама које укључују дистрибуирано учење, аутономију ученика и приступ разноврсним и богатим изворима знања.

2.2. Конструктивизам и његов значај за наставу физике

Филозофски темељи конструктивизма потичу из радова Жана Пијажеа и Лава Виготског. Пијаже је сматрао да се знање конструише кроз искуствено учење, при чему когнитивне структуре ученика еволуирају као одговор на нова искуства [45]. Виготски је развио идеју друштвеног конструктивизма, наглашавајући улогу друштвених интеракција и културног контекста у процесу учења. Он је тврдио да су заједница и језик одлучујући за процес учења, те је увео концепт „зоне најближег развоја“, који обухвата

разлику између онога што ученик може самостално да постигне и онога што може постићи уз подршку наставника или напреднијег вршњака. Овим концептом се истиче да је учење најефикасније када се ученик води кроз задатке који су мало изнад његовог тренутног нивоа самосталне способности [46].

Конструктивистички приступ у настави истиче активну улогу ученика у конструисању сопственог знања. За разлику од пасивног усвајања информација, конструктивизам подразумева да ученици остваре разумевање кроз интеракцију са окружењем, обраду информација кроз личну призму, и под утицајем претходних знања и искустава. Према Пијажеу, ученици креирају разумевање реалности на основу личних искустава и унутрашњих когнитивних процеса [45]. Насупрот томе, Виготски је тврдио да ученици развијају знање кроз дијалог и сарадњу с вршњацима и наставницима [46]. Оба теоретска оквира указују на важност истраживања, експлорације и рефлексije у процесу учења [45, 47].

Конструктивизам је у великој мери утицао на прелазак са традиционалних дидактичких метода на интерактивну наставу. Ученици се подстичу да истражују, постављају питања и активно конструишу своје разумевање појмова. Разумевање научних концепата представља основу за примену теоријских принципа у решавању комплексних проблема. Социјалне интеракције, попут дискусија, сарадње и међусобног подучавања, доприносе развоју критичког мишљења и рефлексije. Ученици артикулишу своје мисли, преиспитују претпоставке и обогаћују своје искуство кроз размену идеја са другима [39, 48-50].

2.2.1. Стратегије и методе конструктивистичког приступа

У дискурсу о конструктивистичком приступу често се употребљавају појмови стратегија и метода. Иако се ови термини понекад користе као синоними, они имају различита значења и односе се на различите нивое планирања и извођења наставе. Док је наставни приступ основна филозофија или теоријски оквир који обликује начин на који се настава одвија, стратегија се односи на опште планове који су усмерени на постизање одређених циљева учења [51]. Најчешће стратегије конструктивистичког приступа укључују кооперативно учење, учење засновано на проблему и истраживачко

учење. Свака од ових стратегија почива на принципима који подстичу боље разумевање кроз активно учешће ученика у истраживању, експериментисању и рефлексiji.

Методe су конкретне технике које се користе у оквиру стратегија. Оне описују специфичне наставне активности и начин њихове примене. Конструктивистичким приступом обухваћене су метода лабораторијских радова, метода демонстрација и илустрација и дијалoшка метода која укључује концептуална питања. Избор метода је кључан за претварање општих стратегија у ефективна искуства учења. Према Џонасену [52], конструктивистички приступ подразумева да наставне методе треба да подстичу активно учешће ученика.

Разлика између стратегија и метода није само семантичка: стратегије пружају широку визију, док методе представљају конкретизацију те визије кроз наставне активности. Поређење различитих метода показало је како интеракција између стратегија и метода може утицати на исходе учења [53].

Конструктивистички приступ подстиче ученике на учење засновано на истраживању, у оквиру ког они сами формулишу хипотезе, спроводе експерименте и изводе закључке. Овај процес подстиче креативно размишљање и генерисање иновативних решења. Неке мета-анализе указале су на корелацију између истраживачке наставе и побољшања у учењу, међутим мало њих се фокусирао на улогу наставника [54]. Фуртак и сарадници су показали да активности вођене од стране наставника често доносе више користи ученицима у поређењу са оним у којима су ученици потпуно самостални.

Учење засновано на решавању проблема се фокусира на комплексне проблеме без једноставних или јасних одговора, што подстиче ученике да идентификују шта је неопходно да би се решио проблем. Циљ примене ове стратегије је развијање флексибилног знања, вештина решавања проблема, сарадње и унутрашње мотивације код ученика [55]. Истраживања су показала да учење засновано на проблему помаже ученицима да развију дубље разумевање концепата и постану успешнији у целоживотном учењу.

Кооперативно учење подразумева рад у групама, размену идеја и решења. Социјална интеракција подстиче креативност при решавању проблема. Џонсон и Џонсон указују на теорију социјалне међузависности као основу кооперативног учења;

преко 1200 истраживања су потврдила његову ефикасност. Кооперативно учење такође доприноси развоју друштвених вештина и мотивације, те је у модерној настави све заступљеније [56].

2.2.2. Значај конструктивизма за наставу физике

У контексту наставе физике, конструктивистички приступ се односи на наставне стратегије које ангажују ученике у школским експериментима, сарадничком решавању проблема и дискусијама које подстичу постављање питања, постављање хипотеза, експериментисање и размишљање о физичким феноменима који се проучавају [49]. Када ученици учествују у школским експериментима или симулацијама, охрабрени су да постављају хипотезе, проверавају своје идеје и размишљају о својим запажањима у оквиру теоријских знања која су стекли [46].

Конструктивистички приступ истиче вредност контекстуалног учења – физика се не учи изоловано, већ у контексту реалног света и претходних искустава ученика [57] у својим студијама наглашавају прелазак са традиционалних метода наставе заснованих на предавањима на интерактивнију наставу, у чијем је центру активност ученика. Истраживања су показала да решавање проблема унутар конструктивистичког оквира наставе побољшава способност ученика да примене усвојене физичке концепте у новим сценаријима. Оваква трансформација учења подстиче веће когнитивно ангажовање ученика и развија вештине решавања проблема [58, 59].

Допринос конструктивистичких приступа у разумевању концепата огледа се у томе што ученици не само да конструишу своје разумевање, већ га и евалуирају кроз критичку рефлексију [60]. Повезивање искустава у учењу са свакодневним животом и промовисање активног укључивања у процес учења повећава мотивацију и интересовање за учење физике [61, 62].

Уз активности базиране на конструктивистичком приступу, ученици развијају способност критичког мишљења процењујући експерименталне резултате, анализирајући феномене и критички разматрајући различита решења, што поред дубљег разумевања подстиче и креативно решавање проблема. Зохар и Дори истичу да ученици са нижим академским постигнућима такође могу успешно решавати задатке који

захтевају мишљење вишег реда, посебно када се подстичу да учествују у партиципативним активностима. Њихова истраживања сугеришу да наставници треба да подстичу ученике свих академских нивоа да се укључе у задатке који развијају мишљење вишег реда [63].

Технологија омогућава употребу симулација и виртуелних лабораторија у настави физике. Технолошки алати омогућавају ученицима да визуелизују и истражују сложене физичке феномене у контролисаном окружењу, што побољшава њихова постигнућа и разумевање физичких концепата [64, 65]. Истраживања показују да употреба видео снимака и визуелних модела у онлајн учењу доприноси побољшању постигнућа у природним наукама [66].

Укључивање технологије у наставу физике усклађено је са конструктивистичким принципима, јер омогућава интерактивно и динамично учење прилагођено индивидуалним потребама ученика [39]. Дигиталне симулације и виртуелне лабораторије омогућавају експериментисање и визуелизацију физичких феномена на начин који није омогућен у традиционалним наставним методама.

У неколико студија случаја потврђена је ефикасност примене конструктивистичког приступа. Неки аутори су показали примере иновативне, конструктивистичке и интерактивне наставе физике у различитим окружењима, попут школских часова, радионица за млађе ученике и јавних предавања [67]. Једно истраживање је показало да ученици који су били изложени конструктивистичком приступу у лабораторији имају боље резултате на тестовима којима се процењује разумевање физичких концепата, у поређењу са онима који су учествовали у традиционалним часовима. Они су били у стању да боље повежу теоријске и практичне аспекте физике, што се манифестовало у њиховој способности да решавају комплексније проблеме. Ипак аутор је указао да овај начин наставе јесте захтевнији по питању припреме и ресурса. Осим тога, ученицима који су навикли на традиционални начин подучавања може бити потребно више времена да се прилагоде овом приступу [68].

У мета-анализи бројних студија дошло се до закључка да конструктивистички приступ побољшава критичко размишљање ученика. Њихови налази истичу значај сарадничког учења и активног учешћа у процесу истраживања за развој дубљег разумевања и примене физичких концепата у новим ситуацијама. Иако је мета-анализа

показала позитивне резултате, аутори су такође указали на препреке конструктивистичког приступа, посебно у школама са великим бројем ученика и ограниченим ресурсима. У таквим околностима, наставници не могу пружити индивидуалну подршку сваком ученику па неки ученици не добију потребне смернице током учења. Тиме се умањује потенцијал конструктивистичког приступа у развоју критичког размишљања и разумевања концепата [69].

Амир и Мохамед су показали да применом конструктивистичког приступа расте способност ученика да са оптимизмом приступају решавању сложених проблема, заједно са самопоуздањем и да ученици почињу да перципирају физику као изазован, али савладив предмет [70]. Хејк је анализирао ефекте интерактивног учења у поређењу са традиционалним методама у настави физике, а његови резултати су показали да интерактивне методе, као што су групни рад и дискусије, побољшавају разумевање и учење физике у односу на традиционална предавања [71]. Ганстон и Вајт су показали како се закони кретања боље разумеју када се повежу са реалним животним ситуацијама, попут кретања аутомобила у саобраћају. Ово истраживање је показало да је укључивање реалних контекста у наставу повећало ангажовање и мотивацију ученика. Уместо традиционалног предавања појмова о струји и отпору, према једном истраживању, ученици су били подстакнути да сами истражују однос између електричног напона, електричне струје и отпорности кроз практичне експерименте, што је довело до дубљег разумевања ових појмова [72]. Драјвер и сарадници су у својој студији потврдили да ученици који самостално осмишљавају и реализују експерименте у вези са Њутновим законима, боље разумеју појам силе и кретања [36].

Тиберјен је у свом истраживању применио конструктивистички приступ који подразумева да ученици сами конструишу своје знање кроз експерименте и анализу података. Ученици су реализовали експерименте са светлошћу која пролази кроз различите материјале или се одбија од различитих површина. Ови експерименти су им омогућили да сами открију законе рефлексије и рефракције. Тиберјен је открио да су ученици кроз испитивање и преиспитивање својих претпоставки, на основу података добијених из експеримената, стекли вештине критичког размишљања. Ипак и он је идентификовао неколико препрека конструктивистичког приступа. Једна од њих је недостатак времена и ресурса у поређењу са традиционалним приступима [73].

2.2.3. Критика конструктивистичког приступа

Конструктивистички приступ настави, иако иновативан и популаран у педагошким круговима, суочава се са критикама које се односе на његову теоријску основу, практичну примену и ефикасност у различитим образовним контекстима [74].

Једна од главних критика односи се на теоријску основу конструктивизма, која понекад може бити сувише широко интерпретирана, што доводи до конфузије приликом његове примене у пракси. Киршнер и сарадници [61] у својој критици указују на недостатке минимално вођеног учења, које је често повезано са конструктивистичким принципима. Они тврде да овај приступ може преоптеретити когнитивне способности ученика, посебно оних који се тек упознају са сложеним темама физике, што у крајњем случају смањује ефикасност учења. Ова критика је релевантна јер се конструктивизам понекад поистовећује са неконтролисаним и неструктурираним учењем путем открића, што може довести до непотпуног или нетачног разумевања. Међутим, контрааргументи, попут оних које су изнели Хмело-Силвер и сарадници [75] указују да су учење засновано на решавању проблема и истраживачко учење високо структурирани приступи који, уз одговарајуће вођење, могу смањити когнитивно оптерећење ученика без смањења ефикасности. Овај аргумент указује на то да критика Киршнера и сарадника није потпуно заснована на свим аспектима конструктивистичког приступа, већ на његовом екстремном облику – потпуно неструктурисаном откривању.

Кун наглашава да уколико се ученици препусте самосталном истраживању без јасних циљева и вођења, постоји ризик да развију површно или чак погрешно разумевање основних научних концепата [76]. Мајер износи озбиљну критику учења путем открића, указујући да докази не иду у прилог тврђењу да овај метод доводи до бољег разумевања и трајности знања у односу на директније методе подучавања [77]. Ова критика је релевантна у оним темама у оквиру којих су ученицима потребна јасна упутства како би стекли основна знања пре него што се упусте у дубље истраживање. Са друге стране, критика Мајера сугерише да је неопходно пронаћи баланс између учења путем открића и директног учења. Без таквог баланса, ризикује се да ученици формирају непотпуне или нетачне концепције које могу спречити њихов напредак.

Следећа критика конструктивистичког приступа односи се на његову претпоставку о хомогености ученичке популације. Тобиас и Дафи [78] истичу да конструктивизам не узима увек у обзир разлике у предзнању, способности и стилевима учења међу ученицима. Овај недостатак може довести до неједнаких исхода у учењу, посебно у разредима са широким спектром когнитивних способности ученика. Потреба за диференцираним приступом је неопходна како би се осигурало да сви ученици имају једнаке могућности за учење и напредак, што представља препреку за успешно спровођење конструктивистичког приступа.

Употреба технологије у оквиру конструктивистичког приступа такође је подложна критици. Кларк и Мајер [79] упозоравају да присуство технологије само по себи не гарантује побољшање у учењу. Њихова критика указује на то да технологија мора бити пажљиво одабрана и интегрисана у наставни процес како би остварила конкретне циљеве учења. Некритичка употреба технологије може одвратити пажњу ученика од суштине наставног садржаја и довести до површног разумевања.

Критике се односе и на наставнике који реализују наставу кроз конструктивистички приступ. Робин и Пенг [80] указују на недостатак адекватне обуке наставника за ефективну примену конструктивистичког приступа, што може довести до недоследности у примени и неефикасности у постизању жељених резултата. Наставници се суочавају са потешкоћама у оцењивању активности и променом своје улоге из традиционалног предавача у фацитатора⁵ учења, а то захтева нови скуп вештина и умећа.

Иако конструктивистички приступ настави физике има јаку теоријску основу и потврђен је мета-аналитичким студијама и истраживањима, у пракси недостаје довољно конкретних емпиријских доказа који би показали како се овај приступ примењује у учионици и које су стварне користи и препреке у његовој примени. Теоријска истраживања су често фокусирана на уопштене користи конструктивизма, као што су развој критичког мишљења и дубље разумевање физичких концепата, али недостају студије које би приказале како ови принципи функционишу у различитим образовним

⁵ Фацитатор учења је улога наставника у којој он не делује као традиционални предавач, већ као модератор или водитеља у процесу учења. Уместо да само преноси знање кроз предавања, фацитатор омогућава ученицима да сами истражују, откривају и граде своје знање, уз његову подршку и смернице.

окружењима. Потребни су конкретни примери из праксе, као што су студије случаја, које би показале на који начин се конструктивистички приступ примењује у различитим школама, са различитим узрастима ученика и у различитим условима – од добро опремљених лабораторија до школа са ограниченим ресурсима. Такве студије случаја би могле приказати специфичне изазове са којима се наставници суочавају при примени овог приступа, као и решења која су се показала ефикасним. Будуће студије случаја могле би се бавити применом конструктивистичког приступа у великом разреду са ограниченим приступом лабораторијским ресурсима и анализирати како ученици са различитим нивоима предзнања и когнитивних способности реагују на овај приступ као и које методе наставници користе да прилагоде наставу индивидуалним потребама ученика. Постоји потреба за истраживањем дугорочних ефеката конструктивистичког приступа у настави физике. Док се нека истраживања баве краткорочним резултатима, као што су побољшања у разумевању одређених физичких концепата или решавању задатака, дугорочне студије би могле показати да ли ученици који су образовани у конструктивистичком окружењу развијају трајније вештине, као што су критичко размишљање и примена знања у новим контекстима.

2. 4. Теорије креативног мишљења; Развој креативности у настави физике

Креативност је предмет проучавања многих теоретичара и истраживача. Због своје сложености, дефинише се на много начина у зависности од контекста и перспективе из које се посматра. Џ. П. Гилфорд је дефинисао креативност као способност дивергентног мишљења, које укључује способност генерисања више јединствених решења за отворени проблем. Он је нагласио важност флуенције (бројности идеја), флексибилности (различитости идеја), оригиналности (јединствености идеја) и елаборације (детаљности идеја) [81]. Е. Пол Торанс је креативност дефинисао кроз четири главне компоненте — флуенцију, флексибилност, оригиналност и елаборацију, слично Гилфорду, додајући способност за апстрактно мишљење и отпорност на прерано закључивање [82]. Тереза Амабиле је представила компонентни модел креативности, наглашавајући да креативност произилази из интеракције стручности појединца, креативних вештина размишљања и мотивације [83].

Михај Чиксентмихаљи је представио системски приступ креативности, према коме креативност није само особина појединца, већ производ интеракције између појединца, домена у ком ради и друштвеног система који оцењује новину [84]. Роберт Стернберг и Тод Лубарт представили су „инвестициони“ приступ креативности, који креативност сагледава као процес „повољне куповине и ефикасне продаје“ у свету идеја [85].

Према наведеном, произилази да бројне дефиниције одражавају разноликост приступа проучавању креативности, од фокусирања на индивидуалне когнитивне способности до разматрања ширег социокултурног контекста у ком креативност расте. Иако се разликују, заједнички елемент свих приступа дефинисању креативности је признавање њене улоге као кључне у решавању проблема, иновацијама и уметничком изражавању.

Теорије креативног мишљења пружају увиде у начине на које ученици могу развити и применити своје креативне способности. Оне би требало да помажу наставницима и другим актерима у образовном процесу да дизајнирају наставне програме и наставне методе које подстичу креативност.

Гилфорд је, представљајући своју теорију крајем 1950-их, увео модел структуре интелекта који укључује дивергентно мишљење као контраст конвергентном мишљењу. Конвергентно мишљење подразумева способност пружања тачног одговора на постављено питање. Дивергентно мишљење односи се на процес генерисања више могућих решења за отворено питање или проблем. За разлику од конвергентног мишљења, дивергентно мишљење подстиче појединца да размишља широко и да истражи различите могућности. Према Гилфорду, концепт дивергентног мишљења је кључна компонента креативности. Његова структура интелекта категоризује интелектуалне способности у операције, садржаје и производе. Операцијама припадају: евалуација, конвергентно мишљење, дивергентно мишљење, меморисање и перцептивна брзина. Под садржајима се подразумевају типови информација са којима се операције врше и групишу се у визуелне, аудитивне, симболичке, семантичке и бихевиоралне садржаје. Производи су резултати који произилазе из примене операција на садржаје. Њима припадају: јединице, класе, односи, системи, трансформације и импликације [81, 86]. Гилфордова теорија има дубоке импликације за образовање. Његово наглашавање дивергентног мишљења као кључне компоненте креативности

сугерише да наставни програми треба да укључе задатке и активности који подстичу ученике да размишљају широко, да истражују различите перспективе и да генеришу оригиналне идеје. У практичном смислу, то значи дизајнирање наставних програма и наставних стратегија које укључују:

- Проблеме отвореног типа са задацима који немају једно тачно решење и који захтевају од ученика да предложи више решења;
- Пројектну наставу са методама које подстичу ученике да раде на дугорочним пројектима који захтевају истраживање, планирање и иновативно размишљање;
- Креативне радионице са активностима које омогућавају ученицима да истражују и изражавају своје идеје кроз ликовну уметност, музику, писање и друге креативне форме;
- Размишљање ван оквира кроз подстицање ученика да се суочавају са необичним или неочекиваним проблемима који захтевају оригинална решења.

Е. Пол Торанс је током 1960-их развио *Torrance Tests of Creative Thinking* (ТТСТ), свеобухватан инструмент за мерење креативних способности. Овај тест оцењује креативно мишљење кроз задатке који мере флуентност, флексибилност, оригиналност и елаборацију. ТТСТ је један од најприхваћенијих и најчешће коришћених алата за процену креативности [82]. Торансови тестови су дизајнирани да процене креативно мишљење кроз серију стандардизованих задатака и састоје се од два формата – вербалног и фигуративног. Оба формата су усмерена на евалуацију кључних аспеката креативног мишљења. Флуентност се мери бројем релевантних одговора које испитаник може дати, флексибилност кроз разноврсност идеја, оригиналност кроз учесталост ретких идеја, а елаборација кроз степен детаљности у представљеним решењима [87].

Торансови тестови проналазе своју примену у образовању, у помоћи наставницима да препознају ученике са високим креативним потенцијалом, боље разумеју специфичне способности ученика и прилагоде наставне методе како би подстакли развој креативности [88]. ТТСТ такође омогућава образовним системима да препознају и вреднују различите начине размишљања, пружајући ученицима прилике да развијају своје јединствене креативне потенцијале. Ипак, ТТСТ се суочава са критикама у погледу конструктивне валидности и потребе за ажурирањем, како би

тестови рефлектовали савремено разумевање креативности у дигиталном добу [87, 88]. Поред њих у употреби су и Урбан-Јелен тестови, којима се процењује дечија креативност и креативност одраслих а на основу начина на који се завршава започети цртеж [89].

Тереза Амабиле је предложила теорију која објашњава креативност као резултат интеракције три кључне компоненте: стручности, креативних вештина и мотивације. У контексту образовања, ова теорија упућује на потребу да школе подстичу учење у областима интересовања ученика, развијају креативне вештине и унутрашњу мотивацију [90]. Стручност обухвата знање и вештине у одређеној области, док креативне вештине укључују способност дивергентног мишљења, флексибилност и оригиналност у решавању проблема. Мотивација, посебно унутрашња, кључна је за креативност јер подстиче ангажовање и посвећеност [90]. У овој теорији се истиче да школе треба да:

- Подстичу ученике да продубљују знања у областима које их занимају;
- Развијају унутрашњу мотивацију кроз подстицање радозналости и страсти према учењу;
- Обезбеде окружење у ком се више вреднује задовољство у учењу него спољне награде.

Роберт Стернберг је предложио тријархичну теорију интелигенције која обухвата аналитичке, креативне и практичне аспекте интелигенције. Ова теорија сугерише да образовни системи треба да развијају све три компоненте, а не само аналитичке способности на којима се у школама инсистира [91]. Аналитичка интелигенција се односи на способност анализе и решавања проблема, док креативна интелигенција укључује иновативно размишљање и стварање нових идеја. Практична интелигенција подразумева примену знања у свакодневним ситуацијама [92]. Стернбергова теорија указује да:

- Наставни планови треба да укључе задатке који подстичу креативност и практичну примену знања;
- Ученици треба да развијају критичко мишљење и дубље разумевање градива, а не само да меморишу чињенице;

- Пракса и симулације могу помоћи у развоју практичне интелигенције кроз решавање стварних проблема.

Михаљ Чиксентмихаљи описао је стање тока (енг. flow) као оптимално искуство у којем особа доживљава потпуно ураћање и задовољство у активности. У образовању, концепт стање тока може се користити за дизајнирање активности које су изазовне, али и усклађене са индивидуалним способностима ученика, чиме се подстиче ангажовање и креативност [84].

Чиксентмихаљи идентификује неколико кључних карактеристика које дефинишу стање тока:

- Појединац је потпуно фокусиран на активност без ометања спољних утицаја;
- Активност има јасне циљеве и правилну повратну информацију, тако да омогућава појединцу да зна шта треба да се уради и како напредује;
- Особа постаје мање свесна себе и својих брига током ангажовања у активности, што води до већег уживања у задатку;
- Појединац осећа да има контролу над својим поступцима и исходом активности;
- Активност представља оптималан изазов који одговара тренутним способностима појединца, ни превише тежак ни превише лак;
- Често се доживљава да време пролази брже или спорије него што је то обично случај.

Концепт стања тока има важне импликације за образовање које се огледају у предлозима како дизајнирати наставне стратегије и активности које повећавају ангажовање ученика и мотивацију.

- Наставници треба да настоје да ускладе тежину задатака са индивидуалним способностима ученика, промовишући изазове који су довољно захтевни да буду стимулативни, али не толико тешки да изазову анксиозност и фрустрацију.
- Задаци би требало да имају јасно дефинисане циљеве и критеријуме успеха, као и редовну повратну информацију, омогућавајући ученицима да прате свој напредак и прилагоде своје стратегије.
- Ученици би требало да имају већу контролу над својим учењем, што би подстакло осећај аутономије и компетентности.

Подучавање ученика како да постану свесни својих процеса учења и како да ефикасно управљају својим временом и ресурсима може помоћи у постизању стања тока [93].

Виготски је нагласио улогу социокултурног контекста у развоју когнитивних способности, укључујући креативност. Према њему, креативно мишљење се развија кроз интеракцију са другима. У образовању, ова теорија подстиче кооперативно учење и креативну интеракцију међу ученицима и између ученика и наставника. Поред зоне најближег развоја, кључни концепт његове теорије је и медијација. Виготски је истакао улогу симболичких алата, као што су језик, писање и уметност, у медијацији између појединца и света. Ови алати омогућавају појединцима да усвоје знања и подстакну когнитивне процесе.

Социокултурна теорија Виготског има велике импликације за образовање, посебно у подстицању креативног мишљења кроз:

- Подстицање ученика да раде заједно на пројектима и решавању проблема, јер групна интеракција омогућава размену идеја и перспектива;
- Улогу наставника као фацитатора, који помаже ученицима да се крећу кроз своју зону најближег развоја путем подршке, изазова и повратне информације;
- Интеграцију културних алата и симболичких система, као што су језик, уметност и технологија, у наставни план;
- Дизајнирање активности са искуствима учења која су релевантна за животе ученика и њихове културне контексте [94, 95].

Наги и сарадници истражују диференцијацију између иновативне и адаптивне креативности кроз процесе когнитивне контроле. Њихови резултати сугеришу да су у основи ових врста креативности различити когнитивни механизми, при чему иновативна креативност користи реактивну контролу, а адаптивна креативност проактивну контролу. Ова подела истиче сложеност креативног размишљања и његову зависност од флексибилне когнитивне контроле [96].

Утицај културе и различитости на креативност је још једна димензија коју су истраживали Мотевали и сарадници, који су се бавили тиме како културни фактори утичу на пажњу, перцепцију, меморију и креативност. Њихова студија истиче улогу

културне разноликости у обликовању когнитивних процеса релевантних за креативност и наглашава широк спектар фактора који доприносе креативном размишљању [97].

Рајтер-Палмон и Леоне објашњавају како когнитивни процеси олакшавају креативност унутар интердисциплинарних дизајнерских тимова. Они истичу важност конструкције проблема, заједничког разумевања и улоге динамике тима у стварању окружења погодног за креативност, сугеришући да је креативни процес дубоко испреплетен са когнитивним стратегијама које тимови користе у решавању проблема [98].

Креативност се може посматрати и кроз опште и специфичне аспекте, у зависности од контекста и домена примене. Док се општа креативност односи на универзалну способност размишљања која омогућава појединцу да генерише нове и оригиналне идеје преко различитих области, специфична креативност се односи на способност креирања иновација унутар одређене дисциплине или домена. Општи аспекти креативности се фокусирају на креативне процесе и вештине које су применљиве у широком спектру области, и укључују дивергентно мишљење, флексибилност мишљења, оригиналност и способност синтезе различитих идеја. Општа креативност се огледа у способности појединца да препозна нове прилике, да се прилагоди променама и да из различитих перспектива посматра проблем. Специфични аспекти креативности се тичу креативних достигнућа унутар одређене дисциплине, као што су уметност, наука, инжењерство. Она укључује дубоко разумевање домена, заједно са специфичним знањима, вештинама, техникама и методологијом.

У образовном контексту, разумевање разлике између општих и специфичних аспеката креативности је кључно за развој наставних програма и наставних стратегија које подстичу креативно размишљање. Наставници треба да подржавају развој општих креативних вештина, као што су критичко мишљење и решавање проблема, док истовремено изводе наставу која омогућава ученицима да продубе своје знање и развију своје вештине унутар одређених домена.

И општи и специфични аспекти креативности су важни за целокупан креативни потенцијал појединца. Баланс између развијања широких креативних способности и подстицања проширивања доменског знања може омогућити појединцима да максимално искористе свој креативни потенцијал [99].

О креативности се може говорити и као о репродуктивној и продуктивној креативности. Репродуктивна креативност подразумева употребу постојећих знања и техника за решавање проблема или стварање дела, и ослања се на већ утврђене моделе и праксе. Са друге стране, продуктивна креативност тежи ка стварању нечег потпуно новог, истраживању непознатих „територија“ и превазилажењу традиционалних граница. У теоријама развоја креативности у оквиру ГештALT психологије, разликују се креативно, продуктивно размишљање од репродуктивног, заснованог на меморисању, понављању и репродукцији. А. Маслов описује хијерархију потреба према принципима приоритета и доминације. На темељу креативне активности појединца налазе се највише личне потребе, укључујући потребу за самоактуализацијом⁶, личним растом и развојем [100, 101].

Када је реч о настави физике, значајна је корелација наставних приступа са разумевањем врста креативности.

Предвиди-посматрај-објасни (ППО) је наставни приступ који подстиче ученике да буду активно укључени у своје учење. Кроз овај процес, ученици прво предвиђају исход експеримента или проблема, затим посматрају резултате кроз практичну активност или демонстрацију, и на крају објашњавају резултате и разлике између својих предвиђања и стварних исхода. Овакав начин рада подстиче разумевање научних концепата и развој критичког мишљења и аналитичких вештина. Иако користан у развијању критичког мишљења ученика, ППО приступ има ограничења када је реч о генерисању идеја ученика. Структура овог приступа је таква да може ограничити креативност ученика. Наиме, приступ је често усмерен на специфичне циљеве учења и предвиђене исходе, што може ограничити истраживање и развој оригиналних идеја. Ученици могу постати фокусирани на проналажење тачног одговора уместо да истражују различите могућности и перспективе.

⁶ Самоактуализација представља процес остваривања сопствених могућности, талената и потенцијала, тежњу ка самоспознаји, саморазвоју и остваривању личних циљева и аспирација. Особа која достигне стање самоактуализације често показује карактеристике као што су објективност, креативност, независност, разумевање себе и других. Самоактуализација је врхунац хијерархије потреба, који се постиже након што су задовољене основне потребе, као што су физиолошке потребе, потребе за сигурношћу, припадање и љубав, и уважавање.

Иако приступ ППО подстиче ученике да размишљају и анализирају, мање је вероватно да ће подстицати дивергентно мишљење, које је кључно за генерисање нових идеја. Дивергентно мишљење захтева отвореност према различитим решењима и перспективама, што може бити спутано ригиднијом структуром ППО приступа. Приступ може бити мање ефикасан у ситуацијама у којима је потребно дубље разумевање сложених концепата, који превазилазе основну логику предвиђања и посматрања. Генерисање идеја често захтева сложено размишљање и способност повезивања различитих концепата на иновативне начине. ППО приступ може бити мање мотивишући за ученике који преферирају отворене и истраживачке начине учења. Ученици који теже креативном изражавању могу се осећати ограничено када су приморани да прате строгу структуру предвиђања, посматрања и објашњавања.

Иако ППО приступ има своје предности у одређеним областима учења, важно је препознати његова ограничења у контексту генерисања идеја. Комбиновање ППО са другим методама учења које подстичу креативност и дивергентно мишљење може бити ефикасније у развијању иновативних и оригиналних идеја код ученика.

Истраживања су потврдила да је ППО приступ ефикасан у побољшању научних процесних вештина и критичког мишљења ученика. Интеграција ППО приступа са учењем заснованим на проблемима показала се ефикасном у развоју вештина решавања проблема и подизању самопоуздања [102-104].

У контексту наставног приступа *Предвиди-посматрај-објасни (ППО)*, који укључује предвиђања, праћење експеримената и објашњење феномена, може се говорити о предикативном, експерименталном и експликативном аспекту креативности. Предикативна креативност омогућава ученицима да формулишу хипотезе и предвиђања о исходу експеримента. Експериментална креативност односи се на способност ученика да осмисле или спроведу експерименте како би тестирали своје хипотезе, користећи при том различите методе и материјале. Експликативна креативност укључује анализу и објашњење резултата експеримента, пружајући дубље разумевање научних концепата и феномена. Ученици кроз ову фазу уче како да интерпретирају податке, изводе закључке и критички разматрају своје претходне претпоставке и резултате истраживања.

Investigative Science Learning Environment (ISLE) приступ подстиче ученике да се понашају као прави научници кроз процесе предвиђања, експериментисања и

објашњења научних феномена, слично ППО приступу. *ISLE* приступ је дизајниран да ученицима пружи дубље разумевање физике и научних принципа кроз активно учење, истраживање и рефлексију [105, 106].

Један од наставних приступа који подстиче ученике да самостално дизајнирају експерименте како би истражили и доказали одређене појаве је *Учење засновано на истраживању (Inquiry-Based Learning, IBL)*. Овај приступ подстиче ученике да постављају питања, истражују и креирају експерименте како би дошли до закључака о научним концептима и феноменима. Учење засновано на истраживању промовише активно учење, критичко мишљење и развијање вештина решавања проблема. Ученици самостално формулишу питања која су заснована на радозналости и нејасноћама у вези са одређеним концептом или феноменом. Потом, они самостално дизајнирају експерименте како би тестирали своје хипотезе и истражили физичке појаве. Податке прикупљају кроз експериментисање, након чега их анализирају како би извели закључке. Закључци могу потврдити или оповргнути њихове почетне хипотезе. О својим резултатима дискутују и разматрају импликације, као и могуће грешке у својим налазима. На крају, ученици размишљају о процесу учења, методама истраживања и закључцима, разматрајући шта би се могло поправити у будућим истраживањима [107].

Учење засновано на истраживању, осим у настави физике, може се примењивати и у настави других предмета. Оно представља ефикасан начин за развој научних вештина и свеобухватних вештина потребних за целоживотно учење, и као такво омогућава ученицима да у практичним ситуацијама примене теоријско знање, повећава њихову мотивацију за учење и ангажованост у раду.

Према доступним информацијама, у Србији није спроведено истраживање које би испитивало креативност ученика у контексту специфичних физичких концепата. Ипак, Програм за међународну процену ученика (PISA), под окриљем OECD-а (Organisation for Economic Co-operation and Development), у Тому III под називом „Креативни умови, креативне школе“, представља резултате осме рунде PISA тестирања [108]. Овај том, по први пут у историји PISA тестирања, из 2022. године, процењује способност ученика из 64 земље да се укључе у креативно размишљање, које је дефинисано као способност генерисања оригиналних и разноврсних идеја.

Анализа укључује детаљан преглед карактеристика ученика који показују креативно размишљање у различитим контекстима и испитује како се ове карактеристике и ставови разликују међу и унутар различитих земаља. Такође, представљене су разлике у постигнућима на основу пола, социо-економског статуса и специфичности школа. Анализа обухвата и увиде у ставове директора школа и наставника према креативном размишљању, указујући на чињеницу да се могућности за развој креативности значајно разликују од школе до школе.

Резултати сугеришу да су образовни системи који су усвојили интегрисане приступе за подстицање и процену креативности остварили најбоље резултате. Примери ових приступа укључују увођење интердисциплинарних модула и промоцију експерименталног учења у школским програмима. Резултати PISA 2022 тестирања јасно показују да је креативно размишљање вештина која се може развити и унапредити кроз образовни систем, што отвара важна питања за будуће образовне политике и унапређење наставних метода [108].

2. 3. 1. Резултати анкетирања наставника о стимулисању развоја креативности у настави физике

У публикацији „Како обесхрабрити креативно размишљање у учионици“ [109], аутор на духовит начин указује на контрапродуктивне методе које се могу користити у учионици, а које обесхрабрују креативно размишљање. Кроз ироничне примере, они упућују на то како одређени ставови и веровања могу инхибирати креативност код ученика. На пример, промовисање идеје да постоји само један исправан одговор спутава креативно и дивергентно мишљење. Инсистирање на страху од наставника противи се слободи изражавања и развоју нових идеја. Стриктно придржавање наставног програма, без прилике за истраживање властитих идеја ученика, као и занемаривање значаја оригиналних мисли, обесхрабрује ученике да развијају јединствене идеје. Постављањем граница између различитих предмета, ученицима се отежава повезивање знања из различитих области [109].

У закључцима неколико истраживања која се односе на развој креативности наглашавају се способност повезивања различитих области знања, способност

успостављања неочекиваних веза, умеће проналажење проблема, а не само њихово решавање [110-112].

Упитник дат у Прилогу 1 осмишљен је превасходно са циљем да се направи увид у рад наставника физике у стимулисању креативности међу ученицима. Иако је узорак испитаника мали, прикупљени подаци могу да послуже као полазна основа за идентификацију тренутног става према креативности код одређеног броја наставника физике у Србији. Упитник је структуриран тако да се прва три питања односе на демографске податке испитаника. Четврто питање односи се на учесталост примене интердисциплинарног приступа, који је често повезан са побољшањем креативног размишљања ученика, јер омогућава повезивање знања из различитих области [113]. Пето питање се односи на праксу подстицања ученика да постављају питања. Начини на које наставници подстичу ученике да постављају питања током часа могу утицати на развој критичког мишљења и креативности. Шесто питање је формулисано на основу ставова да одговори наставника на нетипична питања ученика могу стимулисати или инхибирати креативност [3]. Учесталост примене метода које омогућавају различите приступе решавању проблема показује колико наставници подстичу креативност, и на њу се односи седмо питање упитника [114]. Осмо питање се односи на начине оцењивања креативности, јер оно може мотивисати ученике да користе иновативне приступе решавању задатака [115]. Приступ грешкама као приликама за учење и истраживање нових идеја помаже у развоју креативности код ученика, што обухвата девето питање упитника [116]. Десето питање се односи на процену наставника о томе колико омогућавају ученицима да истражују теме које их занимају [117]. Једанаесто питање се односи на сарадњу међу ученицима која може значајно допринети креативном размишљању кроз размену идеја [50]. Дванаесто питање се односи на методе које наставници користе за подстицање критичког мишљења, засноване на ставу да су оне важан елемент у развоју способности ученика да евалуирају научне теорије и резултате [118]. Тринаесто питање се односило на начине провере креативности, док се четрнаестим питањем од наставника захтевало да процене своју способност и сигурност за рад са креативним ученицима.

Наведена питања су структурирана тако да омогућавају испитаницима да изразе своје мишљење или став на скали од четири нивоа. Петнаесто питање је било отвореног

Теоријске основе истраживања – Конструктивизам

типа и омогућавало је наставницима да додају питања која сматрају релевантним за стимулисање креативности. У табели 1 су представљени одговори 22 наставника који су одговорили на сва питања са понуђеним одговорима.

Табела 1. Одговори наставника физике на питања из упитника о подстицању креативности

Питање	Одговор	Број одговора	Број одговора [%]
4. Колико често држите инердисциплинарне часове?	Понекад	13	59
	Често	5	23
	Никада	3	14
	Увек	1	4
5. На који начин подстичете ученике да постављају питања током часа?	Активно тражим од ученика да постављају питања током часа	18	82
	Охрабрујем питања али се стриктно држим плана часа	3	14
6. Како реагујете на „Необична“ питања или идеје ученика?	Анализирам их и дискутујем , показујем како могу бити релевантна	11	50
	Користим их као прилике за истраживачко учење и даљу дискусију	7	32
	Покушавам да их брзо превазиђем и настављам са планом часа	1	5
7. колико често примењујете методе које омогућавају ученицима да истражују и решавају проблеме на више начина?	Често	12	55
	Понекад	8	36
	Увек	2	9
8. На који начин оцењујете креативност ученика у решавању задатака из физике?	Посебно оцењујем и награђујем креативне приступе и решења	10	46
	Оцењујем креативност као део укупне оцене	9	41

Теоријске основе истраживања – Конструктивизам

	Признајем креативност, али не дајем јој предност у оцењивању	1	5
9. Како користите грешке ученика и њихове неуспехе током учења?	Да охрабрим размишљање изван устањених оквира	10	46
	Као прилике за исправку и учење	5	23
	Као прилике да истражимо нове идеје	5	23
	За истицање важности прецизности и пажње у току рада	2	9
10. Да ли допуштате и подстичете самостално истраживање ученика на теме које их занимају унутар и ван програма наставе физике?	Увек, водим рачуна да то буде саставни део учења	8	36
	Често као део њихових пројеката	7	32
	Понекад, ако има времена	5	23
11. На који начин промовишете сарадњу међу ученицима?	Сарадњу ученика сматрам кључном	8	36
	Организујем и охрабрујем активности које захтевају тимски рад	11	50
	Допуштам, али не инсистирам на сарадњи	3	14
12. Како подстичете ученике да размишљају критички и вреднују научне теорије, експерименте и резултате?	Стално подстичем ученике да постављају питања, критички вреднују постојеће идеје	9	41
	Редовно користим дискусије и анализе како бих подстакао критичко размишљање	8	36
	Повремено постављам питања која захтевају размишљање, али не допуштам дубљу дискусију	3	14
14. Процените своју компетенцију за препознавање и рад са креативним ученицима	Висока	11	50
	Ниска	6	27
	Веома висока	3	14
	Веома ниска	1	5

Одговори показују да већина анкетираних наставника повремено организује интердисциплинарне часове, док мањи број њих често користи такав приступ. Неколико наставника признаје да никада не држи такве часове. Већина наставника активно подстиче ученике да постављају питања током часа, мањи број наставника охрабрује

постављање питања али се ипак строго држи плана часа. Анализа даље показује да се већина наставника одлучује за анализу и дискусију о необичним питањима ученика, док један део наставника користи таква питања као прилике за истраживачко учење. Мањи број наставника признаје да покушава да брзо превазиђе таква питања и да се врати плану часа. Већина наставника је изјавила да често користи методе које омогућавају ученицима да истражују различите начине решавања проблема, док је неколико њих навело да увек примењује такве методе. Мањи број наставника навео је да то ради повремено. Одговори показују и то да значајан број наставника посебно оцењује креативност и награђује креативне приступе и решења, док други креативност оцењују као део укупне оцене. Неколико наставника признаје креативност али јој не даје значај у оцењивању.

Даљом анализом одговора проналази се да наставници користе грешке као прилике за охрабривање креативног размишљања, истраживање нових идеја и истицања прецизности у раду. Примећено је да углавном подстичу самостална истраживања ученика. Већина анкетираних наставника промовише сарадњу ученика и сматра је кључном за успех наставе, док неки наставници допуштају сарадњу али без инсистирања на њој. Већина наставника редовно примењује дискусије и охрабрује питања како би подстакли критичко мишљење, док неки ограничавају дубље дискусије и фокусирају се на изношење чињеница. Наставници који су одговорили на тринаесто питање навели су да креативност ученика процењују кроз поступке у решавању задатака и реализацији експеримената, и кроз праћење креативног изражавања у презентацијама пројеката. Што се тиче процене сопствених компетенција већина наставника истиче да их сматра веома високим или високим, мањи број наставника их сматра ниским или веома ниским.

Одговори наставника рефлектују њихову самопроцену која може бити субјективна и подложна пристрасности, било да је реч о преувеличавању својих способности или, са друге стране, о недовољном признавању својих постигнућа. Наставници могу имати тенденцију да одговарају онако како би требало, а не како заиста раде, што може довести до искривљене слике о њиховом стварном учинку. Због таквих ограничења, неопходно је увести системске методе спољашњег вредновања рада

наставника како би се објективније процењивало колико они заиста подстичу креативност у настави физике

Иако су одговори наставника у овом упитнику формално одвојени од одговора и рада ученика чија је креативност мерена, њихово укључивање у дискусију у оквиру ове дисертације аутор сматра важним јер могу бити релевантни за будућа истраживања у контексту развоја креативности. Одговори могу бити основа нових хипотеза о томе који аспекти наставе највише доприносе развоју креативности и како се различити педагошки приступи могу прилагодити да би њихов позитиван утицај био што је могуће већи. Даље истраживање би могло да се фокусира на испитивање међусобног утицаја наставничких пракси и ученичке креативности на ширем узорку. Такође, ови подаци могу помоћи у дизајнирању интервенција које су усмерене на побољшање наставничке компетенције у препознавању и подстицању креативности код ученика.

Глава 3.

Теоријске основе истраживања – Демонстрациони експерименти о бестежинском стању

3.1. Конфузија око концепата тежине и бестежинског стања

У једној од збирки задатака за осми разред у наставној теми Електрично поље налази се следећи задатак: *Колико треба да буде наелектрисање куглице и ког предзнака да би она мировала у електричном пољу јачине 800 N/C усмереном вертикално надоле? Маса куглице је 10 g. ($g=10 \text{ m/s}^2$)*

Ученик осмог разреда, претпоставка је, научио је у претходним разредима да је „тежина тела сила којом тело делује на хоризонталну подлогу или затеже нит о коју је обешено“. Такође, научио је и да је „бестежинско стање стање тела у коме оно нема тежину“. Претпоставимо да је запамтио да се бестежинско стање може реализовати у систему који слободно пада⁷ [119].

Претпоставимо и то да исти ученик повезује своја знања, у складу са захтевима наставе и стиче компетенцију за решавање проблема. Једно од питања које може да постави наставнику односи се на то да ли је куглица из задатка у бестежинском стању.

⁷ „Могуће је чак и то да тежина тела буде једнака нули, што се назива бестежинско стање. Тежина тела је сила којом тело услед Земљине теже делује на хоризонталну подлогу или затеже нит о којој виси. Ако тих сила нема, нема ни тежине. Тело које слободно пада налази се у бестежинском стању.“ [119].

Заиста, не постоји тело које трпи њену тежину. Пошто систем из задатка може да се нађе у слободном паду поставља се питање о решењу задатка у том случају? Ако куглица већ нема тежину лебдећи у електричном и гравитационом пољу, а у слободно падајућем систему нема тежину, ученик се може запитати да ли су ове две различите ситуације за куглицу идентичне и с правом може питати наставника да ли је захтев задатка испуњен у оба случаја⁸.

Наставник из америчког школског система би се снашао пред таквим питањем, наравно ако припада групи наставника који примењују гравитациону дефиницију тежине, према којој је тежина гравитациона сила којом нпр. Земља делује на тело [120-122]. Ученик осмог разреда, одласком у америчку школу, преласком на нову дефиницију тежине, би прешао из зачараног круга у још зачаранији. Следећи гравитациону дефиницију тежине, он би могао да закључи да на тело које слободно пада не делује гравитациона сила иако зна да је то, заправо, једина сила под дејством које тело пада. Због тога је веома важно наглашавати из ког референтног система се посматрају појаве – из система који слободно пада или из система на Земљи.

Шта би урадио наставник који примењује операциону дефиницију тежине према којој је тежина контактна сила између тела и ваге [123-125]? Вероватно је да би морао да преиспита како уводи и представља ученицима појам бестежинског стања, посебно у контексту слободног пада. Да ли је неопходно везати се за дефиницију тежине или је могуће разматрати концепт бестежинског стања мимо дефиниције да је то стање у ком тело нема тежину.

Један задатак који припада типу задатака који се често појављују у збиркама задака гласи: Колико дуго јабука пада када се откачи од гране на висини 3 m од тла. За решење задатка потребно је применити једначину за пређени пут код равномерно убрзаног праволинијског кретања са убрзањем које је једнако гравитационом убрзању, и применити математичко умеће множења, дељења и кореновања. Јасно је да је задатком обухваћен концепт слободног пада, иако јабука не пада кроз вакуум. Који потенцијал

⁸ Према Принципу еквиваленције, у систему који слободно пада, гравитациона сила ће бити анулирана, због чега куглица неће бити у стању мировања већ равномерно убрзаног кретања; њено наелектрисање може имати било коју вредност.

носи овај задатак за подстицај развоја креативности ученика? Можда ће неко нацртати себе са штоперицом у руци поред стабла јабуке. Можда ће неко закључити да је Њутн имао довољно времена да избегне наводни ударац јабуке. Ако се узме у обзир да се исти текст понавља много пута, при чему се мења тело које пада и висина са које пада, онда постоји претња да израда задатака из физике, у којима више има математике, постане заморна и неинспиративна за учење.

Како би било да аутор овог задатка у јабуку постави црва, црва сумње по могућству. Под претпоставком да се црв налази у тунелу који је ископао у јабуци, може се поставити питање шта ће се дешавати са црвом док јабука буде падала. Претпоставимо да ученик који одлично зна образац за пређени пут код равномерно убрзаног праволинијског кретања зна и да се бестежинско стање остварује у слободном паду. То што је јабука у бестежинском стању $0,78\text{ s}$ није од посебног значаја јер се осим те констатације ништа друго не може закључити, посматрано са Земље. Али ако се узме у обзир однос црва и јабуке током слободног пада то може довести до дизајна експеримента од стране ученика са моделовањем јабуке и моделовањем црва, и открића шта ће се десити са црвом ако је првобитна претпоставка била погрешна, а потом и објашњења зашто црв није излетео из јабуке док је она падала. У истраживању које је описано у одељку 3.3.2. овог рада утврђено је наиме да су бројни одговори ученика такви да указују на њихово уверење да ће у систему који почне да пада предмети који су мировали почети да лебде.

Исту погрешну слику о тој појави представља и Насин водич за наставнике [126].

3.1.1. Тежина тела

Тежина се концептуализује и формално дефинише на различите начине међу физичарима, у уџбеницима и од стране наставника.

Неколико студија потврђује да ученици имају одређене мисконцепције у вези са тежином и тешкоће у примени тих знања, посебно у контексту бестежинског стања и убрзања, када се од њих тражи да објасне шта би се догодило када би се свакодневне активности, као што је ходање на пример, одигравале у условима бестежинског стања [127-129].

Емпиријске студије у различитим земљама и на различитим нивоима наставе препознају конфузију и неспоразум како међу ученицима тако и међу наставницима у погледу односа тежине, гравитације и резултата мерења тежине [128-130].

Тежина је дефинисана на неколико различитих начина; у америчким уџбеницима на један од два начина – операционом дефиницијом или, чешћом, гравитационом дефиницијом, док се у руским и немачким уџбеницима прави јасна дистинкција између гравитационе силе и тежине. С обзиром на то да се наш образовни систем развијао највише под утицајем европског окружења и код нас је заступљена таква дефиниција тежине. У књизи Физика за школу и самоуке из 1926. године тежина је дефинисана на следећи начин – Притисак, што га тијело због земаљске теже изводи на хоризонталну подлогу, или затезање нити, зове се апсолутна тежина или краће – тежина [131].

У америчкој литератури постоји неколико дефиниција тежине заснованих на гравитационој сили:

- „Тежина је гравитациона сила Земље“;
- „Сила којом Земља делује на тело назива се тежина тела“;
- „тежина тела је укупна гравитациона сила којом на тело делују сва друга тела у универзуму“ [121, 132].

Често се тежина сматра фундаменталном особином материје под утицајем гравитационог поља. Генерална конференција за мере и тегове је, 1901. године, прогласила да је „тежина тела производ његове масе и убрзања услед гравитације“ [133]. Међународна унија за чисту и примењену хемију дефинише тежину⁹ као силу гравитације која делује на тело. Међународна организација за стандардизацију тежину дефинише као ону силу која када делује на тело саопштава му убрзање једнако локалном гравитационом убрзању. При одређивању убрзања слободног пада, тачност FGS гравиметра¹⁰ може бити $1 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ до $2 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. На пример, локално гравитационо убрзање може се измерити као $9,815\ 472\ 79 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

⁹ У хемији се користи термин „атомска тежина“, који се не односи на тежину атома, већ на просечну масу атома елемента изражену у атомским јединицама масе, узимајући у обзир природну распрострањеност његових изотопа.

¹⁰ FGS гравиметар (Gravity Gradiometer Sensor) је прецизни инструмент који се користи за мерење просторних промена у гравитационом пољу Земље. Овај инструмент се користи у геофизичким

Ставови физичара по питању дефиниције тежине се разликују по томе да ли треба користити операциону или гравитациону дефиницију, док неки износе став да треба користити обе дефиниције има и оних који предлажу елиминисање појма тежине из наставе физике. У статичким ситуацијама, две концептуално различите дефиниције воде до исте вредности тежине, али у ситуацијама убрзаног кретања, ове дефиниције доводе до различитих вредности тежине тела. Операциона дефиниција тежине је она која је ближа интуитивној концепцији тежине него њена гравитациона дефиниција, јер повезује осећај тежине мерен вагањем и перципиран руком која држи тело. Због тога је примена у настави операционо дефинисане тежине лакша јер се она може спровести као усавршавање интуитивног знања [134].

У једном од уџбеника на руском језику [135] наводи се да је тежина тела сила којом тело у стању мировања делује на ослонац због гравитационог привлачења ка Земљи. То значи да су док је тело у стању мировања интензитети силе теже и тежине једнаки и износе mg . Осим што ова једнакост важи када су тело и ослонац у стању мировања у односу на Земљу, важи и у случају равномерног праволинијског кретања. Ако се систем креће убрзано, константним убрзањем, тежина тела може бити већа или мања од силе теже, у зависности од смера убрзања система. Ако је убрзање система једнако гравитационом убрзању односно убрзању слободног пада, тада је тежина тела једнака нули, односно тело се налази у бестежинском стању.

Мјакишев указује на посебност тежине у смислу да се она манифестује само када постоји контакт са ослоном, да је она једнака сили гравитације на половима, и да је на половима већа него на екватору, чиме потенцира њену релативност [136].

У руском уџбенику аутора Јаворског и Пинског наводи се да сва тела падају на Земљу ако их у томе не ометају друга тела, да је узрок падања сила гравитације и да уколико тела не падају то је због тога што је њихово кретање ограничено другим телима — ослонцима, нитима, оругама, зидовима [137]. Тежина је дефинисана као сила којом тело делује на ослонац (притиска хоризонтални ослонац или затеже нит) услед привлачења Земље. Поред тога наводи се да ова дефиниција тежине важи у случају

истраживањима, истраживању минералних ресурса, и у различитим научним и инжењерским апликацијама.

мирања или равномерног праволинијског кретања тела и ослонца. Даље се наводи да строже посматрано тежина представља резултанту „силе гравитационог дејства Земље и центрифугалне силе инерције, која делује на тело у ротационом систему референце“, те то што су центрифугалне силе много мање од гравитационих сила омогућава да буду занемарене и да се тежина представи као производ масе и убрзања слободног пада.

Хјуит је 2013. године у часопису *The Physics Teacher* поставио питање — Постоји ли најбоља дефиниција тежине? Иако В. Леонг наводи да је јасно зашто се тежина сматра силом којом тело делује на ослонац, он ипак указује на могућност да се ученицима могу представити различите дефиниције тежине следећом аргументацијом: „Гравитациона дефиниција је теоријска, док је операциона дефиниција експериментална. Из перспективе филозофије науке, дефиниција физичког концепта треба да садржи и теоријске и експерименталне информације. Због тога би требало да постоје обе дефиниције за овај физички концепт“ [138]. Ове две дефиниције дају исти резултат у случају мирања тела на хоризонталној подлози. До разлике долази, пре свега, у околностима убрзаног кретања, али и у ситуацијама када се тело налази на стрмој равни или када је потопљено у течност.

Ј. Фигуеиредо износи да с обзиром на то да концепт „тежине“ није фундаменталан у физици, већа корист у настави физике може се остварити без употребе израза „тежина тела“ [139].

Петнаесторо наставника физике из неколико основних и средњих школа у Србији је анкетирано упитником о обради садржаја о бестежинском стању (Прилог 2). Међу њима нема оних који прибегавају гравитационој дефиницији. Међутим, познат број наставника наводи да је бројна вредност тежине mg и истиче да је тежина последица деловања силе Земљине теже, без наглашавања да се тело о чијој тежини се говори, налази на непокретном ослонцу. Уочено је да су дефиниције изнете од стране наставника различите али углавном онакве какве се могу прочитати у уџбеницима. Мањи број наставника је изнео дефиницију која се не среће у уџбеницима а која гласи – Тежина тела је сила којом тело нормално делује на подлогу на којој се налази или затеже нит о коју је обешено. Прецизну дефиницију тежине изнео је један наставник: „Сила којом тело притиска подлогу или затеже конац, а операционо као силу коју показује динамометар када се о њега окачи тело, а он је у стању мирања или униформног

кретања.“ Одговори анкетираних наставника у Србији разликују се и по томе што неки од њих уводе појам привидне тежине. Наиме неки од њих тврде да је тежина сила којом тело делује на подлогу искључиво под дејством гравитационе силе, наводећи да је гравитациона сила узрок а тежина тела последица. Из тог разлога, тежини која се читава на динамометру о који је окачено тело потопљено у течност додељују име — привидна тежина. Придев привидна додатно компликује разумевање појма тежине јер произилази да тежина има неку апсолутну вредност или да постоји привилегована ситуација у односу на коју се посматрају све друге у којима се тело може наћи.

У одређеним српским уџбеницима за основну школу проналазе се следеће дефиниције тежине:

- Тежина тела је сила којом, услед силе теже, тело притиска хоризонталну подлогу или затеже тело (конопац, канап, жицу...) којим је окачено [140];
- Тежина тела је сила којом тело притиска подлогу на којој се налази или затеже канап или жицу о коју је обешено [141];
- Сила којом тело, због деловања силе Земљине теже, притиска подлогу или затеже конач о који је обешено има посебан назив – тежина тела [142].

Једна од дефиниције тежине у уџбенику физике издавача Нови Логос за први разред гимназије је:

- Тежина тела представља силу којом тело притиска подлогу на којој се налази (или затеже канап о који је обешено). Разлог постојања тежине за тела која се налазе на Земљиној површини јесте сила Земљине теже [143].

У поменутом уџбенику се наводи да тежина неће бити једнака на различитим географским ширинама или надморским висинама:

- Сила којом тело делује на подлогу зависиће од положаја тела и начина његовог кретања и кретања подлоге. Уколико мирује на хоризонталној подлози, тело ће је притискати услед деловања Земљине теже [143].

У уџбеницима физике у Србији се, углавном, наглашава разлика између силе Земљине теже и тежине у контексту нападних тачака, као и једнакост њихових бројних вредности, у случају да се тело налази на хоризонталној подлози. У једном уџбенику стоји да „тежина и сила Земљине теже имају исту бројну вредност, правац и смер“ [144]. Ако знатижељан ученик са почетка овог поглавља физику учи управо из поменутог

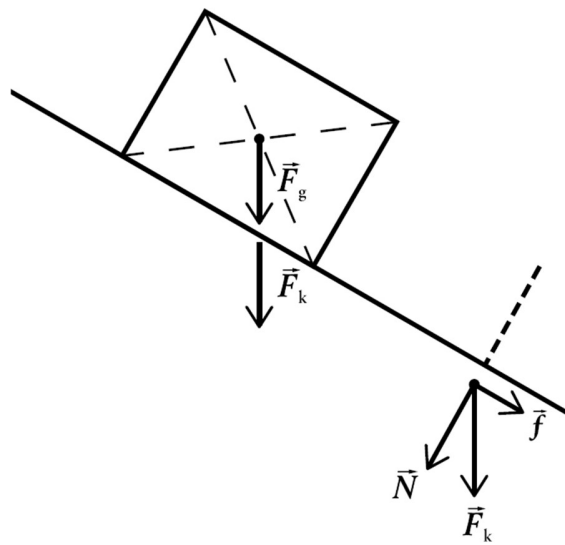
удбеника може да постави следеће питање – Да ли је увек правац и смер тежине подударан са правцем и смером гравитационе силе? Ако је тежина тела она сила која затеже нит о коју је обешено онда за све положаје клатна које осцилује, изузев равнотежног, правац тежине и правац гравитационе силе заклапају угао различит од нуле. Са друге стране у искуству ученика је да тела имају тежину и када се налазе на стрмој равни. У једноставном огледу са вагом на стрмој равни закључује се да што је већи угао коју раван заклапа са хоризонталом то ће тежина тела бити мања. Бар ће мању вредност показати инструмент за мерење тежине. У том смислу правац тежине је различит од правца гравитационе силе.

Из различитих дефиниција тежине тела уочава се да неке дефиниције садрже одредницу „хоризонтална подлога“ док друге упућују на деловање уопштено на подлогу. Јасно је да тело може мировати на хоризонталној подлози и када је потопљено у течност. Тада, у складу са Архимедовим законом, оно бива лакше односно његова тежина је мања у односу на случај пре потапања. Тако је из перспективе живота на Земљи у ваздушној средини. Из перспективе живота у воденој средини тежина се преласком у ваздушну средину мења тако што њена бројна вредност расте.

Таибу наводи да аутори који тежину повезују са гравитационом силом сматрају је вектором, за разлику од аутора који је повезују са интензитетом гравитационе силе. Када је реч о операционој дефиницији тежине наводи да чак и та „веома пожељна дефиниција није без концептуалних и језичких тешкоћа. Операциона дефиниција тежине може значити један од три конструкта: силу којом тело делује на подлогу, силу којом подлога делује на тело које се на њој налази, и интензитет било које од ових сила. Ови конструкти су концептуално различити, а сама операациона дефиниција је двосмислена“. Сила којом тело делује на подлогу и сила којом подлога делује на тело су контактне силе једнаке по интензитету али различите по правцу и смеру према Трећем Њутновом закону. Таибу даље наводи да то што се вектори ових сила разликују по оријентацији „може изгледати тривијално или као небитан проблем; међутим, није јасно зашто неки едукатори вектор силе са смером наниже означавају као операциону дефиницију тежине“. Због тога је сагласан са Брауновим предлогом избегавања термина тежина, али и предлаже да стално треба подсећати „научнике и наставнике на разлику између

термина и онога што они представљају како се аргумент о семантичким питањима не би претворио у расправу о погрешним схватањима“ [145, 146].

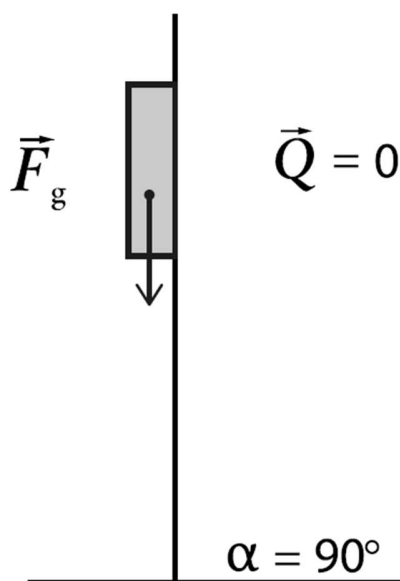
Полазећи од резултата истраживања Л. Раденковића, нападна тачка нормалне силе налази се у тачки на телу која представља пресек правца силе теже и додирне површине тела и стрме равни. Према томе, нападна тачка тежине тела лежи на истом правцу али се налази на стрмој равни. У дисертацији Л. Раденковића [147] дискутовано је да се задаци из механике могу решавати и применом једне контактне силе уместо двеју сила – нормалне силе и силе трења (Слика 3.1.1). Контактној сили којом стрма раван делује на тело [148], према Трећем Њутновом закону одговара контактна сила којом тело делује на стрму раван. Компоненте контактне силе којом тело делује на раван могу бити тежина тела и сила статичког трења. Тада би тежина била она компонента којом тело делује нормално на стрму раван. Иако је тежину најлакше дефинисати за хоризонтални правац треба имати у виду да је хоризонтални правац одређен вертикалним правцем, правцем деловања гравитационе силе.



Слика 3.1.1. Контактна сила \vec{F}_k делује на подлогу; десно је приказана разложена контактна сила на нормалну компоненту \vec{N} и силу статичког трења \vec{f} .

Постављањем тела на хоризонталну подлогу која се једним својим крајем подиже заклапајући све већи угао са хоризонталним правцем, уочиће се да се тежина мења у зависности од угла. Да ли се у том случају тежина може „одвојити од тела“ и посматрати

као величина која својом вредношћу манифестује околност у којој се тело налази? Ако је тежина на хоризонталној подлози mg , са променом нагиба подлоге тежина постаје $mg\cos\alpha$, при чему је α угао између равни подлоге и хоризонталног правца. За $\alpha = 90^\circ$; $\cos\alpha = 0$, тело се одваја од равни која је заузела вертикалан положај и оно, без ослонца на који би деловало, прелази у бестежинско стање (Слика 3.1.2).



Слика 3.1.2. Тежина тела на „вертикалном ослонцу“.

3.1.2 Бестежинско стање

Осим тешкоћа у дефинисању тежине, бројне су тешкоће у интерпретацијама и разумевању бестежинског стања. Бестежинско стање интензивира разлике између дефиниција тежине. Дихотомија у дефиницији тежине створила је супротстављене ставове о томе како треба проучавати феномен бестежинског стања [149-154]. Непотпуна или нетачна тумачења појава у бестежинском стању проналазе се и литератури. Тако, на пример, Мјакишев наводи да из једнакости убрзања које Земља преноси свим телима, произилази могућност појаве бестежинског стања при нагом преласку авиона у бестежинско стање које наступа при слободном паду, али не

наглашава прелазак у бестежинско стање; према њему појаве ће се одвијати као да је систем већ био у бестежинском стању када су оне започеле [136]. Он наводи: „У том тренутку наступа бестежинско стање — пилот и кабина, с истим убрзањем, падају ка тлу и плафону кабине. Као резултат особа ће слободно лебдети изнад пода, не вршећи притисак на околне предмете. Многобројни експерименти су изведени како би се створило бестежинско стање, На пример, авион убрзава и, након неког времена, креће се строго по параболи. У кабини се тада посматрају необични феномени: клатно се зауставља у било ком положају, а вода излази из чаше у облику кугле. Велика сферна капљица лебди у ваздуху и заједно са њом се заустављају, као обешене на невидљивим нитима, сви остали предмети независно од њихове масе и облика.“ Преласком система у бестежинско стање, клатно које је осциловало неће нужно остати у положају у ком је било у тренутку када је систем почео да пада. Ова разлика је важна за наставу физике у том смислу што бестежинско стање може бити остварено слободним падом, али је систем који ће слободно падати морао претходно бити у неком другачијем стању. Ученици имају прилике да посматрају ефекте бестежинског стања, али са почетним условима из стања које је претходило бестежинском.

Неки експерименти који су приказани у литератури, као што су они Мјакшевљеви, могу одговарати експериментима који би се спровели у свемирској станици која је у орбити Земље. У таквом окружењу, услови бестежинског стања су константни и експерименти могу почети и завршити док је систем у истом стању. Мјакишев износи да појава бестежинског стања код тела значи да тела не притискају ослонац, на њих не делују силе реакције ослонаца, већ делује само сила гравитације Земље. Он потенцира разлику између гравитационе силе и тежине кроз губитак тежине при слободном паду током кога гравитациона сила наставља да делује. У садржају који се односи на поменути разлику не износи у односу на који референтни систем се појава посматра.

Према Њутновим законима свако тело у слободном паду ће бити у бестежинском стању јер су све спољашње силе елиминисане и тело се креће искључиво под дејством гравитационе силе [155]. Овај концепт се може визуелизовати замишљањем тела у затвореној кутији (лифту) која пада према Земљи. Кутија и тело „доживљавају“ исто

убрзање услед гравитације, те током пада нема релативног убрзања између тела и кутије што објашњава одсуство тежине тела током пада.

Са друге стране Ајнштајнова општа теорија релативности објашњава како перцепција гравитације може бити измењена у различитим системима референце. Према принципу еквиваленције хомогено гравитационо поље и униформно убрзање су еквивалентни [156, 157].

Шарма и сарадници су, у својим истраживањима користили задатак објашњавања парадокса да астронаут, коме се није променила маса у свемирском броду који је у Земљиној орбити, када се мери на ваги читава нулу. Међу закључцима до којих су, поред осталих, дошли је и тај да је очигледно да многи ученици сматрају исправним тврђење да гравитација не делује унутар свемирског брода који је у орбити Земље. У даљем наводе да настава физике одбацује исправност овог концепта, због чега би имало смисла предложити реконструкцију садржаја наставе физике у школама и на универзитетима, која би укључила оперативну дефиницију тежине како би она била у складу са оним што показује вага када астронаут мери своју тежину у орбити у свемирском броду. Схватање да нема утицаја гравитације унутар свемирског брода који је у орбити Земље не би требало да буде класификовано као ненаучно алтернативно схватање. Напротив, Ајнштајнов принцип еквиваленције такво схватање чини исправним када се појаве тумаче из система који слободно падају у гравитационом пољу (Sharma et al, 2004 преко [158]).

Према Паисовој књизи „Subtle is the Lord,“ у тексту о развоју Опште теорије релативности, Ајнштајн је писао о „најсрећнијој мисли“ свог живота: „Гравитационо поље има само релативно постојање за посматрача који слободно пада са крова куће, бар у његовој непосредној околини, нема гравитационог поља... Ако посматрач испусти нека тела, она ће остати у односу на њега у стању мировања или равномерног кретања, без обзира на њихову посебну хемијску или физичку природу (у овом примеру, наравно, занемарен је отпор ваздуха). Посматрач, дакле, има право да тумачи своје стање као стање мировања“ [159]. Ајнштајн и Инфелд у књизи „The Evolution of Physics“ наводе да гравитационо поље у систему који слободно пада постоји за посматрача изван тог система, док за посматрача који се налази у том систему гравитационо поље не постоји

[160]. Да сва тела, без обзира на њихову масу, слободно падају истим убрзањем¹¹ је идеја коју је први изнео Галилеј почетком XVII века. Пре тога је у науци преовладало Аристотелово мишљење да „ тешка“ тела падају брже од „лаких“. Галилеј је оповргао ово мишљење посредством експеримената са стрмим равнима и показао да сва тела убрзавају једнаким убрзањем када се занемари отпор ваздуха. У систему који слободно пада¹², а то значи неинерцијалном јављају се инерцијалне силе, које свим телима у њему саопштавају једнака убрзања, независно од њихове масе. Поред (фиктивних) инерцијалних сила једина сила у природи која свим телима саопштава исто убрзање, g независно од њихових маса, је гравитациона сила.

Како је Ајнштајново размишљање проширило Њутново разумевање слободног пада¹³, уводећи концепт релативности силе и убрзања, тако се наставним садржајима

¹¹ Иако се слободним падом назива кретање тела под дејством једне једине силе гравитације јер отпор ваздуха може значајно да утиче на карактеристике пада, врло често се апроксимира да је пад тела кроз ваздух близак слободном паду.

¹² У свим убрзаним системима.

¹³ Интеракција тела масе m које се налази у гравитационом пољу тела масе M , на растојању r од њега, у Њутновој механици се описује релацијом:

$$F = \gamma \frac{m_g M_g}{r^2} = m_g g$$

Индекс g указује на гравитациону интеракцију. Одговарајуће масе у изразу су гравитационе масе, односно оне масе које мењају простор око себе стварајући гравитациона поља.

Свако тело на које делује било која сила добија одговарајуће убрзање:

$$F = m_i a_i$$

Индекс i указује да је реч о маси као мери инертности, која квантитативно представља меру супротстављања тела промени његове брзине.

За убрзање тела које слободно пада, према претходним изразима следи:

$$a = \frac{m_g}{m_i} g$$

може приступити из такве перспективе и показати да релативност кретања тела унутар система који слободно пада потиче из фундаменталне повезаности између гравитационог поља и убрзања у физици.

Ајнштајнов принцип еквиваленције тврди да је локално у малим деловима простора и времена, немогуће разликовати убрзање узроковано спољашњом силом и гравитационо убрзање које је последица постојања гравитационог поља. Када тела падају слободно, она падају „једнако“, што значи да у систему који пада нема релативног убрзања међу њима. За посматрача у слободном паду, чини се као да гравитационо поље нестаје. Иако гравитационо поље и даље постоји у систему који слободно пада, његови ефекти су неутралисани за посматраче унутар тог система, стварајући привид да гравитационо поље нестаје. Ефекти локалног хомогеног гравитационог поља не разликују се од ефеката убрзања у одсуству гравитације [161]. У малој, затвореној лабораторији није могуће разликовати да ли лабораторија мирује у гравитационом пољу или равномерно убрзава у простору без гравитације¹⁴.

Експерименти веома велике прецизности показали су једнакост ових двеју маса, са грешком реда величине 10^{-12} . Посматрач у систему референце који слободно пада закључио би да се налази у стању мировања. Гравитационо поље привидно нестаје у систему референце који слободно пада као последица његовог убрзања.

Нема експеримента којим би се могла уочити разлика између равномерног убрзања и хомогеног поља теже, што је последица једнакости гравитационе и инерцијалне масе. Ајнштајнова идеја о једнакости ових маса представља манифестацију еквивалентности која у природи постоји између гравитације и инерције.

Ајнштајнов принцип еквиваленције важи само у малим деловима простора, у којим се испољава хомогеност гравитационог поља. У великим областима простора, када до изражаја долази нехомогеност гравитационог поља, не постоји могућност избора таквог неинерцијалног система референце у коме би инерцијалне силе имале исти правац као као гравитациона сила. Реално гравитационо поље је централно. Гравитациона сила је усмерена ка центру масе која је изазива и мења се обрнуто пропорционално квадрату растојања. Не постоји убрзање система референце којим би могла да се добије таква инерцијална сила јер су приликом убрзања инерцијалне силе паралелне једна другој.

¹⁴ Експерименталне потврде принципа еквиваленције укључују прецизна мерења као што је Eötvös учинио упоређујући у гравитационом пољу Земље убрзања двају тела различитих маса и састава. У савременијим верзијама овог експеримента користе се торзионе ваге и ласер-интерферометријске технике за

Када тело или посматрач слободно падају под утицајем гравитације, они су у стању у ком престају да осећају присуство гравитационих сила, упркос томе што су под њиховим деловањем. Ово је последица чињенице да гравитација делује једнако на све делове система који слободно пада. У физичком смислу, ово се објашњава путем једноставне чињенице да у довољно малом делу простора, унутар ког се може занемарити нехомогеност гравитационог поља, не постоје детектабилне разлике у гравитационом убрзању између различитих тачака тог дела простора.

У контексту Опште теорије релативности, локално нестајање гравитационог поља у слободном паду може се формално изразити кроз концепт геодезијских линија. Геодезијске линије су линије најкраћег растојања између две тачке простор-времена и представљају путању тела када је оно под утицајем искључиво гравитационе силе. Пошто посматрач у слободном паду следи геодезијску линију, он не осећа никакве силе гравитације јер се његово убрзање потпуно компензује закривљењем простор-времена [161, 164].

Једначине геодезијских линија изведене из Ајнштајнових једначина поља¹⁵ имају облик:

$$\frac{d^2 x^\nu}{d\tau^2} + \Gamma_{\sigma\mu}^\nu \frac{dx^\mu}{d\tau} \frac{dx^\sigma}{d\tau} = 0$$

постизање изузетно велике прецизности [162]. Развој технологије омогућио је експерименте у сателитима, попут оних реализованих у оквиру пројекта Gravity Probe А. У том експерименту, 1976. године, високо прецизни временски сигнал из атомског сата у свемирском броду упоређиван је са сигналом сличног сата на Земљи. Резултати су показали да је детектована разлика трајања сигнала у складу са предвиђањима Опште теорије релативности [163].

¹⁵ Ајнштајнове једначине поља из којих су претходне једначине изведене су:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -\kappa T_{\mu\nu}; \quad \kappa = \frac{8\pi\gamma}{c^4}$$

где је:

- $R_{\mu\nu}$ – Ричијев тензор,
- $g_{\mu\nu}$ – метрички тензор, R – Ричијев скалар,
- γ – гравитациона константа ($\gamma = 6,67430 \cdot 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$)
- c – брзина светлости у вакууму?,
- $T_{\mu\nu}$ – тензор енергије и импулса.

где су:

-
- $\Gamma_{\sigma\mu}^{\nu}$ – Кристофелови симболи друге врсте,
- x^{μ} и x^{σ} просторно-временске координате, а τ афини параметар

[165, 166].

Исказ „бестежинско стање — стање тела у коме оно нема тежину“ не пружа јаку основу за учење, посебно ако се инсистира на његовој репродукцији. С обзиром на то да демонстрациони експерименти описани у 4. глави овог рада, показују да је објашњавање бестежинског стања упутније из угла посматрача који је у таквом систему, те да се једнако може тврдити да је бестежинско стање оно у коме тело нема тежину али и оно у коме не делује сила потиска, односно оно у коме електричне и магнетне силе настављају да делују, бестежинско стање се може дефинисати као стање тела унутар система у коме гравитационо поље привидно нестаје, све док је систем у таквом стању. Као последица тога нестају и сви ефекти који се манифестују у гравитационом пољу. Да ли би, онда, бестежинско стање могло да се дефинише и као стање у коме нема силе теже, посматрано из система о чијем се бестежинском стању говори? Међутим ни у таквом исказу не лежи снажан потенцијал за учење. Поставља се питање да ли дефиниције треба стављати изнад разумевања појаве или је упутније довести ученика до нивоа разумевања чак иако дефинисање изостане. „Концепти или идеје постоје без обзира на имена која им дајемо“ [145]. У коначном, о знању се може судити онда када ученик достигне способност да самостално објашњава неку појаву, када он бива најближи дефиницији.

Појам референтног тела као веома важан концепт, можда нигде као у садржајима о бестежинском стању нема тако сјајну прилику да буде усвојен. У проучавању бестежинског стања важно је наглашавати да је ефекат нестанка гравитационог поља привидан и увек имати у виду референтно тело у односу на које се говори о привидном изостанку гравитационог поља.

3.2. Демонстрациони експерименти о бестежинском стању у програмима наставе физике у основним и средњим школама у Србији

Програм наставе физике може се посматрати са аспекта његовог дефинисања и остваривања. Програм који је званично усвојен може се сматрати интенционалним програмом¹⁶. Он обухвата циљеве образовања и васпитања, циљеве учења предмета, образовне стандарде, кључне појмове, упутство за дидактичко-методичко остваривање програма, и као такав описује целокупан процес, исходе, садржаје, компетенције. Он у великој мери одређује које вештине и знања ученици треба да стекну током образовног процеса. Дефинисани садржаји програма конкретизују се у уџбеницима кроз лекције. Њихов квалитет зависи од умећа аутора да лекције дизајнирају тако да оне служе остваривању постављених циљева. Из тог разлога садржаји уџбеника се сматрају потенцијално имплементираним програмом [167, 168]. Поред поменутог о наставном програму се може говорити са становишта његове имплементације од стране наставника. Такав, имплементиран програм, подразумева стварно стање у учионицама, и зависи од материјалних услова у школама, стручности наставника и њихове мотивације да доследно примењују наставни план и програм у складу са важећим правилницима, уз „додатак“ сопствене креативности и инвентивности. Успешност имплементације наставног плана и програма такође је условљена доступношћу адекватних наставних средстава и технологија, као и подршком коју наставници добијају у виду стручних усавршавања а на основу личног плана професионалног развоја. Са становишта исхода које ученици постижу може се говорити о усвојеном програму. Усвојеност програма се процењује преко оцена ученика, знања и вештина које су стекли током наставног процеса. Оствареност исхода представља мерило успеха имплементираних програма.

¹⁶ Програм наставе и учења се дефинише на институционалном нивоу у Заводу за унапређивање образовања и васпитања, у оквиру Центра за развој програма и уџбеника, а усваја од стране надлежног Министарства.

3.2.1. Демонстрациони експерименти бестежинског стања у настави физике у основној и средњој школи према програмима наставе и учења

Законом о основама система образовања и васпитања уређују се основе предшколског, основног и средњег образовања и васпитања и образовања одраслих и то:

- принципи,
- циљеви,
- исходи,
- стандарди образовања и васпитања, знања, вештина и ставова, једном речју компетенције.

Исходи образовања и васпитања су јасни искази о томе шта се од ученика очекује да зна, разуме и да је способан да покаже, односно уради након одговарајућег нивоа образовања и васпитања [169]. Они, поред осталог, представљају способност ученика да изрази и тумачи идеје у усменој и писаној форми, ради ефикасно као члан тима, зна како да учи, уме да разликује чињенице од интерпретација. Стандарди образовања и васпитања представљају скуп норми на основу којих се врши процена квалитета у систему образовања и васпитања.

Опште међупредметне компетенције се развијају кроз наставу предмета, и применљиве су у различитим ситуацијама и контекстима при решавању различитих проблема и задатака. Преглед општих међупредметних компетенција дат је у Табели 2.

Табела 2. Опште међупредметне компетенције за крај основног и средњег образовања и васпитања¹⁷

Опште међупредметне компетенције	
—за крај основног образовања и васпитања	—за крај средњег образовања и васпитања
компетенција за учење	компетенција за целоживотно учење
одговорно учешће у демократском друштву	комуникација
естетичка компетенција	рад са подацима и информацијама
комуникација	дигитална компетенција
одговоран однос према околини	решавање проблема
одговоран однос према здрављу	сарадња
предузимљивост и оријентација ка предузетништву	одговорно учешће у демократском друштву,
рад са подацима и информацијама, решавање проблема, сарадња и дигитална компетенција	одговоран однос према здрављу
	одговоран однос према околини
	естетичка компетенција
	предузимљивост и предузетничка компетенција.

¹⁷ Референтни оквир (2018) одређује осам кључних компетенција:

1. Компетенција писмености;
2. Вишејезична компетенција;
3. Математичка компетенција и компетенција у науци, технологији и инжењерингу;
4. Дигитална компетенција;
5. Лична, социјална компетенција и учење како учити;
6. Грађанска компетенција;
7. Предузетничка компетенција;
8. Компетенција за културну свест и изражавање [170]. Уочава се да постоји несклад између компетенција дефинисаних у нашем образовном систему и „Референтног оквира за кључне компетенције за целоживотно учење“ који је објавила Европска унија.

Циљ учења физике у основној школи јесте да ученици стекну базичну језичку и научну писменост, оспособе се да решавају проблеме и задатке у новим и непознатим ситуацијама, образложе своје мишљење у оквиру дискусије, упознају природне појаве и основне природне законе и њихову примену у свакодневном животу, развију мотивисаност за учење и достигну одговарајуће образовне стандарде.

Циљ учења физике у средњим школама, а првенствено у гимназији је стицање функционалне научне писмености, оспособљавање ученика за уочавање и примену физичких закона у свакодневном животу, развој логичког и критичког мишљења у истраживањима физичких феномена.

Програмски садржаји у настави физике структурирани су да задовоље основне методске захтеве, од поступности у увођењу нових појмова и закона, од једноставнијих ка сложенијим, преко очигледности у излагању наставних садржаја применом демонстрационих огледа и симулација, до повезања наставних садржаја, како хоризонтално, између различитих тема, тако и вертикално, између различитих нивоа наставе.

У правилницима о плану и програму наставе и учења наводи се да су „уз сваку тематску целину планирани демонстрациони експерименти, да ће ученици спонтано пратити ток посматраних појава, или непосредно учествовати у реализацији експеримената. Такође, наводи се да је пожељно да једноставне експерименте изводе ученици (самостално или у групама) на часу, или да их осмисле, ураде, анализирају и обраде код куће, користећи материјале из свакодневног живота; да треба користити и рачунаре (симулације експеримената и појава); да се користе постојећи ИКТ алати који симулирају физичке појаве“. Даље се наводи да се на садржајима програма може „у потпуности илустровати суштина методологије истраживачког приступа у физици преко посматрања појаве, мерења у циљу проналажења међузависности одабраних величина, и планирања нових експеримената ради прецизнијег утврђивања тражених односа“.

3.2.1.a. Основна школа

Садржаји о бестежинском стању, према програмима наставе и учења за основну школу [5, 6, 171], као и садржаји који на основу резултата ове дисертације омогућавају

корелацију са садржајима о бестежинском стању представљени су у табелама 3 — 5 према разредима у којима се обрађују, и поред њих наведени су дефинисани исходи.

Табела 3. Садржаји и исходи програма наставе физике шестог разреда [5]

VI разред	
Садржаји	Исходи
<p>Кретање: Кретање у свакодневном животу. Релативност кретања. Појмови и величине којима се описује кретање (путања, пут, време, брзина, правац и смер кретања). Векторски карактер брзине. Подела кретања према облику путање и брзини тела. Зависност пређеног пута и брзине од времена код равномерног праволинијског кретања. Променљиво праволинијско кретање....</p> <p>Демонстрациони огледи</p> <p>Кретање куглице по Галилејевом жлебу.</p> <p>Кретање мехура ваздуха (или куглице) кроз вертикално постављену дугу провидну цев са течношћу.</p>	<p>По завршетку разреда ученик ће бити у стању да:</p> <ul style="list-style-type: none"> • разликује врсте кретања према облику путање и према промени брзине и одређује средњу брзину; • објашњава узајамно деловање тела у непосредном додиру (промена брзине, правац и смер кретања, деформација тела) и узајамно деловање тела која нису у непосредном додиру (гравитационо, електрично и магнетно деловање);
<p>Сила: Узајамно деловање два тела у непосредном додиру и последице таквог деловања: покретање, заустављање и промена брзине тела, деформација тела (истезање, сабијање, савијање), трење при кретању тела по хоризонталној подлози и отпор при кретању тела кроз воду и ваздух. Узајамно деловање два тела која нису у непосредном додиру (гравитационо, електрично, магнетно). Сила као мера узајамног деловања два тела, правац и</p>	<ul style="list-style-type: none"> • разликује деловање силе Земљине теже од тежине тела; • повезује масу и инерцију, разликује масу и тежину тела, препознаје их у свакодневном животу и решава различите проблемске задатке (проблем ситуације);

<p>смер деловања. Векторски карактер силе. Слагање сила истог правца. Процена интензитета силе демонстрационим динамометром. Сила Земљине теже. Тежина тела као последица деловања силе Земљине теже.</p> <p>Демонстрациони огледи:</p> <p>Истезање и сабијање еластичне опруге. Трење при клизању и котрљању. Слободно падање. Привлачење и одбијање наелектрисаних тела. Привлачење и одбијање магнета.</p>	
<p>Притисак: Притисак чврстих тела. Притисак у мирној течности. Хидростатички притисак. Спојени судови. Атмосферски притисак. Торичелијев оглед. Зависност атмосферског притиска од надморске висине. Барометри...</p> <p>Демонстрациони огледи</p> <p>Стаклена цев са покретним дном за демонстрацију хидростатичког притиска. Огледи који илуструју разлику притиска ваздуха (како се ваздух може „видети”, како свећа може да гори под водом). Огледи који илуструју дејство атмосферског притиска.</p> <p>Лабораторијска вежба</p> <p>Одређивање зависности хидростатичког притиска од дубине воде.</p>	<ul style="list-style-type: none">• демонстрира утицај трења и отпора средине на кретање тела и примењује добре и лоше стране ових појава у свакодневном животу;• демонстрира појаву инерције тела, деформације тела под дејством силе, узајамно деловање наелектрисаних тела и узајамно деловање магнета, притисак чврстих тела и течности;• познаје примену хидростатичког притиска (принцип рада водовода, фонтане);• мери тежину, дужину, време...

Табела 4. Садржаји и исходи програма наставе физике седмог разреда у контексту бестежинског стања [6]

VII разред	
Садржаји	Исходи
<p>Кретање тела под дејством силе теже; Силе трења: Убрзање при кретању тела под дејством силе теже. Галилејев оглед. Слободно падање тела, бестежинско стање. Хитац навише и хитац наниже. Сила трења и сила отпора средине (трење мировања, клизања и котрљања). Утицај ових сила на кретање тела.</p> <p>Демонстрациони огледи: Слободно падање тела различитих облика и маса (Њутнов цев, слободан пад везаних кугли...).</p> <p>Падање тела у разним срединама.</p> <p>Бестежинско стање тела (оглед са динамометром, са два тега и папиром између њих, са пластичном чашом која има отвор на дну и напуњена је водом).</p> <p>....</p> <p>Лабораторијске вежбе Одређивање убрзања слободног пада.....</p>	<p>По завршетку разреда ученик ће бити у стању да:</p> <ul style="list-style-type: none"> • разликује скаларне и векторске физичке величине; • користи и анализира резултате мерења различитих физичких величина и приказује их табеларно и графички; • анализира зависност брзине и пређеног пута од времена код равномерних кретања са сталним убрзањем; • примени Њутнове законе динамике на кретање тела из окружења; • покаже од чега зависи сила трења и на основу тога процени како може променити њено деловање; • демонстрира појаве: инерције тела, убрзања кретања, кретање тела под дејством сталне силе, силе трења и
<p>Равнотежа тела: Сила потиска у течности и гасу. Архимедов закон и његова примена. Пливање и тоњење тела</p> <p>Демонстрациони огледи: Услови пливања тела (тегови и стаклена посуда на води, Картезијански гњурац, суво</p>	

<p>грожђе у минералној води, свеже јаје у води и воденом раствору соли, мандарина са кором и без коре у води, пливање коцке леда на води...).</p> <p>Лабораторијске вежбе</p> <p>Одређивање густине чврстог тела применом Архимедовог закона.</p>	<p>сила акције и реакције на примерима из окружења;</p> <ul style="list-style-type: none">• самостално изведе експеримент из области кинематике и динамике, прикупи податке мерењем, одреди тражену физичку величину и објасни резултате експеримента;• покаже врсте и услове равнотеже чврстих тела на примеру из окружења;• наведе примере простих машина које се користе у свакодневном животу;• прикаже како сила потиска утиче на понашање тела потопљених у течност и наведе услове пливања тела на води;• покаже појаве механички рад, енергија и снага и израчуна рад силе тежа и рад силе трења;• разликује кинетичку и потенцијалну енергију тела и повеже њихове промене са извршеним радом;
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<ul style="list-style-type: none"> • демонстрира важење закона одржања енергије на примерима из окружења; • решава експерименталне, квантитативне и графичке задатке (кинематика и динамика кретања тела, трења, равнотежа полуге, сила потиска, закони одржања...); • разликује појмове температуре и количине топлоте и прикаже различите механизме преноса топлоте са једног тела на друго;
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Табела 5. Садржаји и исходи програма наставе физике осмог разреда у контексту корелације са бестежинским стањем [171]

VIII разред	
Садржаји	Исходи
<p>Осцилаторно кретање (осциловање тела обешеног о опругу, осциловање кутије клатна). Појмови и величине којима се описује осциловање тела (амплитуда, период, фреквенција). Закон о одржању механичке енергије при осциловању тела...</p> <p>Демонстрациони огледи: Осциловање куглице клатна и тела обешеног о опругу (у ваздуху и у течности). Осциловање жица и ваздушних стубова (ксилофон, различите затегнуте жице, једнаке стаклене флаше са различитим нивоима воде).</p>	<p>По завршетку разреда ученик ће бити у стању да:</p> <ul style="list-style-type: none"> • повеже физичке величине које описују осциловање и таласе; • демонстрира и објасни: осциловање куглице клатна и тела обешеног о опругу, осциловање жица и ваздушних стубова;

Лабораторијска вежба: Мерење периода осциловања клатна или периода осциловања тела на опрузи. Одређивање убрзања Земљине теже помоћу математичког клатна.	
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

2.2.1.б. Средња школа

Кроз учење физике у средњој школи очекује се, поред осталог, развијање истраживачког односа према окружењу кроз експериментални рад којим се упознаје научни метод. У специфичне предметне компетенције поред осталих спадају и **„способност прикупљања података о својствима и променама појава и система посматрањем и мерењем и планирање и описивање поступака“**.

Садржаји о бестежинском стању, према програмима наставе и учења за гимназију, као и садржаји који на основу резултата ове дисертације омогућавају корелацију са садржајима о бестежинском стању представљени су у Табели 6, и поред њих наведени су дефинисани исходи [7].

У оквиру садржаја наставе физике за седми разред основне школе и први разред гимназије предложени експеримент демонстрације бестежинског стања помоћу динамометра је уједно и најчешће навођен експеримент у уџбеницима (Одељак 3.2.2). Овај експеримент је проблематичан, пре свега јер није очигледан у смислу који му је дат.

Динамометар током падања неће показивати нулу све време, осим ако је тело постављено тако да не деформише опругу динамометра у почетном тренутку. Уколико се оптерећени динамометар пусти да слободно пада опруга осцилује и због тога је очитана вредност силе на динамометру различита у различитим тренуцима.

Предложени експеримент може ученике да доведе у заблуду. Са једне стране, ученици о бестежинском стању уче да је то оно стање у коме тело нема тежину, па би према томе динамометар као уређај за мерење тежине, у току пада, требало да показује све време нулу.

Табела 6. Садржаји и исходи програма наставе физике у гимназији [171]

I разред	
Садржаји	Исходи
<p>Гравитација Њутнов закон гравитације. Земљина тежа и убрзање слободног пада. Тежина тела, бестежинско стање. Гравитационо поље. Јачина гравитационог поља. Демонстрациони огледи: – Тежина (тело окачено о динамометар), бестежинско стање; Слободан пад (Њутнова цев)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Разликује појмове сила Земљине теже и тежина тела, разуме разлику између масе и тежине тела и познаје услове за бестежинско стање Повезује теорију и праксу, објашњава резултате експеримента и процењује њихову сагласност са предвиђањима
III разред	
Садржаји	Исходи
<p>Хармонијске осцилације Механичке хармонијске осцилације. Енергија хармонијског осцилатора. Математичко и физичко клатно. Пригушене осцилације. Принудне осцилације, резонанција. Електрично осцилаторно коло. Демонстрациони огледи: Хармонијске осцилације (тег на еластичној опрузи, математичко клатно...) Пригушене осцилације. Појава резонанције</p>	<ul style="list-style-type: none"> Користи одговарајуће појмове, величине и законе за објашњавање основних карактеристика магнетног поља сталних магнета и електричне струје; Разликује материјале према магнетним својствима; анализира енергијске трансформације код

<p>(механичке и електричне).</p> <p>Лабораторијска вежба:</p> <p>Мерења помоћу математичког и физичког клатна.</p> <p>Пригушене осцилације, одређивање логаритамског декремента</p>	<p>хармонијских, пригушених и принудних осцилација;</p> <ul style="list-style-type: none">• Самостално постави експеримент, прикупи податке мерењем, обради их на одговарајући начин (табеларно, графички) одреди тражену величину са грешком мерења, објасни резултате експеримента и процени њихову сагласност са предвиђањима;• Самостално планира, скицира, реализује и презентује пројекат;• Уочи проблем, самостално га дефинише, предложи могућа решења, истражи и постави експеримент.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Међутим, како то није случај, предложени експеримент не допринеси бољем разумевању садржаја о бестежинском стању већ чини супротно – доводи до забуне. Кад демонстрациони оглед не следи принцип очигледности он доводи до питања, да ли је њему заиста место у програмима наставе и учења, а потом и у уџбеницима, и да ли постоје алтернативни експерименти којима се овај проблематични експеримент може заменити. Међутим, полазећи од улоге наставника, јасно је да, иако проблематичан, поменути експеримент може да се примени на примеренији начин у остваривању садржаја о бестежинском стању али у корелацији са законом одржања механичке енергије, Хуковим законом, и уопште са еластичном деформацијом спиралне опруге. Наставници могу утицати на то да ученици закључе да у бестежинском стању сила еластичности делује независно од услова у бестежинском стању.

3.2.2. Демонстрациони експерименти бестежинског стања у садржајима уџбеника за основну и средњу школу у Србији

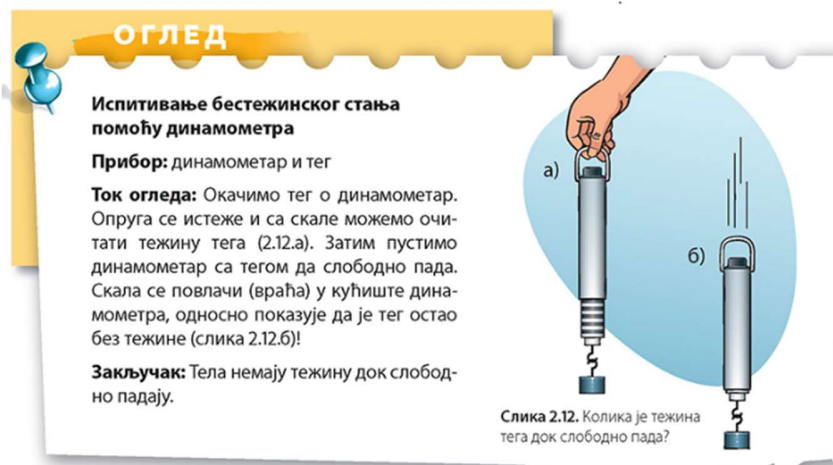
С обзиром на то да се, у Републици Србији, бестежинско стање обрађује у седмом разреду у основној школи и првом разреду гимназије, анализом ће бити обухваћено неколико уџбеника физике за поменуте разреде. Листа акредитованих уџбеника, закључно са школском 2023/24. годином [172], дата је у Прилогу 13.

Текст у уџбенику физике за седми разред, издавача Нови Логос [143], садржи опис два важна демонстрациона експеримента – експеримента са боцом која има отвор при дну и која пада вертикално наниже и експеримента са динамометром који пада са окаченим тегом. Оба ова експеримента имају своје вредности, али је важно и да се критички сагледају, посебно ако се има у виду да су то два најчешће понављана експеримента и у другим уџбеницима.

Експеримент са боцом који показује да вода не истиче из отвора при дну током слободног пада је веома користан за разумевање бестежинског стања. Он на визуелно јасан и упечатљив начин илуструје како у бестежинском стању сила теже не утиче на истицање воде. Међутим, недостатак приступа овом експерименту огледа се у одсуству интерактивности. Ученицима који читају текст није упућено ни једно питање и њима остаје да прихвате изнесено тврђење или да понове експеримент како би се уверили у његов исход. На тај начин смањује се могућност њиховог активног учења у процесу истраживања и бољег разумевања уоченог феномена.

Експеримент са динамометром је значајан али је непотпун и у великој мери нетачно објашњен у тексту . Наводи се да динамометар показује нулту вредност током слободног пада, што није у потпуности тачно. Током слободног пада, о чему је већ дискутовано динамометар не показује константно нулту вредност због осциловања његове опруге. Осцилаторно кретање је последица наставка деловања силе еластичности и у условима бестежинског стања. С обзиром на то је реч о сложеном феномену упутније је изоставити овај експеримент уколико није могуће детаљно га представити. Са друге стране, уколико би се јасно навело да пре почетка падања тег бива спречен да истегне опругу и тако се систем – динамометар и тег пусти да пада, опруга динамометра би остала увучена, тег и динамометар би сваког тренутка имали једнаке брзине, и динамометар не би истегао опругу па би се могло очитати да је тежина тега једнака

нули. Међутим, како се на слици 3.2.1. може видети, као и у видео садржају електронског уџбеника издавача Клет, наводи се да су почетни услови такви да се на динамометру очитава вредност тежине тега а да се „затим“ систем пусти да пада [119].



Слика 3.2.1. Пример демонстрационог експеримента у уџбенику физике за седми разред основне школе [119].

Поред описа два демонстрациона експеримента, у поменутом уџбенику, наводи се и следеће: „На тела која су довољно далеко од Земље сила теже не делује. Због тога она не би притискала подлогу на коју би се поставила и њихова тежина би била једнака нули. Та тела су у бестежинском стању. Бестежинско стање је стање тела у коме је његова тежина једнака нули. Бестежинско стање се може постићи и на Земљи. Сва тела која слободно падају су у бестежинском стању. Значи да тела која се крећу вертикално наниже убрзањем g немају тежину.“ Предлог „на“ у овом контексту нема никакве везе са концептима „испод“ и „изнад“, него просто упућује да се „посматра“ узајамно деловање тела иако тела узајамно не делују. Реченица да сва тела која слободно падају немају тежину, на неки начин изгледа као „испоручена“ истина коју ученици могу прихватити без даље провере и размишљања. Реченица у којој се наводи да тела која се крећу наниже убрзањем g искључује опцију хица навише, као и опцију хоризонталног и косог хица, који такође представљају ситуације у којима се реализује бестежинско стање.

Текст из уџбеника физике за 7. разред, издавача Сазнање [173], представља пример употребе мисаоног и аналогног демонстрационог експеримента како би се ученицима приближио концепт бестежинског стања¹⁸.

Прва ситуација која је описана у тексту представља мисаони експеримент који користи пример кретања лифта да би се представило како промене убрзања утичу на осећај тежине. Овај приступ је донекле користан јер неким ученицима може пружити једноставан, свакодневни контекст помоћу ког могу да разумеју како убрзање мења осећај тежине. Међутим, иако је овај метод визуелно и концептуално јасан, он сам по себи не омогућава ученицима директно искуство или интерактивност.

Други описани експеримент је аналогни експеримент са динамометром, који треба да покаже промене у тежини током различитих фаза кретања лифта (из мисаоног експеримента). Док овај експеримент даје ученицима могућност за самосталну реализацију, постоји проблем у вези са интерпретацијом његовог исхода. У тексту се тврди да ће, у случају слободног пада, динамометар показивати нулу. Исход реалног

18

„Ако сте имали прилику да се возите лифтом, сетите се да сте различитом силом притискали подлогу у току његовог кретања.

- Приликом покретања лифта навише додатно сте притискали подлогу – осетили сте се тежим него када је лифт мировао.
- Насупрот томе, када се лифт заустављајући се навише, осетили сте се лакшим, слабије сте притискали подлогу.

Слично, када се лифт креће навише, успорено, осетили сте притисак подлоге иако сте у покрету. Исто се дешава када се лифт зауставља на силаску када је убрано.

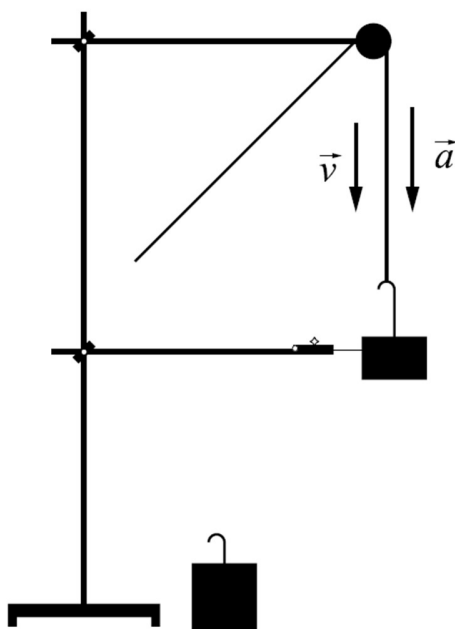
Да тежина тела зависи од кретања подлоге, можете се уверити једноставним експериментом. Поставите мало тело на динамометар и измерите тежину тела док он мирује. Запамтите колику тежину мери динамометар док мирује, затим запишите вредности када лифт убрзава навише,... Приметите да:

- мери већу тежину када се динамометар креће убрзано навише,
- мери мању тежину када се динамометар креће убрзано наниже и
- показује да је тежина тела нула када динамометар и тело слободно падају

Када тело слободно пада тежина му је нула јер не делује ни на шта, ни на подлогу, ни на тачку вешања. Као што смо рекли, ако тело слободно пада, занемарује се деловање на њега средине кроз коју пада, па самим тим и тежина нестаје.“ [173].

експеримента одступа од описа у уџбенику, што може довести до погрешног схватања феномена бестежинског стања од стране ученика.

У даљем се описује још један демонстрациони експеримент на следећи начин: Бестежинско стање се може лако демонстрирати посматрањем слободног пада два теге између којих се налази веома танак лист папира који је учвршћен тако да не може да мења висину (Слика 3.2.2). За куку на крају канџа окаче се два теге, тако да се папир увуче између њих. Ако се канџа полако отпушта, тегови се спуштају полако па имају тежину и делују на лист папира и он на њих. Ако се канџа пусти тегови слободно падају. Пошто при слободном паду немају тежину, не делују на папир и он се између њих извлачи али непоцепан.“



Слика 3.2.2. Апаратура за демонстрацију бестежинског стања у уџбенику физике за седми разред основне школе [173].

Описани експеримент на једноставан начин показује како при слободном паду тегови немају тежину. Ученици могу уочити разлику у деловању тегова на папир у ситуацији када се полако спуштају и када слободно падају. Експеримент је визуелно упечатљив и пружа ученицима конкретан пример који могу лако повезати са апстрактним концептом бестежинског стања. За успешну реализацију експеримента, потребно је прецизно подешавање масе тегова и брзине њиховог спуштања у односу на чврстину папира, што

није увек лако извести у учионици. Иако експеримент визуелно илуструје бестежинско стање, ученици могу имати потешкоћа у правилном разумевању и тумачењу резултата, посебно ако експеримент не успе из првог покушаја. Међутим, уџбеник ученицима истовремено даје исход експеримента, што може довести до тога да ученици меморишу чињеницу да тела при слободном паду немају тежину а да при том не анализирају феномен бестежинског стања. Са друге стране, овај експеримент пружа могућност да наставник подстакне ученике на активност. Ако би на пример, наставник поставио питање „Зашто се у једном случају папир поцепа, а у другом остаје непоцепан?“ могао би да подстакне критичко размишљање и омогући ученицима да сами дођу до закључака под којим условима тегови немају тежину.

У уџбенику физике за 7. разред Вулкан Издаваштва [174], бестежинско стање се дефинише на следићи начин: „Тело које се налази ван гравитационог поља или слободно пада, налази се у бестежинском стању.“ Овој дефиницији треба дати предност посебно у односу на поједностављену дефиницију којом се наводи да је бестежинско стање стање у коме тело нема тежину а која је заступљена у многим уџбеницима. Њена предност се огледа у томе што се њоме објашњава под којим условима долази до бестежинског стања и то да се оно постиже не само одсуством гравитације већ и као резултат специфичних околности.

Дефиниција такође омогућава ученицима да повежу концепт бестежинског стања са специфичним физичким условима, као што је кретање у орбити. Она подстиче ученике да размишљају о контексту у коме се бестежинско стање јавља и да траже примере у стварном свету, као што су астронаути у свемирској станици или тела из непосредне околине која слободно падају. У оквиру такозваних суперпитања постављена су следећа питања:

- *Међународна свемирска станица налази се на висини од око 400 km изнад површине Земље. На тим висинама убрзање теже има вредност која није нула већ износи $8,67 \text{ m/s}^2$. На сликама астронаута се види да лебде, што значи да су у бестежинском стању. Како је то могуће?*
- *Нацртај путању стрелице која се баца када се игра пикадо. Да ли је стрелца након избацавања у слободном паду или не? Објасни.*

Ова питања подстичу ученике да примене теоријско знање у конкретним примерима. Прво питање подстиче ученике да разумеју концепт бестежинског стања и да разликују деловање силе Земљине теже и осећај тежине. Питање о томе како астронаути лебде иако постоји убрзање теже води ученике ка разумевању да су астронаути у константном слободном паду, што ствара осећај бестежинског стања. Друго питање подстиче ученике да размисле о путањи пројектила и може да води до дискусије о томе шта заправо значи слободан пад. Такође, оно подстиче визуелизацију кретања тела.

За већ навођен демонстрациони експеримент са чашом која има отвор при дну и која слободно пада док је вода у њој, у поменутом уџбенику дато је следеће упутство: *„Врхом загрејане игле направи мали отвор на дну пластичне чаше. Даљи ток огледа изведи изнад каде или напољу. Напуни је водом. Држи је неко време у руци а затим пусти да пада. Шта очекујеш да ће се дешавати са водом у чаши приликом пада? Изведи експеримент и објасни га.“* Овакво упутство за експеримент игра улогу у развоју критичког мишљења код ученика. Пре свега, упутство ангажује ученике у процесу учења кроз искуство, јер их позива да изведу експеримент самостално. Питање *„Шта очекујеш да ће се дешавати са водом у чаши приликом пада?“* подстиче ученике да формирају хипотезу пре извођења експеримента — ученици се подстичу да размишљају о могућим исходима и логички закључују на основу претходног знања. Извођењем експеримента, ученици развијају своје способности посматрања — приметити шта се дешава са водом у чаши током пада и упоредити то са својим претпоставкама. На тај начин развија се њихова способност да критички анализирају резултате. Након реализације експеримента, ученици су позвани да објасне резултате што је веома важно за развој њихове способности да вербализују своја размишљања и закључке. Након упутства за реализацију експеримента дато је следеће објашњење: *„Док држиш чашу у руци, вода на дно чаше делује тежином. Уколико се на дну чаше налази отвор вода истиче из њега. Када пустиш чашу, вода и чаша падају и налазе се у бестежинском стању. Стога вода више неће истицати кроз отвор на дну.“* Презентовање исхода експеримента ученицима пре него што сами изведу експеримент може имати одређене предности. Објашњавање исхода пре експеримента може довести до тога да ученици боље разумеју физичке концепте, у овом случају тежину и бестежинско стање. У случајевима када ученици можда не би сами дошли до исправног закључка након експеримента презентовање

Теоријске основе истраживања – Демонстрациони експерименти о бестежинском стању

исхода експеримента може се сматрати као помоћ. Такође, објашњење, праћено сликом феномена, доприноси да ученици визуализују шта ће се догодити, и да разумеју теоријску основу експеримента. Међутим, када је исход експеримента унапред откривен, ученици су лишени прилике да самостално формирају хипотезу и размишљају о могућим резултатима. Тиме се смањује потреба за критичким размишљањем и процесом закључивања на основу посматрања. Учење путем открића подразумева да ученици самостално долазе до закључака кроз истраживање и експериментисање. Ако им се исход унапред саопшти, може се смањити њихова мотивација за истраживање. Ученици који добију одговоре пре времена можда неће истраживати друге могуће резултате или креативне начине да приступе експерименту. Када се ученицима одмах даје тачно објашњење, они се могу ослонити на ауторитете уместо на сопствено истраживање и закључивање. Ипак, пошто се у овом уџбенику наводи да се бестежинско стање остварује и када се чаша баца у хоризонталном правцу, ученици могу бити мотивисани за експериментисање бацањем чаше у различитим правцима.

У наведеном уџбенику предложен је пројекат „Направи бестежинско стање“, приказан на слици 3.2.3.



Слика 3.2.3. Пример пројекта из уџбеника издавача Вулкан Издаваштва [174].

Демонстрациони експеримент у оквиру пројекта који би ученици самостално извели носи потенцијал инспирације ученика да самостално иновирају експеримент тако што би са мало измењеном апаратуром проверили понашање спајалица у случају слободног пада система.

Када је реч о демонстрационим експериментима о бестежинском стању у уџбеницима физике за средњу школу, посебно за гимназију, налази се сличан приступ као у уџбеницима за основну школу.

У уџбенику издавача Нови Логос [175] наводи се следећи опис демонстрационог експеримента: „Ако се на цевasti динамометар закачи тег ...динамометар ће показивати силу којом тег делује на њега, тј. тежину тега. Уколико се динамометар заједно са окаченим тегом пусти и почне да слободно пада, његово показивање ће се нагло смањити и постаће једнако нули. На тај начин се демонстрира да је тежина тега током слободног падања једнака нули, односно да се тег налази у бестежинском стању.“ У овом уџбенику се појам бестежинског стања уводи примером тела у лифту који слободно пада. Најпре се стање тела разматра из неинерцијалног референтног система — лифта који слободно пада. У том контексту тежина тела се изражава као резултујућа сила Земљине теже и инерцијалне силе. У случају слободног пада лифта, резултујућа сила која делује на тело је једнака нули те је тело у бестежинском стању. Међутим објашњење се наставља тако да се имплицитно претпоставља да се тело у лифту који пада посматра из инерцијалног референтног система, односно система везаног за Земљу. Објашњава се да тело има нулту тежину јер и оно и лифт падају истим убрзањем, што резултира тиме да тело не делује на под лифта (или на динамометар). Оба објашњења су тачна међутим прелазак из неинерцијалног у инерцијални систем, без јасног истицања, може збунити ученике, јер они не могу пратити објашњења аутора који наизменично, без прецизирања односно најаве, користи различите системе референце.

Мисаони експеримент слободног пада лифта је у поменутом уџбенику још сложенији јер је се у разматрање укључен динамометар у лифту који слободно пада. Ако се овакав мисаони експеримент уопште користи, пожељно је избегавати динамометар због еластичности његове опруге и фокусирати се искључиво на дејство тела на под лифта. Наравно увек треба бити јасно дефинисан референтни систем из којег се посматра тело чија се тежина разматра, односно чије се бестежинско стање разматра.

Текст пружа готове одговоре и закључке без позива за ученике да о неком детаљу посебно размисле или да претпоставе исход мисаоне појаве.

У наставку текста о бестежинском стању аутори наводе да је Циолковски био један од првих научника који је теоријски предвидео и описао концепт бестежинског стања у орбити, указујући на везу између раних теоријских предвиђања и савремених свемирских мисија, и на важност конкретних применљивих знања која су омогућила реализацију орбиталних летова и истраживања свемира.

У уџбенику за први разред гимназије издавача Клет [176], лекција о бестежинском стању је насловљена као *Бестежинско стање у Њутновој теорији*, у којој аутор сугерише да је скок начин да се осети бестежинско стање односно да се човек лиши деловања реакције подлоге, што је на изванредан начин демонстрациони експеримент у коме ученик преко својих сензација сазнаје о природи бестежинског стања.

Иако демонстрациони експерименти као садржаји уџбеника могу бити корисни за усвајање концепта бестежинског стања, експеримент са динамометром, за сада представља проблематичну околност, јер се не узима у обзир еластичност његове опруге и њено понашање током пада. О ком год експерименту да је реч, уколико се његов исход наглашава у уџбеницима, ученици могу бити ускраћени за важну интерактивну компоненту наставе. За боље разумевање бестежинског стања, од значаја је да ученици имају могућност да самостално изводе експерименте, анализирају резултате и формирају своје закључке, без унапред наметнутих интерпретација. Можда је време да уџбеници еволуирају у интерактивнији формат који ће подстицати ученике на експериментисање, критичко размишљање и активније учење. Традиционални уџбеници, у којима су одговори често директно дати, могу ограничити способност ученика да самостално размишљају и истражују. Уџбеници у 21. веку треба да буду више од извора информација; треба да постану алати који омогућавају ученицима да активно учествују у процесу учења кроз експерименте, дискусије и критичку анализу. Истраживања указују да уџбеници који интегришу интерактивне елементе и омогућавају активно учешће ученика побољшавају учење и разумевање концепата, посебно ако се има у виду да са њима раде наставници који промишљају о својој пракси [177, 178].

Због свега претходно наведеног, имплементација програма наставе физике је од највећег значаја за усвајање било ког концепта, а улога наставника у том процесу кључна.

3.3. Демонстрациони експерименти о бестежинском стању у настави и усвојени програм наставе физике у контексту бестежинског стања

3.3.1. Имплементација демонстрационих експеримента бестежинског стања у школама у Србији

Правилници о плановима и програмима наставе и учења пружају јасне смернице за улогу наставника у процесу планирања и спровођења наставе. Осим тога наставник је дужан да у процесу планирања наставе узме у обзир различите факторе који могу утицати на квалитет и ефикасност наставе, почев од састава одељења, резултата иницијалних тестова, до степена опремљености кабинета за физику и целокупне школе.

Исходи пружају наставнику јасне смернице за даљу операционализацију тих исхода у конкретним наставним јединицама. Међутим, иако је јасно исказано упутство за методичко-дидактичко остваривање програма, оно не подразумева и његово доследно спровођење, посебно ако се имају у виду различитости у полазним условима рада школа..

У овом делу дисертације описан је један начин процене нивоа имплементације демонстрационих експеримената.

У оквиру упитника за наставнике о обради бестежинског стања постављено је питање о примерима демонстрационих експеримента које реализују у непосредном раду са ученицима. (Прилог 2). У табели 7. представљени су њихови одговори.

Табела 7. Одговори наставника физике на питање о примерима демонстрационих огледа које реализују на часовима

Питање	Опишите демонстрационе огледе које реализујете при обради/утврђивању садржаја о бестежинском стању.
--------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------

Теоријске основе истраживања – Демонстрациони експерименти о бестежинском стању

Одг. 1	<i>Закачим неко тело да виси о танку нит, па је онда пресечем и затим објашњавам шта се дешава док тело пада.</i>
Одг. 2	<i>1. Течност не цури из чаше са отвором на дну, док чаша слободно пада... 2. Њутнова цев —перо и лоптица</i>
Одг. 3	<i>Испустим тело. Коментаришемо. Направимо малу траомболину и посматрамо како се тело на њој понаша...</i>
Одг. 4	<i>Пад чаше са водом која има отвор кроз који вода истиче односно не истиче.</i>
Одг. 5	<i>Подлога, тег, картон, растегнута гумица причвршћена за подлогу и картон.</i>
Одг. 6	<i>Падање хемијске оловке, падање динамометра о који је окачен тег.</i>
Одг. 7.	<i>Пуштање тела окаченог о динамометар да слободно пада.</i>
Одг. 8	<i>Демонстрациони огледи из уибеника физике.</i>
Одг. 9	<i>Немам демонстрације, само реторички.</i>
Одг. 10	<i>Слободан пад, скок у воду, хитац.</i>
Одг. 11	<i>Немам демонстрациони оглед.</i>
Одг. 12	<i>Падање динамометра са тегом.</i>
Одг.13	<i>Слободан пад.</i>

Одговори из указују на то да наставници користе низ различитих експеримената који могу помоћи у демонстрацији бестежинског стања, али многи од њих су само делимично релевантни за тај концепт. На пример, „падање хемијске оловке“ или „пуштање тела окаченог о динамометар“ могу указивати на слободан пад, али не пружају довољно јасан и упечатљив приказ бестежинског стања (као појма који се тиче одсуства нормалне реакције подлоге нпр). Неки наставници се ослањају само на реторичке аргументе без икаквих демонстрација, на пример, наставник који каже „немам демонстрације, само реторички“ показује недостатак важног елемента наставе.

Неколико наставника описује огледе који могу бити збуњујући или мање релевантни за тему бестежинског стања. На пример, „скок у воду“ или „хитац“ су покушаји да се демонстрира бестежинско стање, али су то примери који могу бити недовољно повезани са суштином концепта бестежинског стања, осим ако нису адекватно објашњени, што се из одговора наставника није могло закључити. Одговори указују на различите нивое импровизације и приступа теми. Док неки наставници користе „стандардне“ експерименте из уџбеника, други „експерименташу“ комбиновањем концепата. Постоји неколико одговора у којима наставници отворено изјављују да не користе демонстрационе огледе, што указује на пропуст у пружању прилике да ученици визуелно и практично истраже концепт бестежинског стања.

У наставку су описани и анализирани одговори наставника на још неколико питања из упитника са циљем да се укаже на комплексност детерминације имплементирања овог дела програма наставе физике.

На питање о томе који су разлози избора и примене конкретних демонстрационих експеримента ниједан наставник није дао одговор. Ненавођење разлога може указивати на то да наставници можда нису довољно свесни образовне и васпитне вредности демонстрационих експеримента. Ако наставници експерименте изводе само зато што су они део програма или су препоручени у уџбеницима, без дубљег размишљања о томе зашто су ти експерименти важни, то може указивати на рутински и нефлексибилан приступ настави. У оваквим случајевима, чини се да је циљ пре испуњавање задатих норми него разумевање концепата од стране ученика.

На питање — *Да ли постоје експерименти које бисте могли да реализујете а ипак то не радите и који су то експерименти?* наставници нису дали ниједан пример. Разлог за то може бити ограничена информисаност о доступним ресурсима или методама. Могуће је да, и уколико су информисани, наставници нису наклоњени новинама, због недостатка времена, ресурса, или уверења да тренутни начин рада добро функционише. Известан отпор према иновацијама може довести до стагнације наставе, у којој се наставници ослањају искључиво на устаљене и проверене методе, без разматрања нових приступа. Једно од могућих објашњења је и то да наставници немају довољно опреме, времена или техничке подршке, те не разматрају могућност извођења додатних експеримента, чак и ако су свесни њихове потенцијалне вредности [179, 180].

Даље је утврђено одсуство одговора на питање о аргументима за претходни одговор. Разлози за то могу бити недостатак критичког промишљања, поверења у сопствене одлуке, или способности да се артикулишу и бране наставни избори.

На питање *У којим наставним темама остварујете корелацију са садржајима о бестежинском стању?* наставници су пружили одговоре који се могу свртати у две групе: Већина наставника је навела теме *Маса и тежина* и *Кретање тела у гравитационом пољу*, које су уобичајене и очекиване у контексту бестежинског стања. Један наставник је навео тему *Електрично поље*. Закључује се да је наставни процес у великој мери фокусиран на теме и концепте који су директно повезани са бестежинским стањем и да већина анкетираних наставника не повезује бестежинско стање са другим физичким појавама или другим концептима у физици.

На питање *Да ли у настави користите интернет ресурсе о бестежинском стању и које?* већина анкетираних наставника наводи да користи видео материјале са Јутуба, укључујући снимке астронаута из свемира и друге демонстрације бестежинског стања. Неколико наставника наводи да користи симулације, попут PhET симулација. Одређени број наставника наводи да користи различите сајтове посвећене физици. Неколико наставника је навело да не користи интернет ресурсе. Разноврсност наведених интернет ресурса указује да неки наставници можда немају приступ или сазнање о најбољим доступним ресурсима. Користити разноврсне ресурсе је важно, али је исто тако битно осигурати да су одабрани материјали квалитетни и релевантни.

На питање *Уколико бисте имали улогу у иновирању садржаја наставе физике да ли бисте имали предлоге који се односе на бестежинско стање и које?* већина наставника није дала конкретне предлоге. Одговори као што су „Тренутно нисам сигурна да бих имала предлоге“, „Не тренутно“, или „Немам предлог“ указују на то да наставници нису у потпуности разматрали могућности за унапређење теме о бестежинском стању. Неки наставници предлажу поједностављење објашњења и коришћење аналогија које су ближе свакодневним искуствима ученика. На пример, предлог о поређењу подизања и спуштања столице показује тежњу ка томе да се концепти учине приступачнијим и разумљивијим. Неколико наставника је предложило неконвенционалне и креативне начине, као што је вођење ученика на банци џампинг како би се доживело бестежинско стање. Иако овај предлог није практичан за

свакодневну наставу, он показује отвореност за искуствено учење. Више наставника је предложило повећање броја експеримента и примену видео материјала у настави. Таквим предлозима, без обзира на одговоре у претходним питањима, истакнута је свест о значају визуелизације и практичне примене у настави. Један наставник је предложио повезивање класичне физике са Општом теоријом релативности. Многи наставници нису изнели конкретне иновативне идеје, што може указивати на недостатак времена или мотивације за размишљање о унапређењима, као и на осећај да се постојећи програм већ довољно бави овим концептом.

Анализом свих претходних одговора наставника покушано је да се стекне увид у то како се у пракси имплементира програм наставе физике у вези са темом бестежинског стања. Иако је узорак мали, одговори наставника указују на варијације у начину на који се концепт бестежинског стања обрађује у различитим школама.

3.3.2. Усвојени програм наставе физике по питању разумевања бестежинског стања

Не постоје стандаризовани тестови којима би се проверавала усвојеност концепта бестежинског стања. Није познато да се спољашњим вредновањем рада школа и рада наставника од стране просветних саветника и спољашњих сарадника при школским упавама икада проверавала усвојеност неког концепта физике или неког другог предмета.

За потребе ове дисертације поред истраживања представљеног у 5. глави овог рада, спроведено је и додатно истраживање — Ученицима из пет основних и две средње школе у Србији представљен је садржај који се односи на бестежинско стање¹⁹, наставним приступом Предвиди-посматрај-објасни, након ког су ученици износили сопствене предлоге експеримента о бестежинаком стању. Материјал коришћен у раду са

¹⁹ Настава је реализована у току два школска часа школске 2023/24. године, у седмом разреду основних и првом разреду средњих а у анализу су укључени резултати ученика ОШ „Душан Радовић“ у Нишу, ОШ „Светозар Марковић“ у Краљеву, ОШ В“ук Стефановић Караџић“ у Крагујевцу, ОШ „Вук Караџић“ у Поточцу, ОШ „Радоје Домановић“ у Параћину, Гимназији „Светозар Марковић“ у Нишу и Гимназији „Бора Станковић“ у Нишу.

њима чинили су радни листови E1 и E2 (Прилог 4 и Прилог 5, респективно). Ученицима у овом делу истраживања нису представљени реални експерименти у учионици, већ видео снимци раније реализованих експеримента. Разлог за овакав приступ је, пре свега техничке природе.

Анализирана су 223 одговора из одељења основних школа и 100 одговора ученика средњих школа у којима је поменути наставни приступ примењен.

На основу одговора ученика на неколико изабраних питања из радних листова E1 и E2²⁰ направљен је увид о релативној усвојености концепта бестежинског стања.

Радни лист E1 садржи серију питања уз видео пројекцију експеримената који су у вези са притиском, хидростатичким притиском и бестежинским стањем. Планираним активностима настојало се укључивање ученика у активан процес учења кроз посматрање, предвиђање, објашњавање и креативно размишљање. Од ученика се захтевало да предвиде шта ће се догодити ако затворе посуду затварачем пре него што вода истекне кроз отвор на дну и да објасне своје предвиђање. Након тога ученици су посматрали шта се заиста догодило током експеримента и објашњавали уочену појаву. Од ученика се захтевало да упореде своје предвиђање са стварним резултатом експеримента и да размотре разлоге због којих се појава догодила на тај начин. Даље се од ученика захтевало да размотре како се може поново покренути истицање воде из посуде која је затворена затварачем. Потом је требало да предвиде шта ће се догодити ако се затворена посуда са водом и отвором на дну пусти да слободно пада. Овим питањем (4. питањем радног листа E1) се проверавало разумевање концепта бестежинског стања. Након тога, у оквиру 5. питања радног листа E1) ученици су посматрали експеримент путем видео снимка и описивали и објашњавали оно шта су уочили током експеримента. На крају је требало да предложи измене у постојећем експерименту и објасне шта би тим изменама испитивали. Овај захтев је био постављан са циљем да ученици покажу способност да примењују своје знање у новом контексту и тицао се креативног мишљења о чему је детаљније дискутовано у 5 и 6. глави овог рада.

Када је реч о E2 радном листу, 1. питањем у њему проверавало се разумевање услова равнотежног стања у инерцијалном ситему референце, док је 2. питање укључивало предвиђање и објашњавање предвиђених промена уколико из равнотежног

²⁰ Анализирани су одговори на 4. и 5. питање радног листа E1 и 2, 3. и 4. питање радног листа E2.

стања систем пређе у слободан пад. У оквиру 3. питања требало је да ученици посматрају појаву која се јавља током слободног пада посуде са водом и куглицом за чај, и да пруже објашњење те појаве уз скицу или цртеж. Ово питање је осмишљено да провери разумевање концепта бестежинског стања. У питању број 4. требало је да се наведу и прикажу силе које делују на куглицу за чај док се посуда налази у слободном паду. Питањем број 5 од ученика се захтевала измена или побољшање експеримента са циљем да се испита неки додатни аспект појаве у бестежинском стању. Ово питање имало је за циљ подстицање ученика да примене своје знање на иновативан начин. Питањем број 6 од ученика се захтевало осмишљавање новог експеримента.

Наставници који иначе предају одељењима укљученим у истраживање били су укључени у реализацију часова за које су претходно добили детаљно упутство о њиховој организацији (Прилог 6).

У табели 8. је представљена дистрибуција тачних одговора на релевантна питања из радних листова према школама као и број ученика чији су одговори анализирани.

Табела 8. Број тачних одговора на изабрана питања из радних листова којима се проверава разумевање концепта бестежинског стања

Школа	Број ученика	Е1		Е2		
		4.	5.	2.	3.	4.
основне школе						
ОШ 1	90	-	4	34	-	14
ОШ 2	45	-	3	23	-	8
ОШ 3—4	23	-	-	9	-	4
ОШ 5	65	-	3	18	-	12
укупно	223	-	10	84	-	38
средње школе						
Г1	50	-	2	24	1	13
Г2	50	-	2	26	1	13
укупно	100	-	4	50	2	26

У одговорима на 4. питање (Е1) ученици су изнели различита предвиђања о томе шта ће се догодити у затвореној посуди која је донекле испуњена водом и која има отвор

при дну. Издвојено је неколико група одговора: Вода ће отићи ка врху посуде и због тога неће истицати; Вода неће истицати јер је у бестежинском стању; Вода ће истицати из посуде због притиска ваздуха у боци; Вода неће да истиче јер се креће истом брзином као и боца. Када је реч о последњем одговору он јесте тачан у смислу да ученик препознаје кључни концепт да посуда и вода падају заједно истим убрзањем и да нема релативног кретања међу њима. Међутим, овим одговором ученик наговештава да нема никаквих промена у систему што је супротно реалности. У осталим одговорима као аргумент за то што вода неће истицати ученик наводи деловање спољашњег ваздушног притиска. Једна група ученика укључује концепт притиска али на интуитиван начин — они наводе да се у посуди док слободно пада притисак повећава, док један одговор иде у још детаљније објашњење предвиђањем појаве мехурића у узбурканој води који представљају узрок повећања притиска. У малом броју одговора аргументује се да вода неће истицати јер се налази у бестежинском стању. Није додатно објашњено да је последица бестежинског стања нестанак хидростатичког притиска те је могуће да је ученик овакав одговор навео повезујући га са темом која се изучава. Један од занимљивих одговора је онај који описује да вода почиње да истиче али када почну да падају и посуда и вода онда посуда сустиже текућу воду која се налази у њој.

На основу одговора ученика на 5. питање радног листа Е1, у коме је требало да након одгледаног видеа експеримента изнесу објашњења уочене појаве, могу се идентификовати три групе одговора. Најбројнија група припада одговорима у којима се само описује уочена појава али се не даје објашњење за њу. Мали број одговора износи аргумент да је у воду убризган мехур ваздуха, што јасно указује на непознавање услова који постоје док систем слободно пада. Тек неколико ученика препознаје да је улазак мехура у воду последица изједначавања спољашњег и унутрашњег притиска ваздуха. Може се закључити да ученици који су изнели такву аргументацију показују основно разумевање концепта притиска, иако су њихови одговори непотпуни или понекад непрецизни јер се не наводи нестанак хидростатичког притиска.

У одговорима на прво питање са радног листа Е2 уочена је конзистентност у расподели одговора међу различитим основним и између две средње школе. Већина ученика препознаје силу потиска и правилно одређује њен правац и смер. Међутим, чињеница да мањи број ученика помиње силу Земљине теже, а још мањи проценат

препознаје присуство магнетне силе, указује на то да ученици често не сагледавају целокупну физичку ситуацију, већ да се ослањају на прве асоцијације у овом случају на воду и силу потиска, без разматрања осталих сила које могу бити присутне у систему. Овај закључак потврђује чињеница да су даљим одговорима ученици укључивали и силу Земљине теже и магнетну силу, као и силу отпора средине.

Велики број ученика одговорио је да ће куглица, заједно са водом, ићи ка поклопцу посуде у случају слободног пада. Истовремено, одређени број ученика је дао одговор да ће вода отићи нагоре, док ће куглица остати на истом месту, или пасти на магнет када вода и ваздух замене места. Један број ученика навео је да ће куглица лебдети изнад воде, односно да ће куглица остати на истом месту а разлог за то се наводи њена инерција.

У одговорима да ће и вода и куглица ићи нагоре препознаје се да ученици разумеју да тела при слободном падању нису у релативном кретању, али недостаје им разумевање да се тела не могу покренути нагоре без дејства неке нове силе. Супротно томе, из одговора „вода иде нагоре, куглица остаје на истом месту“ закључује се ти ученици не разумеју да у слободном паду све компоненте (и вода и куглица) доживљавају исто убрзање. Одговор да ће вода прво отићи нагоре, а када сва вода буде изнад куглице, она ће пасти на магнет, показује покушај да се објасни динамика између воде и куглице у бестежинском стању. Проналазе се и одговори у којима се наводи да ће куглица кренути на доле и да ће због уласка воде у њу она мало потонути а онда ће магнет почети да је привлачи. Неки ученици су навели да магнет задржава лоптицу, те да би у супротном она ишла нагоре. Други су тврдили да ће куглица остати на месту јер је магнет привлачи. Неколико ученика је изнело погрешно тумачење да би лоптица падала спорје од посуде јер има мању масу.

Након одгледаног видеа експеримента, приметна је промена у одговорима ученика. Ученици показују да су свесни да гравитација игра важну улогу, али су њихови искази о томе како се она манифестује у бестежинском стању конфузни. Међу одговорима се налазе и они у којима се наводе „сила бестежинског стања“, „вучна сила у бестежинском стању“, „силе које делују на тела подложна тоњењу“. Стиче се утисак да ученици перципирају да се у бестежинском стању јавља нешто што је супротно гравитацији. Неки од закључака се односе на то да сила потиска мења смер када систем

пређе у бестежинско стање, затим да се магнетна сила и сила Земљине теже „удружују“, или да „надмашују силу потиска“. Неколико ученика је појаву покушало да објасни слабљењем интензитета силе потиска и повећањем интензитета магнетне силе.

Извесни број ученика је тачно предвидео понашање куглице за чај, али само су два одговора ученика гимназије тачно аргументована. Један од њих гласи: „Пошто је у бестежинском стању, нема силе теже, па самим тим ни притиска, што значи да нема ни силе потиска. Због тога лоптица пада на дно ка магнету.“ Међу одговорима се издваја и одговор једног ученика основне школе који је своје предвиђање објаснио на следећи начин: „Као што знамо, према Архимедовом закону, сила потиска је једнака тежини истиснуте воде. Пошто у бестежинском стању нема тежине воде, нема ни силе потиска, те куглица пада на дно посуде, према магнету. Могуће је и да је магнет постао јачи у бестежинском стању.“ Ученик је покушао да примени своје знање о Архимедовом закону на нову ситуацију у бестежинском стању. Он је показао труд да се познати закон примени у неуобичајеним условима. То што је у своје објашњење укључио и могућност да је магнет постао јачи у бестежинском стању, показује његову тежњу да обухвати све аспекте појаве.

У анализи одговора ученика на питања у вези са бестежинским стањем, приметно је да су многи одговори у складу са заблудама и концептуалним потешкоћама које су идентификоване у претходним истраживањима. Како је наведено у раду Хестенеса и сарадника [181], концептуални тестови попут *Force Concept Inventory* показују да већина ученика има потешкоће у разумевању основних физичких закона, укључујући појмове везане за гравитацију и инерцију. Ученици који су навели да вода неће истицати јер се и вода и посуда крећу истом брзином показали су тачан увид у то да нема релативног кретања између воде и посуде. Међутим, као што су утврдили Поснер и сарадници [182], ученици често усвајају само површинско разумевање физичких појава, без дубљег увида у то како се физички принципи међусобно повезују. Ученици су препознали основни аспект феномена, али недостаје разумевање ширег контекста, као што је нестанак хидростатичког притиска у бестежинском стању.

Неки ученици су изнели нетачне закључке, као што је повећање притиска у води или присуство „силе бестежинског стања“, што је у складу са налазима Шнајдера и Хардија, који су указали на то да ученици често имају неконсистентно знање о физичким

концептима [183]. Ови ученици нису у стању да правилно интегришу појмове гравитације, притиска и слободног пада у једну целину.

Галилијева истраживања указују да ученици не разумеју правилно концепт бестежинског стања. Одговори попут „вода не истиче јер је у бестежинском стању“ сугеришу да ученици бестежинско стање доживљавају као апсолутно одсуство свих сила. Ова заблуда, како је Галили утврдио, настаје услед наивних теорија које ученици развијају на основу свакодневних искустава [184]. Одговори ученика који су тврдили да ће куглица и вода ићи ка врху посуде у слободном паду или да сила потиска мења смер у бестежинском стању указују на заблуде о силама које делују при кретању тела.

У одсуству концептуалног теста није једноставно утврдити у којој мери је концепт бестежинског стања заиста усвојен. Дефиниција бестежинског стања, присутна у уџбеницима је исказ који ученици лако могу запамтити и поновити. Међутим, упркос томе што ученици могу бити у стању да репродукују дату дефиницију, корелација бестежинског стања са другим концептима, као што су притисак ваздуха и хидростатички притисак, сила потиска, магнетизам, извесно је да изостаје.

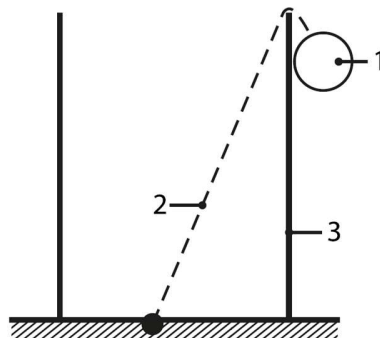
Из добијених одговора може се закључити да се ученици труде да пруже објашњења за појаве које су им представљене, што показује да су подстакнути на размишљање. Одговори откривају да ученицима често недостају вештине изражавања језиком физике, као и способност да повежу различите концепте у доследну и тачну целину. Из наведеног произилази додатни аргумент за то да се у настави физике инсистира на приступима који ће подстицати дубље разумевање и интеграцију научених концепата, као и развој језичких вештина које омогућавају ученицима да своје знање изразе на прецизан и тачан начин.

Увид у програм наставе физике и садржаје уџбеника, показано је, може се једноставно остварити, због њихове једноставне доступности, док увид у имплементиран програм чак и када је могућ у извесном броју школа, остаје непотпун, пре свега због непостојања праћења практичног рада наставника и препрека за његово организовање. Што се тиче увида у усвојен програм, адекватан концептуални тест могао би помоћи наставницима и истраживачима у смислу његовог остваривања. Један од доприноса ове дисертације огледа се у иницијалном формулисању неколико концептуалних питања о бестежинском стању представљених у Прилогу 8.

3.4. Преглед литературе о демонстрационим експериментима о бестежинском стању

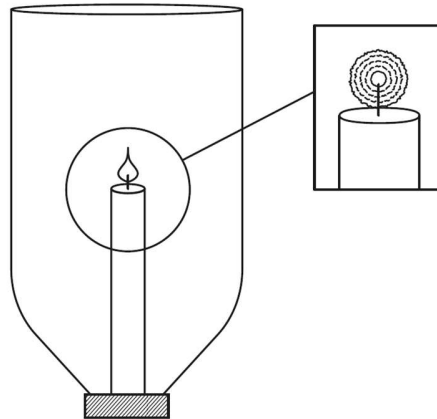
Прве радове написане на енглеском језику који су садржали описе демонстрација бестежинског стања а које се могу извести у учионицама, објавио је Х. Круглак, а након орбиталних летова Гагарина 1961. године и Глена 1962. године. У чланку из децембра 1962. године Круглак је описао четири демонстрације бестежинског стања у учионици. Када је реч о опису демонстрације коју је називао *Тежина и инерција* уочава се да Круглак није исказао разлику између експеримента у бестежинском стању и експеримента током кога долази до преласка система из стања равнотеже у стање равномерно убрзаног кретања – слободног пада. Остале демонстрације које је, у поменутом чланку, описао су:

- *Неуравнотежена сила еластичности* (Слика 3.4.1), у којој, гумица (2), причвршћена за дно отворене посуде (3) и растегнута преко отвора посуде, уравнотежена малим телом (1) када систем слободно пада, повлачи тело у посуду.



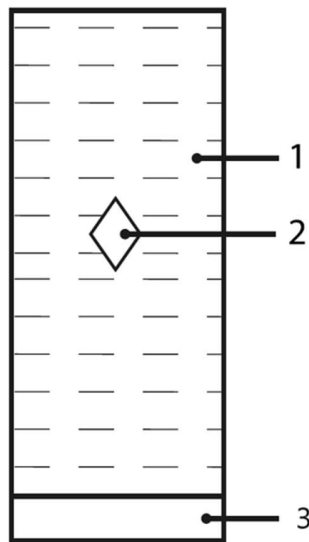
Слика 3.4.1. *Апаратура за демонстрацију „Неуравнотежена сила еластичности“.*

- *Конвекциони токови* (Слика 3.4.2), у којој свећа, причвршћена за дно плутаног затварача, у стакленој боци гори, док се у слободном паду боце гаси. Круглак наводи да се недостатак конвекције ваздуха може показати и када се боца баци горе или параболичном путањом.



Слика 3.4.2. Апаратура за демонстрацију „Конвекциони токови“.

- *Архимедов закон*, у којој се комад плуте (2) поставља у високу цилиндричну посуду, која се напуни водом (1), затвори затварачем (3) а потом окреће наопако. У тренутку када се комад плуте нађе на пола пута вертикално навише, боца се пусти да пада. Комад плуте остаје на истом релативном месту у боци јер сила потиска нестаје.

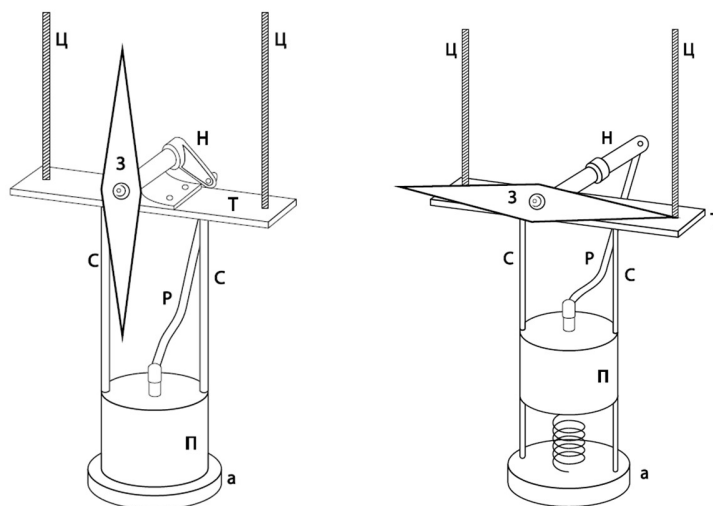


Слика 3.4.3. Апаратура за демонстрацију „Архимедов закон“.

Неколико месеци касније, у свом чланку у првом издању часописа *The Physics Teacher*, Круглак је представио још неколико демонстрација бестежинског стања које се остварује током слободног пада, међу којима су:

- *Престанак осциловања клатна*, у којој се држач клатна пусти да пада у тренутку када клатно „заклапа прилично велики угао са вертикалом“ те клатно задржава исту позицију у односу на свој носач²¹.
- *Престанак истицања млаза воде из лименке*, у којој кроз рупу на дну лименке напуњене водом, при слободном паду вода престаје да истиче [185, 186].

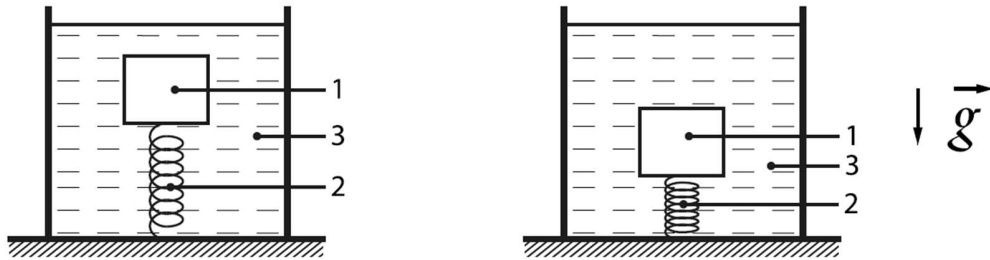
Први чланак о бестежинском стању, уопште, био написан на руском језику, 1893. године. Професор Московског државног универзитета Николај Алексејевич Љубимов (1830 —1897) први је дизајнирао и описао пет демонстрација бестежинског стања у слободном паду. Експерименти Љубимова омогућили су визуелизацију и боље разумевање ефеката које бестежинско стање има на различита тела. Свој рад Љубимов је представио у чланку *Истраживање неких тешких система*. Превод тог чланка појавио се Немачкој 1898. године [187].



Слика 3.4.4. Апаратура Љубимова за демонстрацију нестанка тежине у слободном паду.

²¹ Дискусија о клатну у слободном паду дата је у одељку 4.6. овог рада.

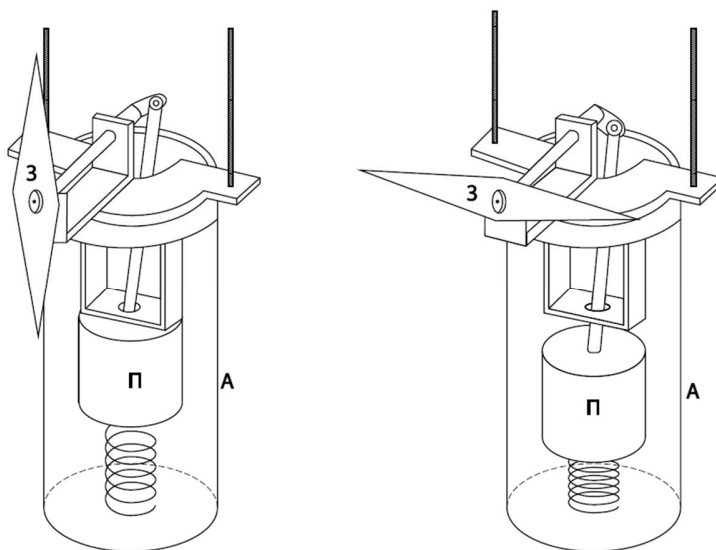
Систем приказан на слици 3.4.4. садржи тег (П) којим је притиснута опруга а казаљка (3) која је повезана са тегом заузима вертикални положај. Током слободног због непостојања тежине тег, опруга се издужује и помера тег нагоре а казаљка заузима хоризонтални положај.



Слика 3.4.5. Апаратура Љубимова за демонстрацију одсуства силе потиска у бестежинском стању.

На слици 3.4.5. приказано је у води (3) потопљено тело (1) које, под дејством силе потиска, истеже еластичну опругу (2) постављену на дно суда. У слободном паду (слика десно) опруга повлачи тег ка дну јер једина сила која наставља да делује у бестежинском стању јесте сила еластичности.

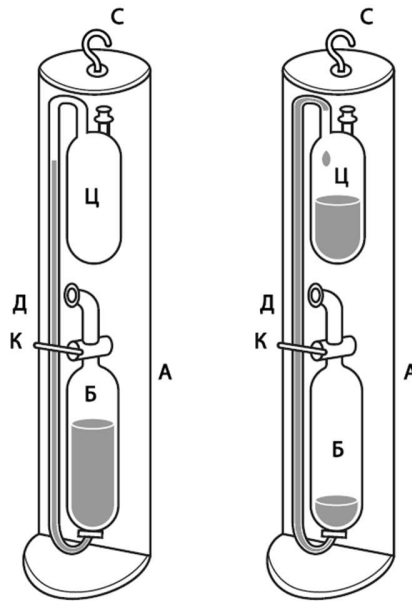
У следећем експерименту чија је поставка илустрована на слици 3.4.6. Љубимов унапређује претходни експеримент, омогућавајући бољу визуелизацију додавањем казаљке (3) која ће преласком из вертикалног у хоризонтални положај одразити деловање еластичне опруге на потопљено тело (П) када се оно током слободног пада нађе у бестежинском стању.



Слика 3.4.6. Апаратура Љубимова за демонстрацију одсуства силе потиска у бестежинском стању.

Љубимов је својим експериментима, још тада, остварио корелацију различитих тема физике, и бестежинско стање представљао као стање које сем одсуства тежине као последицу укључује и друге феномене, попут нестанка хидростатичког притиска и силе потиска, и испољавања еластичности тела.

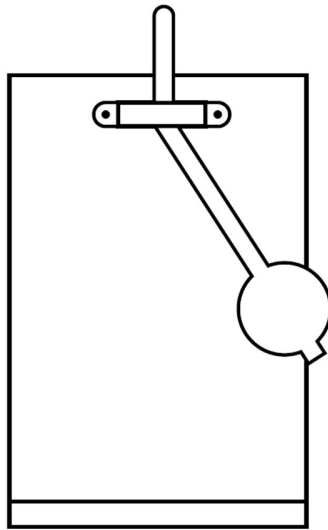
Када је реч о одсуству хидростатичког притиска у бестежинском стању Љубимов је представио и демонстрациони експеримент са живом чија је поставка дата на слици 3.4.7.



Слика 3.4.7. Апаратура Љубимова за демонстрацију одсуства хидростатичког притиска живе у бестежинском стању.

Затворени резервоар Б садржи ваздух који је компримован вишим нивоом живе у цеви Д. Цев Д је отворена за атмосферски ваздух. Она је савијена и завршава се у резервоару Ц. Љубимов је дао следећи опис промена које се дешавају у слободном паду: „Током слободног пада целог апарата, дејство живе која је компримовала ваздух у затвореном делу цеви престаје; али еластичност ваздуха се не мења током слободног пада. Један део живе ће кроз отворену цев ући у резервоар Ц.“ У слободном паду хидростатички притисак живе престаје да постоји, али притисак компримованог ваздуха не престаје. Како је тај притисак виши од атмосферског притиска који делује на живу у отвореној цеви, ваздух у резервоару Б се шири и помера живу „без тежине“ према резервоару Ц. Овај експеримент послужио је за реализацију експеримента Одсуство хидростатичког притиска живе у бестежинском стању описаног у одељку 4.1. овог рада.

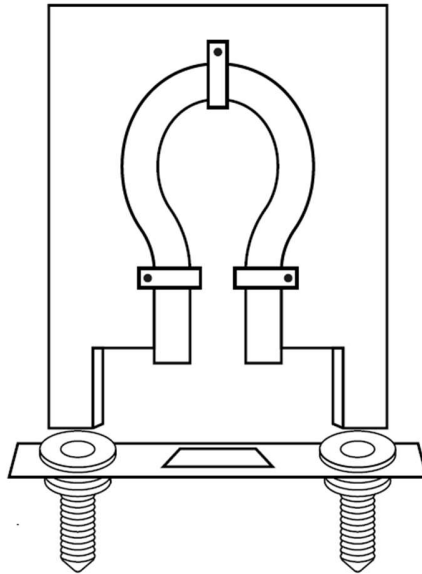
Још два интересантна експеримента представља Љубимов. Један се односи на утицај бестежинског стања на осциловање физичког клатна. Поставка експеримента је дата на слици 3.4.8.



Слика 3.4.8. Апаратура Љубимоа за демонстрацију понашања клатна у бестежинском стању.

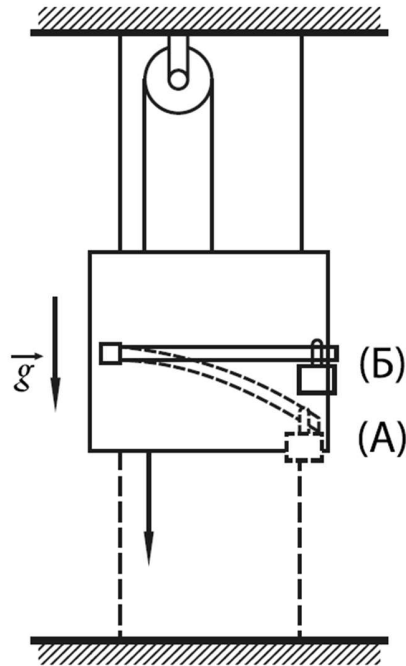
Апаратура се препушта слободном паду када је клатно отклоњено од равнотежног положаја. Клатно остаје у том положају током слободног пада, јер је анулирана сила теже која је условљавала осциловање у стационарном стању.

Љубимов укључује и манифестовање магнетног деловања у бестежинском стању. На слици 3.4.9. је приказана илустрација апаратуре коју је користио. У стационарном стању гвоздена плочица налази се на подлози испод магнета на одређеној удаљености. Како, у неинерцијалном систему апаратуре, током слободног пада сила теже бива анулирана инерцијалном силом, плочица се подиже до магнета под дејством магнетних сила које настављају да делују и у бестежинском стању. Са становишта посматрача ван система који пада, на плочицу у стању мировања делују сила теже, сила реакције подлоге и магнетна сила. У току пада сила реакције подлоге нестаје а сви делови система имају исто убрзање, те се манифестује магнетно привлачење.



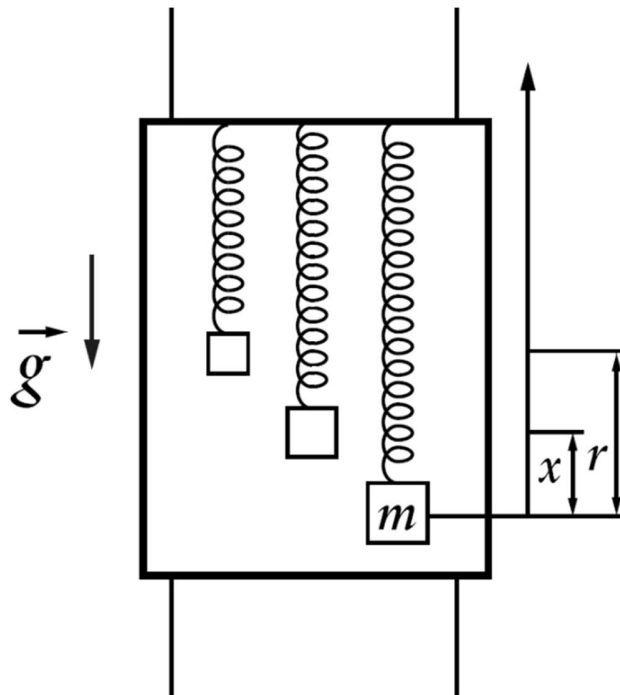
Слика 3.4.9. Апаратура Љубимова за демонстрацију магнетног деловања у бестежинском стању.

Експерименти Љубимова послужили за касније унапређене или поједностављене демонстрације бестежинског стања, често повлачећи одређене грешке. Тако Куљевлач [188] представља типичне примере грешака у интерпретацији експеримената Љубимова и анализира разлоге њихових појављивања. Он наводи да се у једном методичком приручнику представља цртеж Љубимовог експеримента са тврђењем да тег који пада не делује на летвицу на коју је закачен (Слика 3.4.10. А - положај тега пре падања, Б - положај приликом падања)



Слика 3.4.10. Цртеж из методичког приручника [189].

Међутим, тег ће од почетка слободног падања система почети да осцилује. Због присуства трења и отпора ваздуха који делује на тег који осцилује амплитуда осциловања ће бивати све мања и осциловање ће престати. Куљевлач наводи да се аналогне грешке у опису огледа Љубимова често проналазе — Молодзевски и Телеснин описују други пример – на једнаким спиралним опругама, постављеним на рам, висе три тега различитих маса при чему сваки од њих растеже одговарајућу опругу различито (Слика 3.4.11), а током слободног пада истезање опруга се смањује тако да су оне једнаких дужина (које одговарају њиховим дужинама у недеформисаном стању).



Слика 3.4.11. Цртеж апаратуре за демонстрацију бестежинског стања [190].

Зубов и Шаљинов анализирају проблем у коме је приказано да, при слободном паду апаратуре из огледа Љубимова, истезање опруге изостаје, а крајеви опруга се нађу у истој равни. Стрелков разматра само један тег на опрузи окаченој о рам и тврди да се током слободног пада, тегом растегнута опруга сажима као да на њој нема никаквог терета, и објашњава да тег не може да растегне опругу током слободног пада јер су сила теже и инерцијална сила у равнотежи [189-192].

Једначина кретања теча у односу на рам је:

$$m\ddot{x} = -mg + c(r - x) + mg$$

где је m — маса терета, x — елонгација (слика ...) r — статичко издужење опруге, g — убрзање слободног пада, c — крутост опруге. Решење ове једначине, које задовољава почетне услове

$$x(0) = 0, \dot{x}(0) = 0$$

је:

$$x = r \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c}{m}} t \right)$$

Тег врши хармонијске осцилације око новог положаја равнотеже $x=r$ са амплитудом r и угаоном фреквенцијом $\sqrt{\frac{c}{m}}$. У складу са условима задатка са истим c за све опруге, време подизања терета до нивоа $x = \lambda$ односиће се као $\sqrt{m_1} : \sqrt{m_2} : \sqrt{m_3}$, тј. тегови никада неће бити на истом нивоу [188].

Уколико бисмо кретање поменутог система посматрали из инерцијалног референтног система – везаног за Земљу, једначина кретања би била:

$$m\ddot{x} = -mg + c(r - x) \quad (3)$$

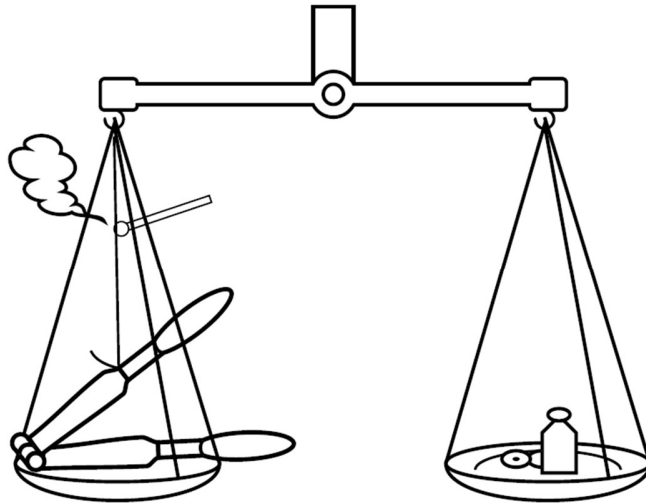
а њено решење:

$$x = \left(r - \frac{mg}{c}\right) \left(1 - \cos \sqrt{\frac{c}{m}} t\right) \quad (4)$$

које потврђује да је реч о осцилаторном кретању.

Важно место у литератури, припада и мисаоним експериментима, посебно због њиховог честог појављивања у уџбеницима физике. Вероватно је да је прву примену мисаоног експеримента са лифтом који слободно пада као модел за истраживање бестежинског стања предложио Јаков Исидорович Перелман. У Русији, крајем XIX века, концепти гравитационе силе и „притиска“ који тела врше ослањајући се на подлогу, познатог као тежина, су се разликовали. Перелман је ову разлику примењивао у својим разматрањима а своје идеје и увиде о бестежинском стању изнео у три дела – Занимљива физика, Међупланетарна путовања и Да ли знаш физику [193-195].

У *Међупланетарним путовањима*, Перелман описује разне демонстрације бестежинског стања које је дизајнирао Љубимов. Насупрот томе, у *Занимљивој физици* представља само једну демонстрацију слободног пада. Фотографија илустрације експерименталне поставке дата је на слици 3.4.12.



Слика 3.4.12. Апаратура Перелмана за демонстрацију бестежинског стања.

У упутству за реализацију експеримента наводи се да се на један крак теразија поставе клешта за ломљење ораха, тако да једна њихова ручица лежи на тасу, а друга је привезана концем за кукицу на полуги, док на други тас треба поставити тегове тако да теразије буду у равнотежи. Концу треба приближити пламен са запаљене шибице што ће условити његово прегоривање и пад горње ручице клешта на тас. Пељерман поставља питања: Шта ће се десити са теразијама у том тренутку? Да ли ће се тас са клештима спустити док ручица пада, да ли ће скоčiti или ће остати у равнотежи? У наставку Пељерман даје одговор – Тас мора за тренутак скоčiti увис. Горња ручица клешта, иако је везана са доњом, приликом пада врши на њу мањи притисак него у непокретном стању. Тежина клешта се, за тренутак, умањује и тас се подиже.

Једно од питања које Перелман поставља у књизи Да ли знаш физику односи се на ситуацију са вагом у лифту који слободно пада и да ли вода из посуде са отвором при дну истиче када кабл лифта пукне. Пељерманови одговори на ово питање су да вага показује нулу и да вода не истиче.

Неки аутори као локацију за мисаоне експерименте наводе свемирску станицу у орбити Земље. Питања која постављају тичу се силе потиска и Архимедовог закона и њиховог присуства односно важења у условима бестежинског стања. Код мисаоних експеримената присутна је неизвесност њихових исхода. Значај таквих неизвесности

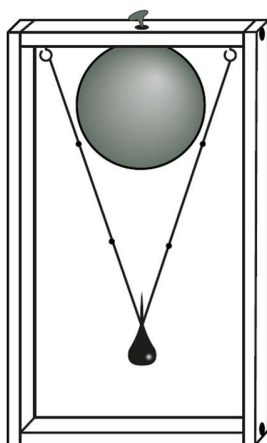
огледа се у потенцијалној мотивацији за истраживање кроз дизајнирање физичких експеримената који ће потврђивати или оповргавати предвиђања [196, 197]. Експерименти који се могу реализовати у учионицама елиминишу неизвесност исхода. Бројни су такви експерименти, а њихов значај се огледа у могућностима са другим наставним темама физике [198-203].

Еластичност у бестежинском стању

Експериментом са кухињском вагом у слободном паду Ла Комб и Кос упућују на разлику између масе и тежине [204]. Говорећи о бестежинском стању као стању тела када је оно „без тежине“ а имајући у виду доступност кухињских вага, можда је најједноставнији експеримент пад ваге са телом чија се тежина мери. Вероватно би тако и било да принцип рада кухињске ваге није сабијање еластичне опруге под дејством силе. Кухињска вага неће показивати нулу све време слободног пада, већ само у одређеним тренуцима, јер еластична опруга неће одмах прећи у недеформисано стање, већ ће више или мање осциловати.

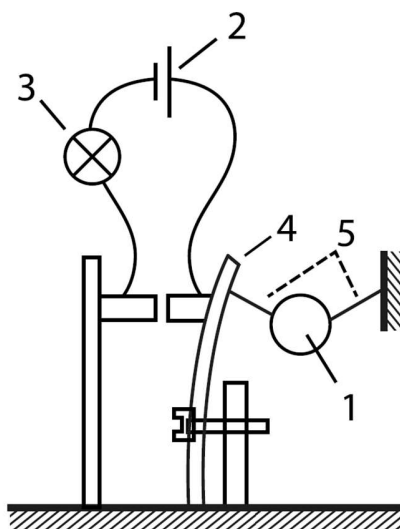
У колумни „String and Sticky Tape“, аутор је предложио демонстрацију бестежинског стања у којој се користи чаша од стиропора преко чије ивице висе новчићи причвршћени гумицама, док су други крајеви гумица причвршћени за рупу на дну чаше [205]. У бестежинском стању, када се наставља дејство сила еластичности гумица, новчићи упадају у чашу. Смит је за велике групе ученика променио димензије апаратуре узевши већу пластичну посуду и металне прстенове [199].

Вогт и Варго у Приручнику за наставнике [206] предлажу неколико активности. Једну од предложених активности илуструје слика 3.4.13. Оловни тег (из риболовачког прибора) растеже гумицу тако да виси близу дна рама који ће слободно падати. На тег је постављена игла оријентисана навише, према балону који је причвршћен за врх рама. Током слободног пада, када нестаје тежина тега, у гумици делују силе еластичности које повлаче тег нагоре и балон бива пробушен иглом. Указано је да се уместо гумице може користити неистегљива нит те да тада у слободном паду неће доћи до пуцања балона.



Слика 3.4.13. Пример апаратуре за демонстрацију бестежинског стања из Приручника за наставнике аутора Вогта и Варга.

Значај описаног демонстрационог експеримента огледа се у томе што за његову реализацију и визуелизацију појаве у бестежинском стању, иако је препоручен, није неопходан видео запис, јер се ефекат настао у бестежинском стању може доживети чулом слуха. Демонстрациони експеримент је утолико значајнији за наставу физике уколико се од ученика затражи предвиђање о томе шта ће се десити ако се рам испусти. Да ли ће балон пући? Ако ће пући, када ће се то догодити?

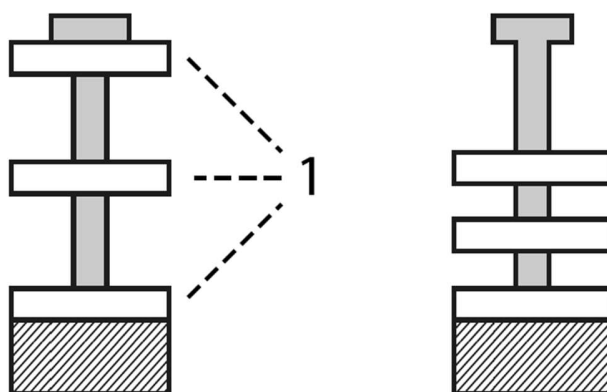


Слика 3.4.14. Апаратура за демонстрацију бестежинског стања помоћу електричне струје и еластичности А. Дозорова.

А. Дозоров у чланку *Демонстрација невесомости* показао је како се може реализовати експеримент којим се демонстрира бестежинско стање помоћу електричне струје и еластичних деформација [207]. На слици 3.4.14. приказана је шема експерименталне поставке. За еластичну плочицу (4), која има улогу прекидача електричног кола привезана је еластична врпца (5) са куглицом (1). Врпца је својим другим крајем учвршћена за вертикални стубић. У стационарном стању куглица својом тежином истеже еластичну врпцу због чега она деформише вертикалу плочицу, савијајући је улево. Током слободног пада, у бестежинском стању вертикална плочица ће се покренути удесно, затварајући електрично коло, што се манифестује укључивањем сијалице (3). Међутим вертикална плочица ће пригушено осциловати због чега ће сијалица само на тренутак засветлети.

Магнетизам у бестежинском стању

Ла Комб и Кос су направили пет модула за експерименте, трајно монтираних на платформе које се лако могу убацити у слотове у кутији за падање, са унапред подешеним фокусом камере која успореним модом снима појаве унутар кутије. Поред тога конструисали су празне модуле од шперплоче или картона како би наставници могли да постављају своје демонстрације и прате експерименте које студенти реализују. Међу успешно реализованим експериментима демонстрације бестежинског стања је позиционирање прстенастих магнета дуж вертикалне шипке (Слика 3.4.15.), и пад запаљене свеће [204].

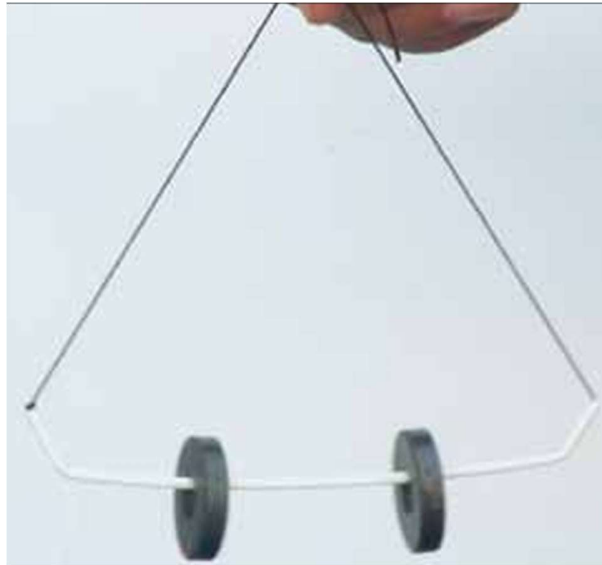


Слика 3.4.15. Прстенасти магнети (1) у бестежинском стању (лево) и у стационарном стању (десно).

Ајала и сарадници дизајнирали су експеримент у коме је неодијумски магнет причвршћен на отвор а метална кугла постављена на дно флаше. Када се флаша пусти да слободно пада магнет успе да привуче куглу [208].

Истраживање Барамбе показује да многа погрешна схватања произилазе из недостатка практичног искуства и неадекватног наставног материјала. Он представља, поред осталих, и експеримент у коме се помоћу конца, испод јаког магнета поставља ексер, и сугерише посматрање при слободном паду уз питање о томе да ли ће ексер бити привучен магнетом [209].

За још једну демонстрацију бестежинског стања Слишко и Корона су дизајнирали апаратуру која се састоји од два магнетна прстена, пластичне сламчице савијене на оба краја и конца (Слика 3.4.16).



Слика 3.4.16. Магнетни прстени на сламчици [202].

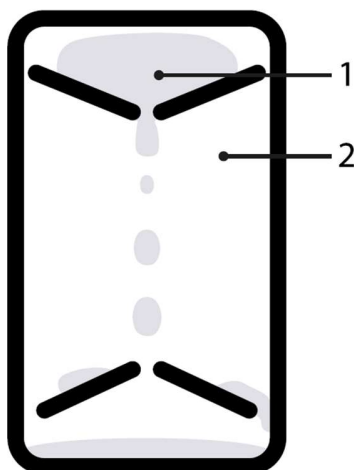
Магнети се постављају на сламчицу на удаљености на којој је сила статичког трења једнака привлачној или одбојној магнетној сили. Конац се провлачи кроз сламку и веже у чвор. Померањем конца и магнета, сламчица се подешава да део између магнета буде хоризонталан. Током слободног пада, у бестежинском стању, магнети не притискају сламчицу и сила статичког трења нестаје, док магнетне силе управљају понашањем магнета. Слишко и Корона пореде описану ситуацију са оном у којој опруга спаја два дрвена квадра на дрвеној подлози са високим коефицијентом трења. У слободном паду трење нестаје и опруга еластичном силом помера квадра један према другом [202].

Флуиди у бестежинском стању

Експеримент са посудом која има отвор при дну и која је испуњена водом, која када је у слободном паду престаје да истиче, често се проналази у литератури. Занимљива модификација поменутог експеримента проналази се у раду Короне и сарадника. Наиме, они постављају питање шта ће се десити са млазевима воде након што се боца баци увис. У понуђеним одговорима наводе се следећа предвиђања – млазеви воде ће престати да теку, тећи ће брже, тећи ће спорије и тећи ће као претходно. У даљем се захтева образложење за одговор који је изабран. Поред разумевања да вода

у стационарном стању истиче услед хидростатичког притиска, важно је разумевање да се кретање боце и воде навише може посматрати као комбинација кретања по инерцији и слободног пада и да без обзира на правац кретања, ако је присутан слободан пад, вода је у бестежинском стању и не истиче из боце [200].

Још један демонстрациони експеримент, који су Ле Комб и Кос приказали, илустрован је на слици 3.4.17. Употребљене су две различите течности које се међусобно не мешају, и, у конструкцији налик пешчаном сату, показано је да капљице гушће течности током слободног пада стају. Поред тога, предложено је да се демонстрира да се у бестежинском стању не мења електрични напон батерије, коришћењем тестера за батерије [204].



Слика 3.4.17. Апаратура за демонстрацију понашања флуида у бестежинском стању.

На основу мисаоног експеримента према коме би капљица живе²² у лифту који слободно пада заузела сферни облик и кретала се осцилаторно између пода и плафона лифта, Балуквић и сарадници су реализовали физички експеримент и преко видео записа утврдили да кап живе није била потпуно сферна нити се кретала између пода и плафона, већ је остала на поду „лифта“ претрпевши мале промене у свом облику. Касније

²² Експерименти са живом треба да остану као мисаони експерименти или као видео записи, због опасности при руковању живом.

је експеримент додатно модификован постављањем живе на површину од истегнутог латекса. У слободном паду жива је претрпела промене у облику и на тренутак је била одвојена од подлоге [210].

За ефикасно учење, кључно је да експерименти, симулације и посматрања буду практично изводљиви. На тај начин ученицима је омогућено да упореде своје идеје са стварним концептима и унапреде свој начин размишљања [211, 212].

Концептуални задатак којим се од ученика захтева да предвиде смер кретања балона и оловне кугле након што се пусте док је лифт, у коме се налазе, у слободном паду, налази се у раду Ајзенкрафта. Игал Галили и Јарон Лехави су, у истраживању о томе како наставници физике и ученици у средњим школама, размеју бестежинско стање, користили поменути задатак уз захтев да се објасни шта посматрач уочава у вези са куглом и балоном. Утврђен је релативно велики проценат одговора са нетачним предвидијањем да ће се балон напуњен хелијумом кретати нагоре [184, 213]. Описани експеримент би имао значајније место у настави физике ако би се претпоставке провериле у физичком експерименту што би захтевало дизајнирање апаратуре за његову реализацију.

Задатак са наелектрисаном куглицом која мирује у електричном пољу из уводног дела 3.1.2. може бити употребљен као мисаони експеримент и „вратити“ ученике на појам бестежинског стања, иако је тема која се обрађује таква да се на први поглед може помислити да не пружа могућност поменуте корелације. Према Маху несигурност у исходе мисаоних експеримената мотивише истраживаче да прибегну физичким експериментима којима би потврдили или оповргли теоријска предвиђања [197]. Пример са вертикалном шипком са магнетима, тако, може да послужи као мисаони експеримент, али се може и практично једноставно реализовати. Овај експеримент омогућава посредно одређивање бројне вредности магнетне силе а питање у вези са њим има вредност питања концептуалног текста о разумевању бестежинског стања.

Велики број експеримената из литературе омогућава да се међу њима бирају они који су најједноставнији за реализацију у учионицама, усклађени са конкретним наставним темама. Међутим мали је број истраживања о примени демонстрационих експеримената о бестежинском стању који се односе на примену експеримената ради подстицаја развоја креативности ученика.

Научни концепти се могу усвајати на начин који не подразумева меморисање и репродуковање дефиниција и математичких формула. Аронс указује да концепти и идеје треба да се развијају пре терминологије [214] Arons, 1983). Између концепата и ученика треба да стоји могућност истраживања која покреће радозналост која даље води развоју критичког мишљења. Према Хјуиту²³, најбоље што ум једног ученика може изнедрити не мора увек бити обликовано математичким језиком. Чини се да има много више ученика заинтересованих за учење физике, него што их је за учење напредних нивоа математике. Учење физике је превише важно, превише фасцинантно да би било ограничено само на оне који имају способности за математичку анализу. Настава физике треба да је таква да сви ученици уживају у њој [215]. Из тог разлога је важно да примена експеримената не подразумева само посматрање и тумачење од стране наставника, и „превођење на језик математике“, већ наставне приступе који подстичу размишљање и постављање питања као и експерименталну потрагу за њиховим одговорима.

²³ Истог је става и аутор овог рада.

Глава 4.

Иновативни демонстрациони експерименти о бестежинском стању

Следећи препоруке о извођењу наставе физике изнесеним у Програмима наставе и учења [5-7, 171] а у контексту конструктивистичког приступа, осмишљени су експерименти којима се изучавање бестежинског стања може побољшати и истовремено омогућити корелација више наставних тема зарад представљања физике као целовите и свеобухватне науке и наставног предмета како је наведено у 2. глави.

Дизајнирање нових експеримента о бестежинском стању било је засновано на:

- једноставној доступности материјала за израду апаратура,
- отвореној могућности да ученици сами постављају и самостално изводе експерименте,
- могућности снимања експеримената, посебно успореним модовима снимања камерама мобилних телефона,
- доступности дигиталних ресурса.

Реч је о следећим експериментима:

- Одсуство хидростатичког притиска у бестежинском стању живе²⁴;

²⁴ Овај експеримент се препоручије искључиво као мисаони експеримент или употребом насталог видео снимка, због забране употребе живе а према [216].

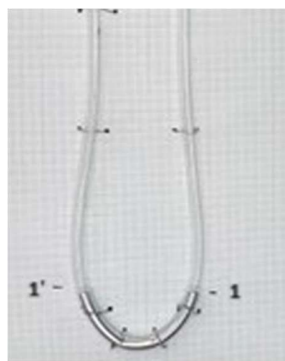
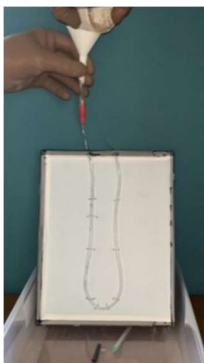
- Одсуство силе потиска у бестежинском стању, демонстрација магнетним деловањем;
- Одсуство хидростатичког притиска и силе потиска у бестежинском стању, демонстрација помоћу мехура ваздуха;
- Клатно у бестежинском стању — дигитални експерименти;
- Еластична опруга у бестежинском стању — дигитални експеримент;
- Осцилаторно кретање у бестежинском стању.

Изузев првог наведеног експеримента, све експерименте ученици могу самостално реализовати у школи, код куће, у пару или у групи.

4.1. Одсуство хидростатичког притиска у бестежинском стању

живе

У експерименту је искоришћена жива из старог апарата за мерење крвног притиска (такви апарати су стављени ван употребе). Жива је уливена у U —цев²⁵ посебно дизајниране апаратуре за реализацију експеримента. Апаратуру чини пластична кутија на коју су постављене жичане петље кроз које је провучена пластична U-цев отворена на оба краја. Жива се улива у U-цев (Слика 4.1.а) до одређеног нивоа (Слика 4.1.б.).



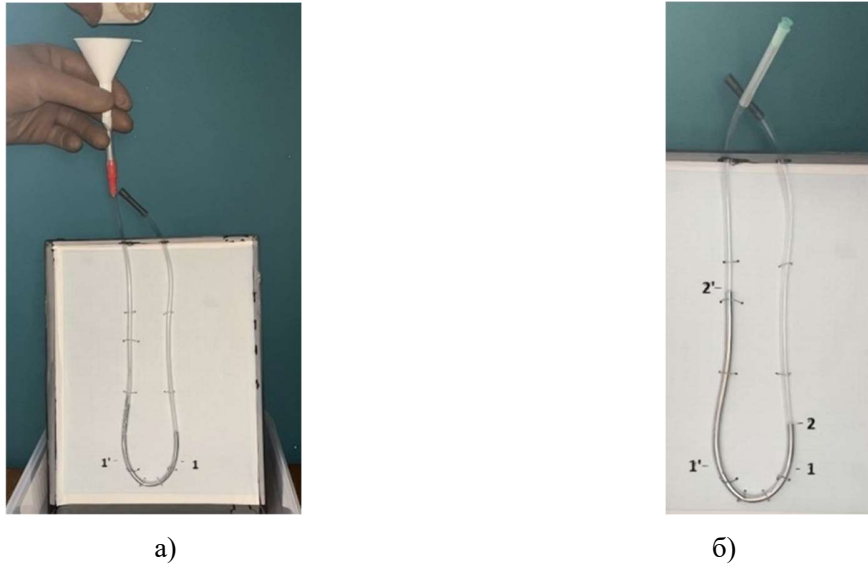
Слика 4.1. а) Уливање живе у U-цев; б) Нивои живе пре затварања једног крака.

Затим се један (десни) крај цеви затвара чепом. Додатна количина живе улива се у други, отворени крак (Слика 4.2.а) што доводи до различитих нивоа живе у оба крака (Слика 4.2.б). Притисак ваздуха у затвореном краку је виши од атмосферског притиска. Разлика притиска ваздуха и атмосферског притиска је једнака хидростатичком притиску стуба

²⁵ Назив цеви потиче од облика који одговара латиничном слову „U“.

Иновативни демонстрациони експерименти о бестежинском стању

живе који је изнад нивоа 2 у затвореном краку. Растојање између нивоа 2-2' је 0,11 m. хидростатички притисак живе који одговара овој висини живиног стуба је 14 676 Pa.

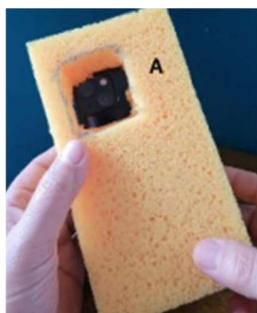


Слика 4.2.а) Додавање живе у отворени крак; б) Различити нивои живе [14]

Чеп са отвором поставља се на отворени крак, у сврху спречавања изливања живе услед удара о тле приликом пада. Пластична кутија је затворена поклопцем, на који је могуће безбедно поставити мобилни телефон. Камером мобилног телефона снима се кретање живе у цеви током слободног пада. Он је постављен у сунђер који је обликован тако да омогућава укључивање снимања и неометано снимање из позиције у којој се сунђер налази. На поклопцу пластичне кутије направљен је отвор тако да омогућава добру позицију објектива камере мобилног телефона. Сунђер је исечен на средини у виду цепа (S) тако да се у њега поставља мобилни телефон (Слика 4.3.а).

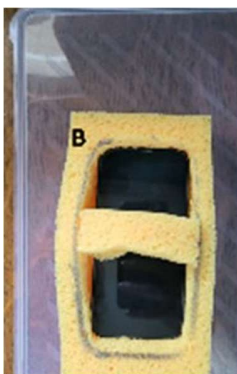


Слика 4.3.а. Припрема пластичне кутије и сунђера за постављање мобилног телефона
На једној страни сунђера (А) налази се отвор који је идентичан отвору на поклопцу кутије, тј. месту где се налази камера мобилног телефона (Слика 4.3.б).



Слика 4.3.б. Отвор за објектив камере мобилног телефона.

На супротној, паралелној страни сунђера (В), направљен је отвор чија је површина једнака површини екрана мобилног телефона (Слика 4.3.в).



Слика 4.3.в. Постављање мобилног телефона у сунђер.

Отвор на страни А, заједно са отвором на поклопцу, омогућава камери да фокусира апаратуру унутар кутије (Слика 4.3.г).



Слика 4.3.2. Постављање сунђера на поклопац пластичне кутије.

Отвор на страни В је окренут према посматрачу и омогућава укључивање камере мобилног телефона и добру процену квалитета кадра. Сунђер је причвршћен за поклопац кутије, тако да цео систем који ће падати чине: кутија која садржи апаратуру са живом, поклопац са отвором и сунђер са мобилним телефоном који је причвршћен за поклопац (Слика 4.4.а).



Слика 4.4.а. Кутија са постављеним сунђером и мобилним телефоном.

Кутији су додате металне кукице на горњем десном, горњем левом, доњем десном и доњем левом делу (Слика 4.4.б.).



Слика 4.4.б. Метална кукица на кутији.

Кукице на левој страни кутије, на горњој и доњој страни су на истој оси. Исто важи и за кукице на десној, горњој и доњој страни. Жице су провучене кроз отворе горњих и доњих кукица. Отвори на кукицама су толико широки да не додирују жицу док кутија пада. Вертикално постављене жице обезбеђују вертикални правац кретања кутије и помажу у позиционирању кутије пре него она почне да пада (Слика 4.4.в). Ударац кутије о тле је апсорбован сунђерастом подлогом (Слика 4.4.г.), чиме се обезбеђује да се апаратура не поломи и да жива не доспе у околину.



Слика 4.4.в. Постављање апаратуре на висину са које ће падати.



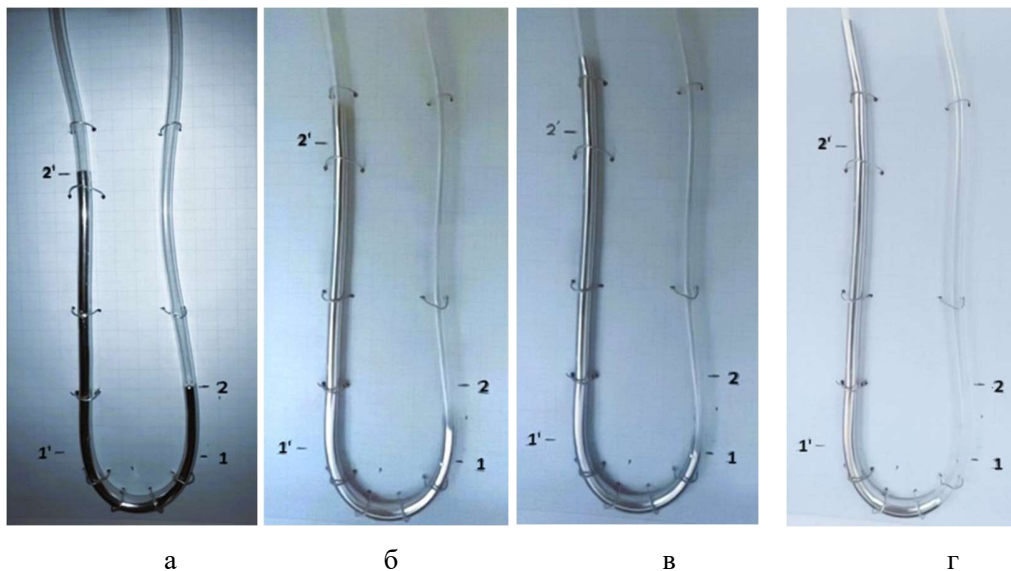
Слика 4.4.г. Подлога којом се апсорбује ударац апаратуре о тле.

Иновативни демонстрациони експерименти о бестежинском стању

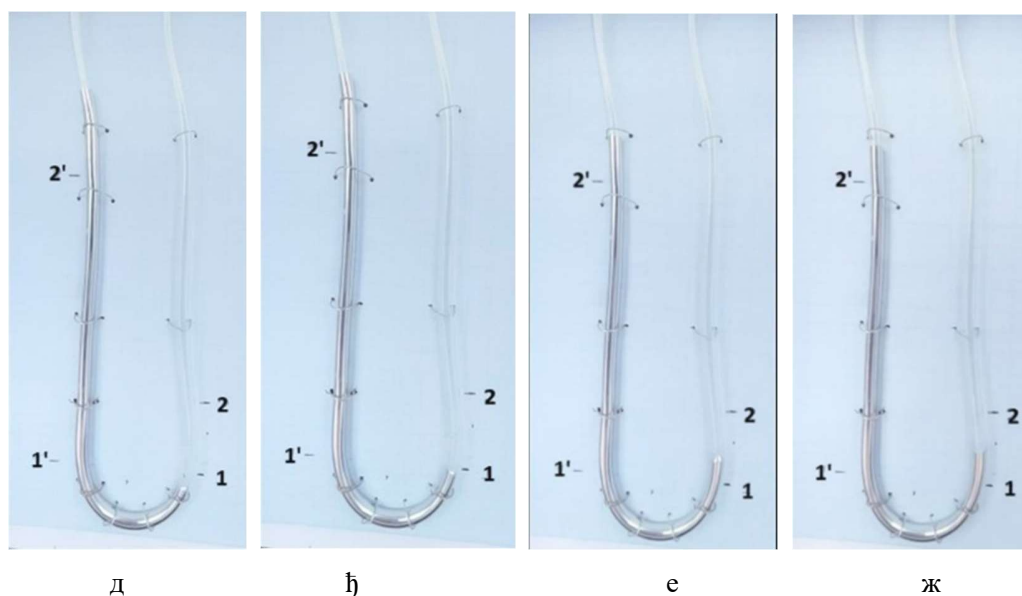
Апаратура се пушта да слободно пада са висине од 2 m. Трајање слободног пада је приближно 0,64 s. Кретање живе у цеви током слободног пада приказано је на слици 4.5.

Појава током слободног пада, првобитно је документована снимањем помоћу камере ајфона у режиму успорног снимања²⁶ са 184 кадра по секунди (184 fps). Касније, видео снимак је емитован на рачунару помоћу програма који додатно омогућава успорено репродуковање, те је добијена секвенца слика која представља низ кадрова из видео записа (Слика 4.5).

Појава која се уочава описана је у даљем тексту. Ниво живе у затвореном краку пада испод нивоа 1, док се ниво живе у отвореном краку подиже изнад нивоа 2 (секвенце а-б-в-г на Слици 4.5.).



²⁶ Употреба успореног мода снимања камером мобилног телефона је, на одређени начин, замена за употребу стробоскопа.



Слика 4.5. Нивои живе током слободног пада у току 0.64 s;
(временски код: а-0:00; в-0:01; г-0:02; ж-0:04) [14].

Након што се жива заустави, ниво живе у затвореном краку почиње да се подиже, прелазећи ниво 1 до нивоа 2 (секвенце д-ђ-е-ж на слици 4.5.). На основу позиције живе на Сlici 4.5.ж, примећује се да кретање живе почиње да се понавља.

Током слободног пада, у бестежинском стању, нестаје хидростатички притисак живе. Због већег притиска ваздуха изнад живе у затвореном краку, у поређењу са атмосферским притиском изнад живе у отвореном краку, и појаве додатне силе услед тога, која доводи до изједначавања притисака, ваздух у затвореном краку цеви се шири и врши притисак надолу, на живу. Када жива дође до нивоа 1, она се не зауставља, већ наставља да се креће док се не заустави на одређеном нивоу испод обележеног нивоа 1. У том тренутку, атмосферски притисак изнад живе у отвореном краку је већи од притиска ваздуха у затвореном краку, и ваздух из отвореног крака делује на живу, гурајући је надолу. Дакле, жива у затвореном краку се подиже до нивоа 1, и прелази ниво 1, иде према нивоу 2, и зауставља се на одређеном нивоу испод нивоа 2 у тренутку када започиње другу осцилацију. Видео се завршава због временског ограничења, односно дужине пута при слободном паду. Уколико би дужина пута била већа и тиме се обезбедило дуже временско трајање видео снимања евидентно би било да жива врши пригушено осциловање. Када је реч о експерименту Љубимова наведеном у одељку 4.6.

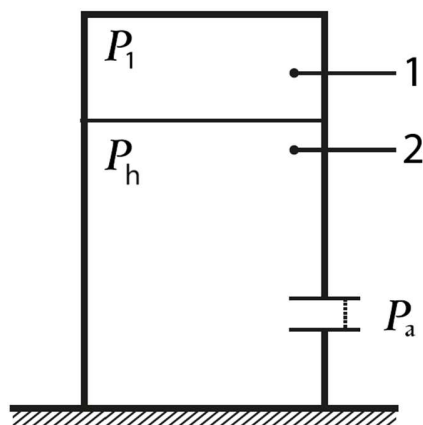
овог рада описано кретање се не би догодило и у његовом експерименту јер би жива изашла кроз отворени део апаратуре [14].

Будући да је руковање живом забрањено, експеримент се може применити као мисаони у ситуацијама када се истражују концепти бестежинског стања или се тестира разумевање истих. Блимович је представио оглед Љубимова ученицима средњих школа и поставио питање о понашању живе током слободног пада. У датом одговору, тврдио је да хидростатички притисак живе нестаје, а компримовани ваздух помери део живе у горњи суд. Од ученика и наставника очекивало се да прихвате ово тврђење као објашњење, а не као емпиријски доказану истину [187, 217].

4.2. Одсуство хидростатичког притиска и силе потиска у бестежинском стању, демонстрација помоћу мехура ваздуха

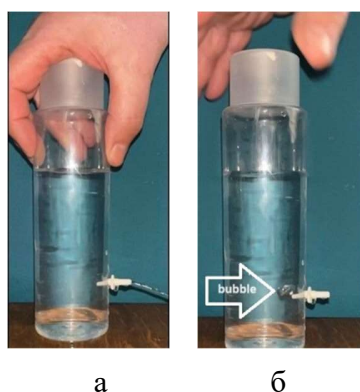
Иновативни експеримент – Одсуство хидростатичког притиска у бестежинском стању – демонстрација помоћу мехура ваздуха [13], једноставан је за самосталну реализацију од стране ученика. Обухват наставних тема који се остварује овим експериментом је значајан и предлаже се за укључивање у програм наставе и учења физике како у основној тако и у средњој школи, односно гимназији.

Од материјала је потребно имати боцу са чепом која има отвор близу дна. Боца се делимично напуни водом која не излази из ње јер су унутрашњи ваздушни притисак (p_1) и хидростатички притисак воде (p_h) у равнотежи са спољашњим, атмосферским, притиском (p_a) (Слика 4.6.).



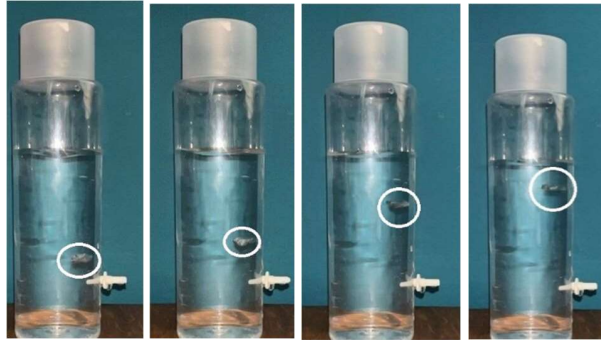
Слика 4.6. Шема затворене боце делимично напуњене водом и са отвором при дну.

Уместо стварања мехура у води, удубавањем ваздуха кроз пластичну сламчицу, као што је описано у раду Слишка и Гардуна [218], примењен је другачији начин стварања мехурића. Када боца мирује и нежно се притисне прстима, део воде из ње излази у облику млаза (Слика 4.7).



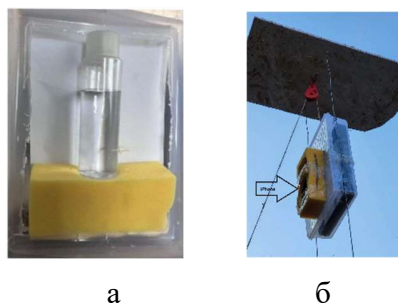
Слика 4.7. Формирање млаза воде и мехурића ваздуха [13].

Због деловања силе потиска, мехур ваздуха формиран у води, поред отвора боце, креће се нагоре (Слика 4.8.).



Слика 4.8. Мехур ваздуха формиран у води креће се нагоре [13].

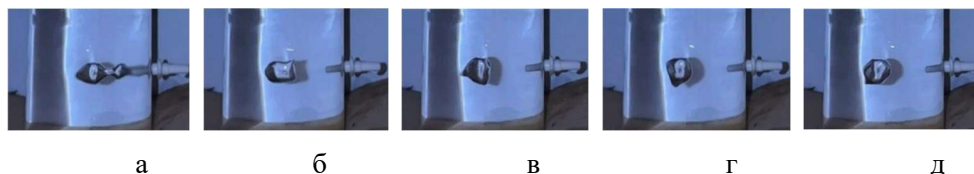
Хидростатички притисак (p_h) за одређену дубину у флуиду у стационарном систему једнак је производу густине флуида (ρ), гравитационог убрзања (g) и висине стуба течности (h), тј $p_h = \rho gh$. У бестежинском стању, које се јавља током слободног пада када гравитационо поље, локално, привидно не постоји ($g=0$), хидростатички притисак постаје једнак нули ($p_h=0$). У тренутку када систем почне слободно да пада, и хидростатички притисак воде нестане, унутрашњи притисак ваздуха је тада мањи од атмосферског притиска. ($p_1 < p_a$). Због тога ваздух од споља улази у воду и формира мехурић чиме се поново успоставља равнотежа притисака. Да би се елиминисао Бернулијев ефекат протока ваздуха око боце током пада (што би довело до смањивања спољашњег ваздушног притиска), боца је постављена унутар веће пластичне кутије (Слика 4.9.а).



Слика 4.9. Кутија са боцом и причвршћеним ајфоном користи се за снимање понашања мехурића у бестежинском стању; Пластична кутија и њено постављање за слободан пад су описани у одељку 4.1. [13].

За посматрање понашања мехура ваздуха током слободног пада, мобилни телефон као уређај за видео снимање, причвршћен је за поклопац кутије (Слика 4.9.б), који има отвор

одговарајући објективу камере мобилног телефона. Секвенце а-д на слици 4.10. су настале као кадрови успореног видео записа ајфоном са 240 кадрова у секунди (fps).



Слика 4.10. У бестежинском стању, мехури ваздуха се креће хоризонтално [13].

Са секвенце кадрова а-б-в-г-д на Слици 4.10. уочава се како се понаша мехур ваздуха формиран у води током слободног пада. С обзиром на то да сила потиска (F_p) зависи од густине флуида (ρ), гравитационог убрзања (g) и запремине потопљеног тела (V), $F_p = \rho g V$ (у овом случају мехурића), и да када је $g=0$ следи да је $F_p=0$, мехурић ваздуха, који улази у боцу, не одлази нагоре, већ се креће хоризонтално. Интеракција са водом мења његов облик и смањује његову почетну брзину.

4.4. Одсуство силе потиска у бестежинском стању, демонстрација магнетним деловањем

Као што је поменуто, одсуство силе потиска када су потопљено тело и флуид заједно у бестежинском стању може се демонстрирати експериментима предложеним у радовима Слишка, Гардуна и Планиншича [201, 218, 219]. Иновираним демонстрациони експериментом - Одсуство силе потиска у бестежинском стању демонстрација магнетним деловањем [12] доказује се да сила која делује у бестежинском стању може учинити да тело, иако мање густине од густине воде, уместо да испливава тоне.

Материјал потребан за постављање експеримента су: магнетна тацна, прстенасти магнет (извађен из друге магнетне тацне), посуда са водом, лоптица за стони тенис и челична куглица за чај (Слика 4.11).



Слика 4.11. Материјал потребан за реализацију експеримента,

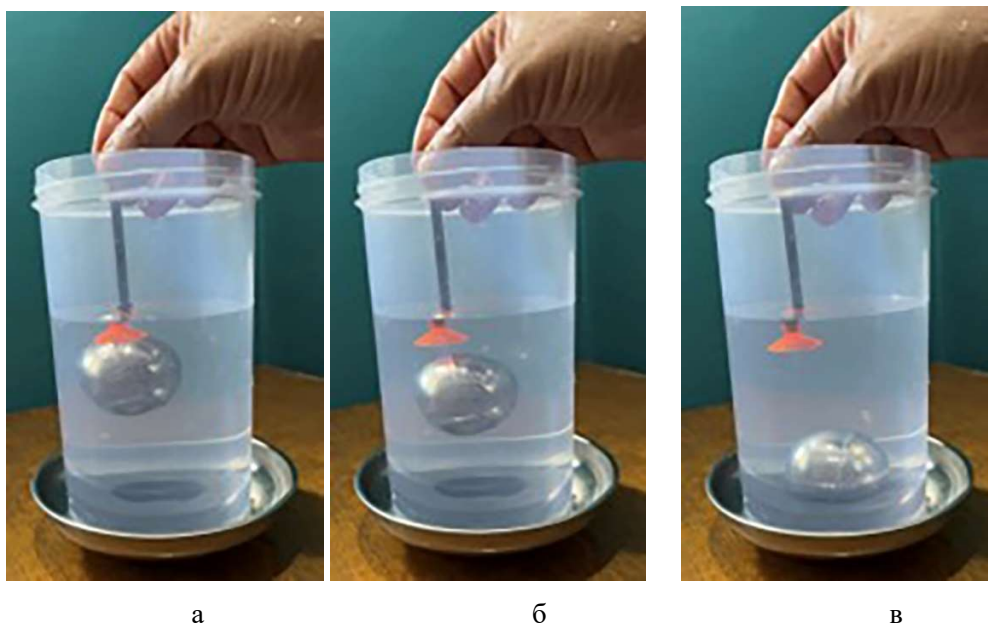
Прстенасти магнет се поставља на дно посуде са водом како би се „залепио“ за магнетну тацну у којој стоји посуда. Челична куглица за чај тоне у води. Међутим она плута када у својој унутрашњости има лоптицу за стони тенис. (Слика 4.12).



Слика 4.12. Челична куглица за чај плута на води када је у њој лоптица за стони тенис,

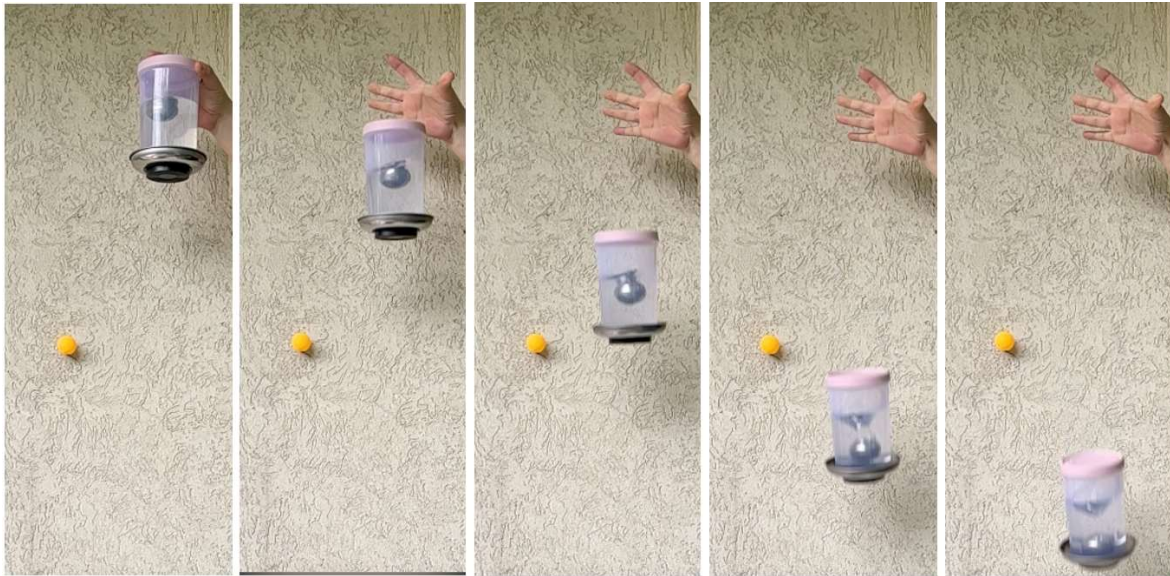
Сила Земљине теже и магнетна сила које делују на челичну куглицу за чај, вертикално надоле, у равнотежи су са силом потиска која делује на куглицу на чај, вертикално нагоре. Да би се куглица за чај спустила на дно посуде, до магнета, треба је

потопити дубље како би интензитет магнетне силе био већи. То је учињено коришћењем стрелице (из дечијег пиштоља) која има гумени округли закривљени део на врху (Слика 4.13.а). Након што се достигне критично растојање између магнетног прстена и куглице за чај, збир силе Земљине теже и магнетне силе постаје већи од силе потиска (Слика 4.13.б), тако да долази до тога да се куглица за чај спушта на дно (Слика 4.13.в).



Слика 4.13: **а)** Спуштање куглице за чај; **б)** На критичном растојању сила Земљине теже и магнетна сила постају веће од силе потиска; **в)** Куглица за чај је на дну посуде (привучена магнетним прстеном).

У првом тренутку, посуда се држи руком и куглица за чај плута. Затим се посуда пусти да слободно пада. С обзиром на то да нема силе потиска, магнет привлачи куглицу за чај и она се веома брзо спусти на дно посуде (Слика 4.14).



Слика 4.14. Први кадар показује куглицу за чај како плута, док посуда мирује. Остали кадрови приказују „магнетно потонуће“ куглице за чај док посуда слободно пада. Жута лоптица за стони тенис, причвршћена за зид, служи као референтно тело [12].

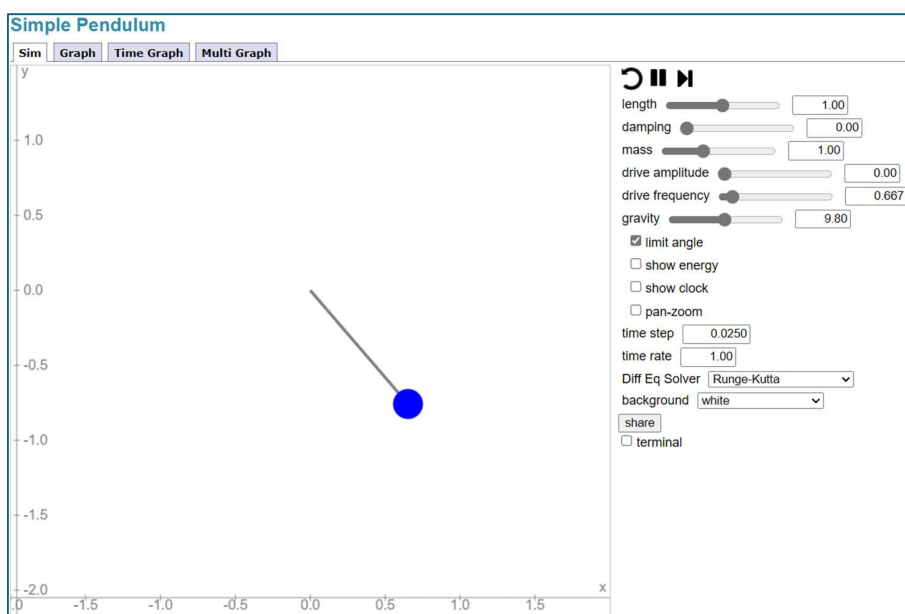
Описани демонстрациони експеримент се може користити у различитим педагошким сценаријима. Ученицима се може показати понашање куглице за чај и захтевати објашњење уочене појаве. Наставници могу ученицима предати материјал за експеримент и дати креативан задатак – Искористите ове предмете да бисте демонстрирали одсуство силе потиска у бестежинском стању [220].

4.4. Клатно у бестежинском стању – дигитални експерименти

Допринос успешној интеграцији интерактивних симулација у настави физике вероватно би био постигнут испитивањем њихових могућности, предности и недостатака. У оквиру пројекта „Physics Education Technology“ (PhET) креиране су корисне симулације за подучавање и учење физике. Симулације су анимиране и интерактивне, и омогућавају ученицима учење кроз истраживање. Оне повезују стварне феномене и основе науке. Основни дизајн симулација заснива се на истраживачком приступу који подстиче ангажовање студената и доприноси разумевању физичких концепата [221].

Осциловање математичког клатна путем дигиталних симулација „My physics lab“, „Educaplus“, „Physics and Chemistry by a Clear Learning“ и „PhET“, омогућава праћење кинематичких и динамичких величина које описују такво кретање [222-226]. Визуелизација векторских величина у различитим временским тренуцима додано обogaђује интерпретацију њихових промена. Проучавањем осцилаторног кретања остварује се и корелација са садржајима о количини кретања. Различите вредности количине кретања у различитим временским тренуцима током осциловања клатна условљава различито понашање клатна при избору нулте вредности јачине гравитационог поља. Могућност избора $g=0$ омогућавају симулације „My physics lab“ и „PhET“. С обзиром на то да је у PhET симулацији могуће „искључити“ гравитационо поље када се клатно налази у различитим положајима, настава физике применом ове симулације, може обезбедити боље усвајање исправних концепата о количини кретања, угаоној брзини, Њутновом закону инерције и бестежинском стању.

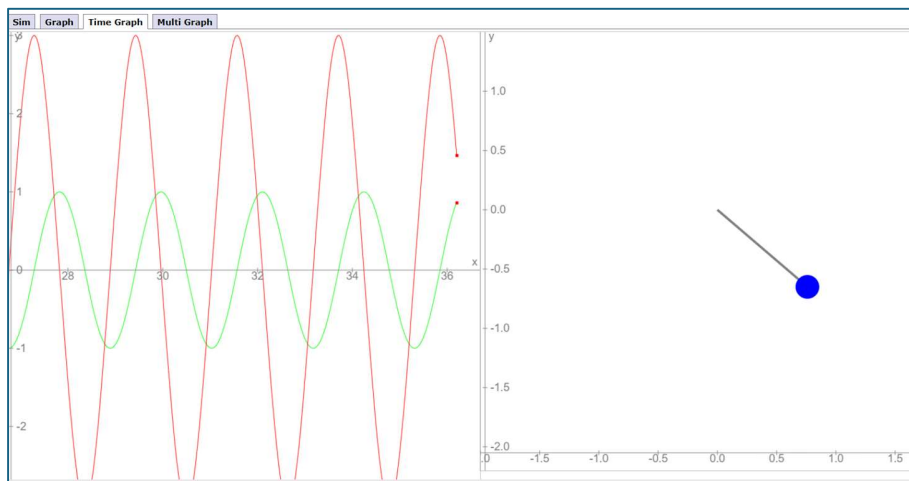
Симулација „My physics lab“ омогућава проучавање кретања математичког клатна у односу на промене у дужини, пригушењу, маси и гравитационом убрзању. Изглед „My physics lab“ приказан је на слици 4.15.



Слика 4.15. Изглед симулације „My physics lab“ осцилације клатна [222].

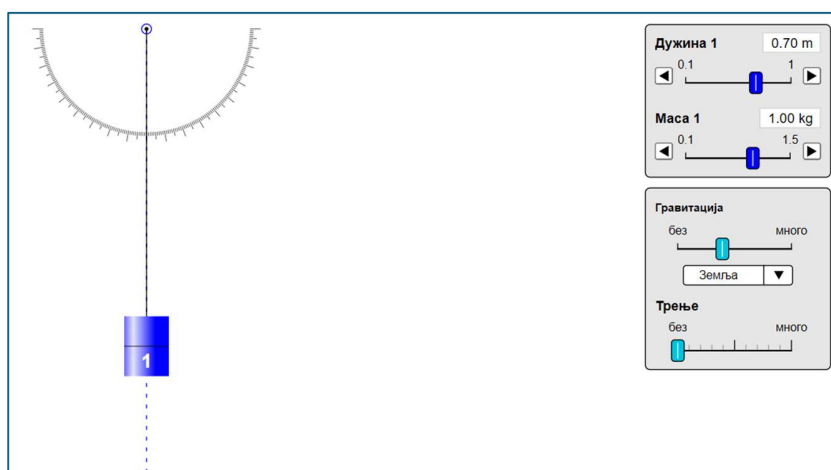
Иновативни демонстрациони експерименти о бестежинском стању

Угаони померај, угаона брзина и угаоно убрзање током осциловања могу се пратити графички преко катрице „Time Graph“ (Слика 4.16).



Слика 4.16. Изглед симулације „*My physics lab*“ са графиком зависности угаоног помераја, угаоне брзине и угаоног убрзања од времена [222].

Симулација „PhET“ осциловања математичког клатна, такође омогућава одређивање зависности периода осциловања од дужине и масе клатна, праћење промена брзине и енергије и проучавање осциловања клатна са променом гравитационог убрзања. Изглед симулације „PhET“ приказан је на Слици 4.17.



Слика 4.17. Изглед симулације „*PhET*“ са менијем за мењање дужине и масе клатна, гравитационог убрзања и трења [225].

Проблемима које студенти могу решавати док изучавају осциловање клатна често се сматрају рачунски задаци одређеног нивоа сложености, за које је примена математичких операција преовлађујућа. Решавање проблема укључује:

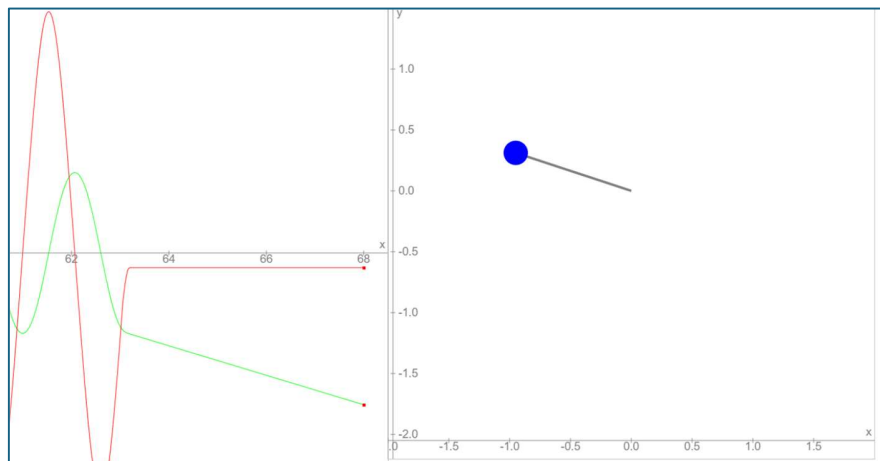
- Идентификацију физичких величина и вештину њиховог означавања;
- Памћење и репродуковање (писање) формула;
- Замену познатих величина;
- Решавање једначине или система једначина.

Велики број задатака присутних у збиркама, од којих многи захтевају понављање истог обрасца, указује на погрешно „педагошко веровање“ да ће ученик, кроз многа понављања коришћења истог обрасца, усвојити као трајно одређено знање или ће показати вештину комбиновања са другим обрасцима које такође треба да има у својој меморији. Са друге стране, готово сваки физички феномен може се искористити за креирање таквих задатака који од ученика захтевају критичко размишљање.

Претходно описане симулације омогућавају истраживачки приступ у проучавању осциловања клатна, што повећава аутономију ученика у учењу, њихову активност и задовољство радом. У симулацијама „My physics lab“ и „PhET“ кретања клатна, између осталог, могуће је поставити $g=0$. Ова опција показала се као проблематична ситуација која заслужује пажњу из два разлога:

- Проучавајући понашање математичког клатна у бестежинском стању, ученици повезују различите садржаје у нове конструкте;
- Проучавање понашања клатна у бестежинском стању подстиче ученике на експериментисање.

„Искључивање гравитације“ у симулацији „My physics lab“ показује да клатно наставља да се креће равномерно кружним кретањем (осим ако се гравитација „искључи“ у тренутку када се клатно налази у амплитудном положају). Преко картице „Time Graph“ може се посматрати како угаона брзина (црвени график) остаје константна током времена, што је приказано на слици 4.18.



Слика 4.18. Изглед симулације „My physics lab“ са графицима зависности угаоног помераја (зелени график), угаоне брзине (црвени график) од времена, након искључивања гравитације; десни део слике показује тренутни положај клатна током његовог кружног кретања [222].

У поређењу са симулацијом „My physics lab“ осцилација клатна, симулација „PhET“ омогућава прецизније „искључивање“ гравитације у тачно одређеним положајима клатна од којих су посебно значајни амплитудни и равнотежни положаји. Из тог разлога предност је дата „PhET“ симулацији за постављање проблематичних ситуација у осиловању математичког клатна и његовом преласку у бестежинско стање.

Питања која су постављена ученицима су следећа:

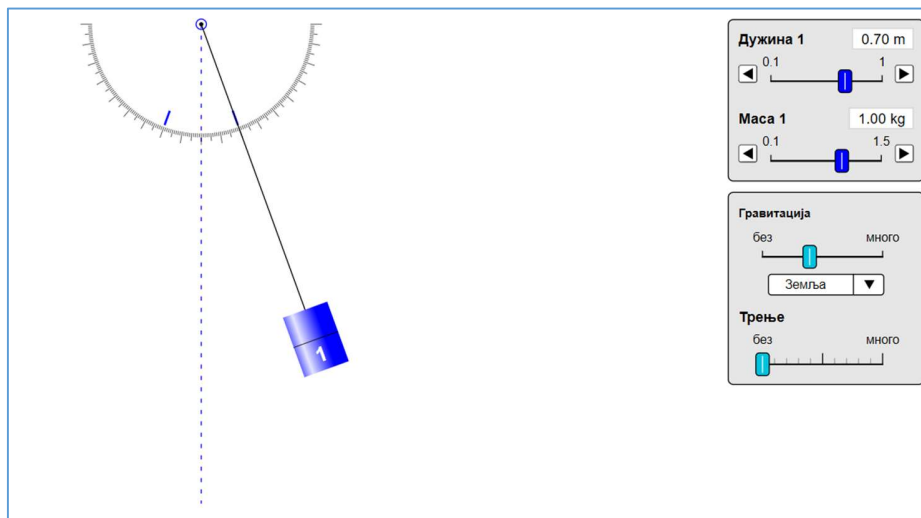
- Које промене ће се догодити у осиловању клатна уколико се промени гравитационо убрзање?
- Које промене ће се догодити у осиловању клатна ако се гравитационо убрзање нагло смањи?
- Које промене ће се догодити у осиловању клатна ако гравитационо убрзање нагло постане једнако нули?
- Како ће се кретати клатно ако гравитационо убрзање постане једнако нули у тренутку када клатно пролази кроз равнотежни положај?
- Како ће се кретати клатно ако гравитационо убрзање постане једнако нули у тренутку када се клатно налази између равнотежног и амплитудног положаја?
- Како ће се клатно кретати ако гравитационо убрзање постане једнако нули у тренутку када се клатно нађе у амплитудном положају?

Проблемске ситуације које су осмишљене на основу могућности симулације подразумевају опцију одсуства трења.

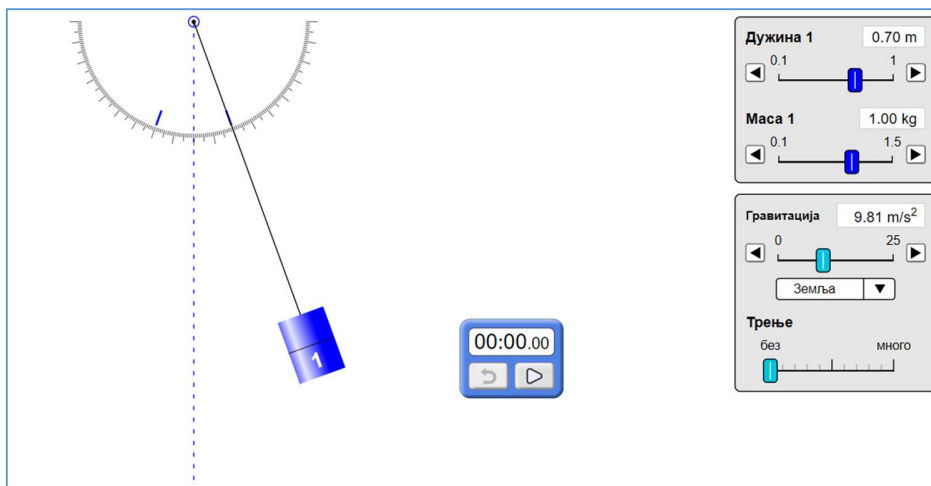
Шта се може посматрати и анализирати користећи PhET симулацију бестежинског стања? Конкретно, ако се клатно пусти да осцилује у условима сличним онима на Земљи, а затим користећи опције заустављања симулације и изједначавања гравитационог убрзања са нулом, симулира се ситуација преласка клатна у бестежинско стање односно ситуација преласка система у коме клатно осцилује у слободан пад. Секвенца слика 4.19 и 4.20. приказује снимке екрана у одређеним тренуцима осциловања клатна. Ако клатно пређе у бестежинско стање онда када је у положају блиском амплитудном, његова угаона брзина постаје стална. Хронометар се користи за мерење времена потребног да клатно у новонасталим условима опише угао од 360° (Слика 4.19. а-ђ). Насупрот томе, ако се клатно нађе у равнотежном положају у тренутку када прелази у бестежинско стање, хронометар се такође може искористити за одређивање времена потребног да клатно опише 360° . Упоредивањем измерених временских интервала, доказује се да ће клатно описати 360° за мање време ако у бестежинско стање пређе у тренутку када пролази кроз равнотежни положај. Поред мерења времена потребног клатну да опише 360° линијска брзина (означена зеленом стрелицом на тегу) показује у ком случају је она имала већи интензитет. Овакав приступ доводи до питања – Шта би се догодило када би клатно било тачно у амплитудном положају у тренутку преласка у бестежинско стање?²⁷ Ученици би требало да разумеју да ако клатно пређе у бестежинско стање у тренутку када се нађе у амплитудном положају оно у том положају и остаје, односно не наставља да се креће. Прелазак клатна у бестежинско стање у тренутку у ком се налази у положају блиском амплитудном и даље кретање илустровани су на снимцима екрана на слици 4.19.

²⁷ Реализације овакве ситуације могућа је након бројних покушаја или у потенцијалној опцији да се симулација унапреди тако да има већу осетљивост за паузирање од оне која је тренутно доступна.

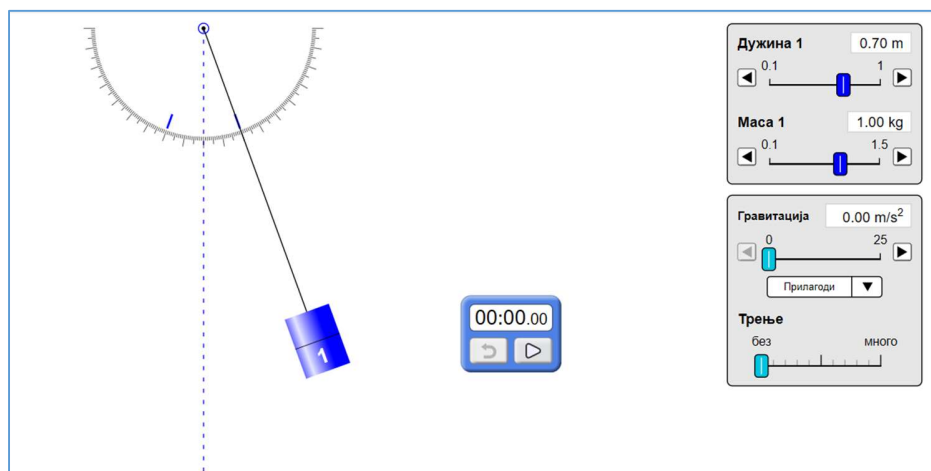
Иновативни демонстрациони експерименти о бестежинском стању



Слика 4.19.а. Клатно у положају блиском амплитудном положају за $g=9,81\text{m/s}^2$ [225].

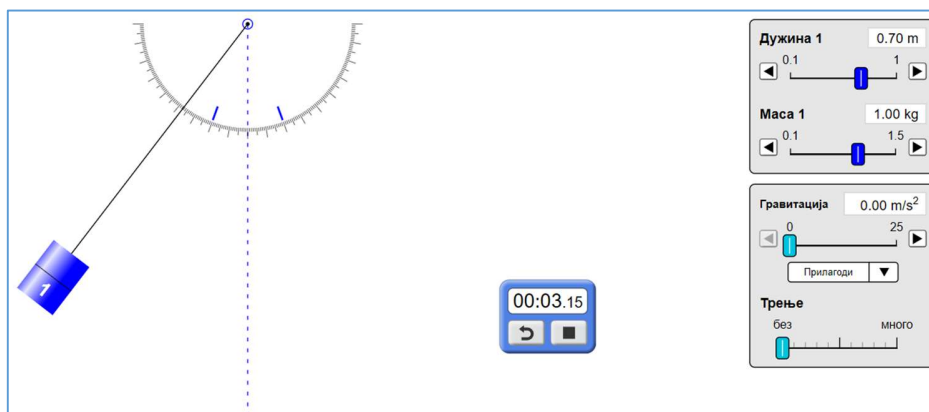


Слика 4.19.б. Активирање паузе симулације и постављање хронометра [225].

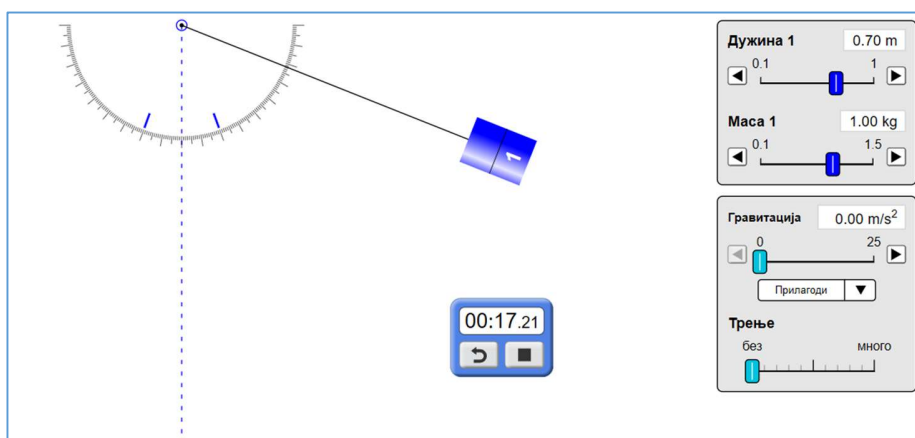


Слика 4.19.в. Током паузирања симулације, постављен је услов $g=0$ [225].

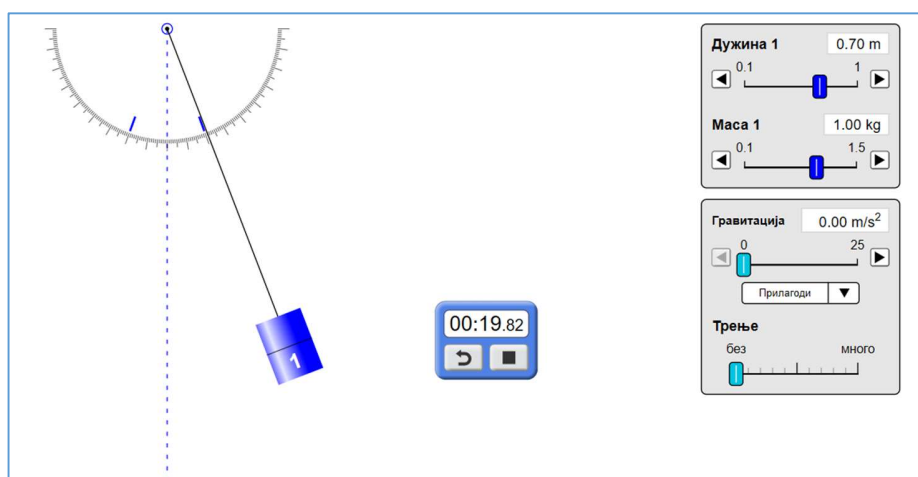
Иновативни демонстрациони експерименти о бестежинском стању



Слика 4.19.г. У бестежинском стању, клатно пролази кроз други амплитудни положај и наставља да се креће равномерно кружним кретањем [225].



Слика 4.19.д. Клатно у бестежинском стању у одређеном положају неколико тренутака касније у односу на тренутак који приказује 4.19.г. [225].



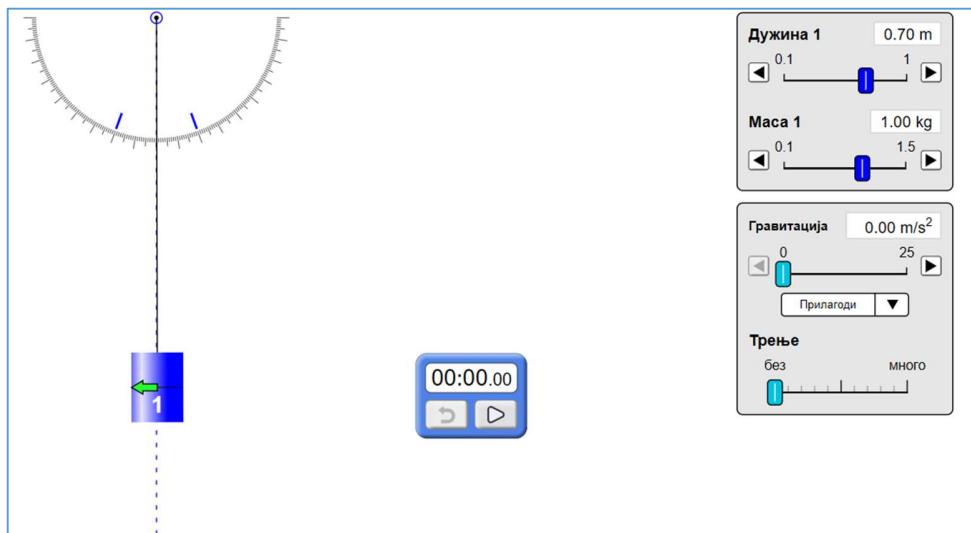
Слика 4.19.ђ. Клатно, након описаних 360° [225].

Иновативни демонстрациони експерименти о бестежинском стању

Прелазак клатна у бестежинско стање у тренутку у ком се налази у положају блиском равнотежном и даље кретање илустровани су на снимцима екрана на слици 4.20.

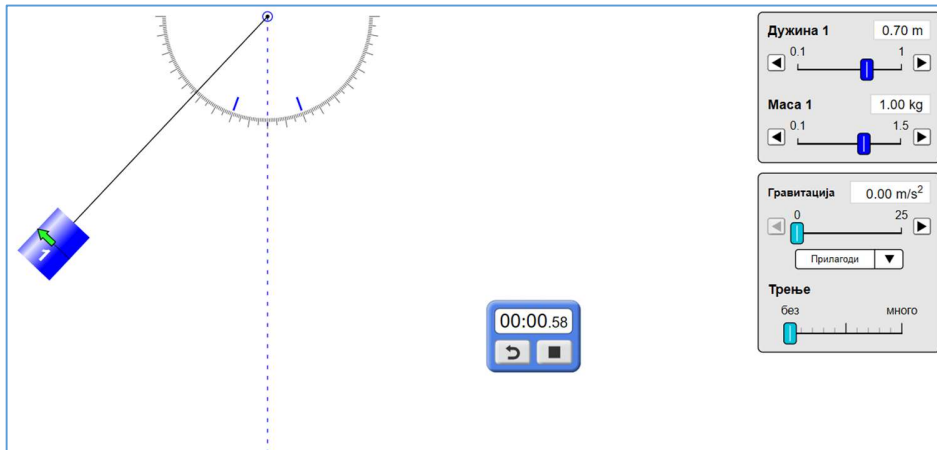


Слика 4.20.а. Клатно у равнотежном положају током осциловања на Земљи [225].

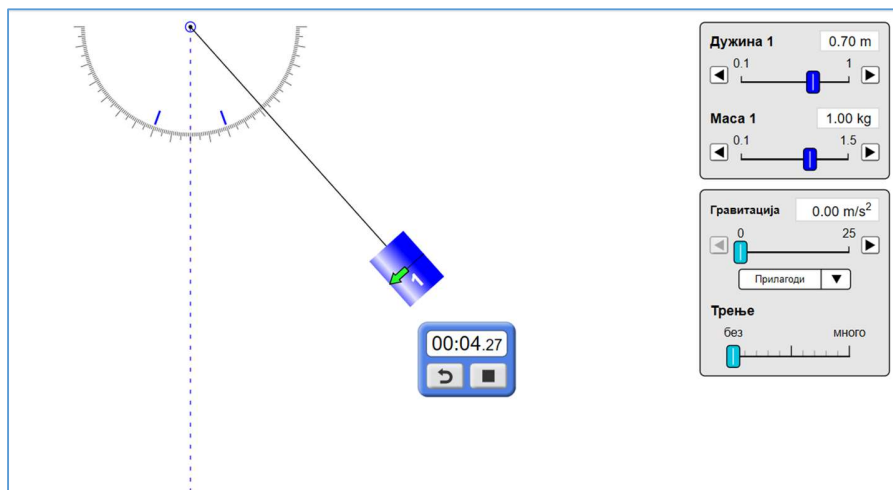


Слика 4.20.б. Паузирање симулације; постављање хронометра уз постављање услова $g=0$ [225].

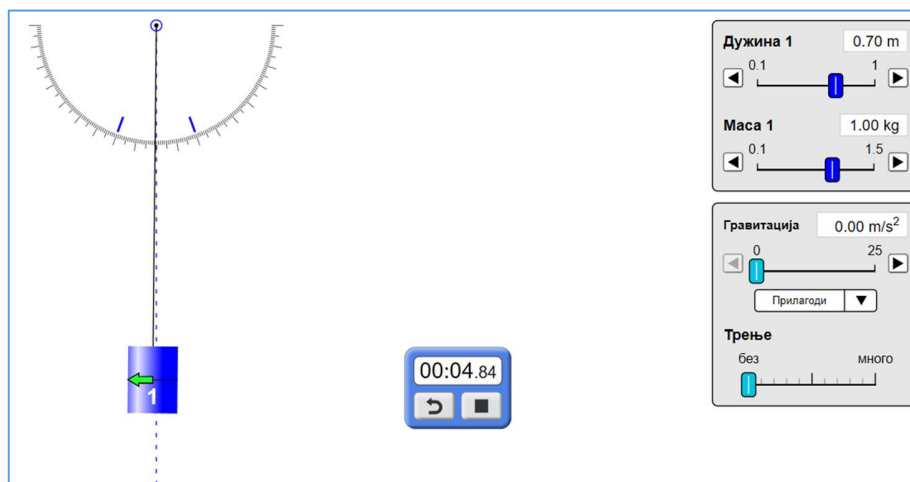
Иновативни демонстрациони експерименти о бестежинском стању



Слика 4.20.в. Клатно пролази кроз амплитудни положај и наставља да се креће равномерно кружним кретањем [225].



Слика 4.20.г. Клатно у бестежинском стању у одређеном положају неколико тренутака касније у односу на тренутак приказан на 9.в. [225].



Слика 4.20.д. Клатно, након описаних 360° [225].

У низу снимака екрана приказаних на слици 4.19, уочено је да је клатно описало 2π рад за скоро 20 s, док се снимака екрана на слици 4.20. уочава да је клатно описало 2π рад за нешто мање од 5 s. Време потребно да клатно опише пун круг зависи од положаја у коме се оно налазило у тренутку када је прелазило у бестежинско стање.

Да би се клатно зауставило у амплитудном положају током осциловања, може се користити и „дугме“ десно од оног за репродукцију/паузу. Уочило би се да клатно, након што пређе у бестежинско стање, не мења свој положај током времена ако је бестежинско стање наступило у тренутку када је клатно било тачно у амплитудном положају. Разлог томе лежи у чињеници да је брзина клатна у амплитудном положају једнака нули, што значи да су и количина кретања и кинетичка енергија клатна једнаке нули.

4.5. Еластична опруга у бестежинском стању – дигитални експеримент

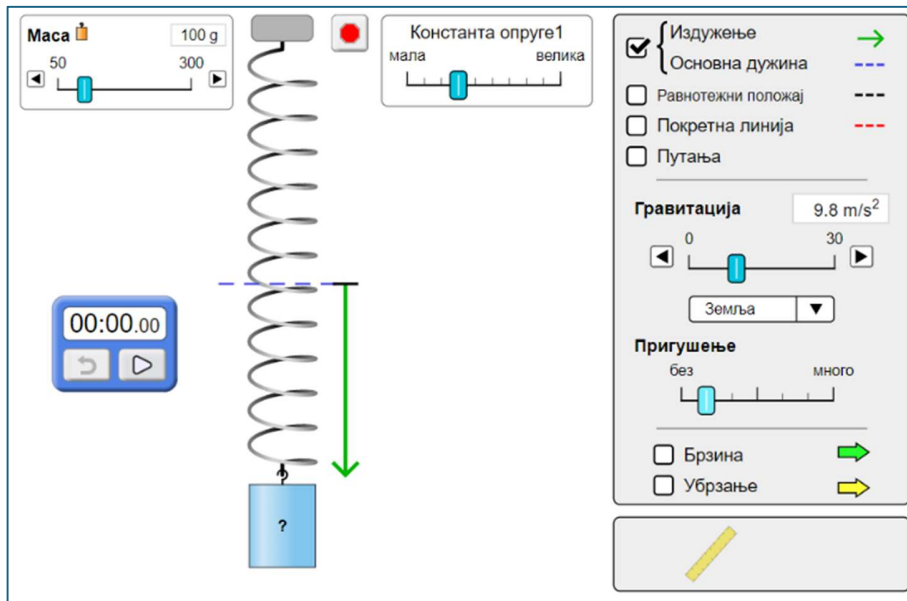
Питање пред којим се налазе наставници уколико пажљиво приступају припреми огледа са динамометром, је питање поузданости и очигледности. Почетно стање система у овом огледу најчешће је следеће: тег је окачен о опругу динамометра због чега је она деформисана; наставник држи динамометар у руци како би ученици увидели да се на динамометру читава одређена вредност тежине коју тело има у датим околностима.

Наставник, у циљу доказивања постојања бестежинског стања при паду динамометра, пусти динамометар да пада а ученици посматрају положај тега односно скалу динамометра. Пажљивим посматрањем пада динамометра (или путем видео записа насталим успореним модом снимања камером) уочава се да динамометар неће све време показивати нулу већ ће осциловати пригушено.

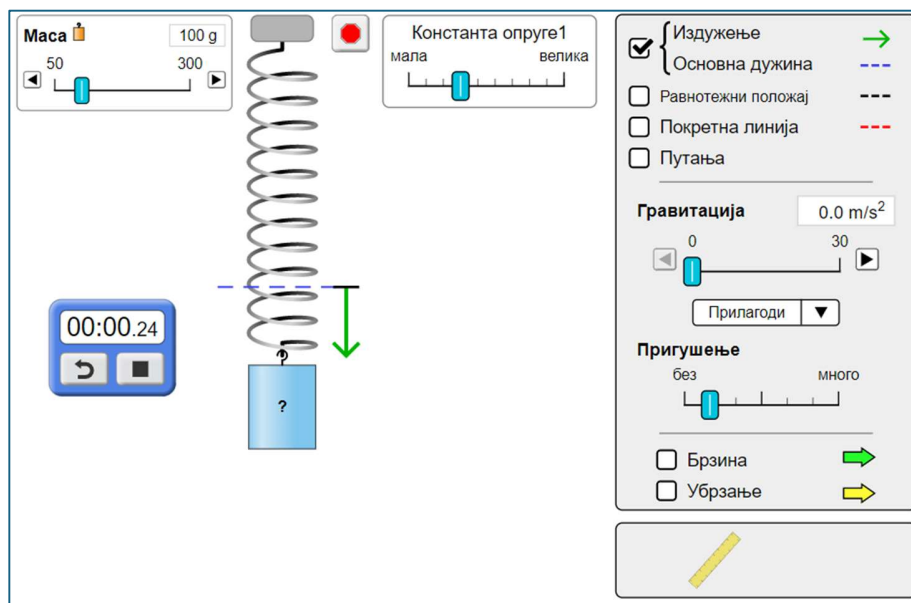
Поред реалних огледа, у савременој настави физике, када су учионице и кабинети опремљеним ИКТ опремом и на чијем се коришћењу инсистира, огледе је могуће реализовати и у одговарајућим виртуелним окружењима, под условом да су креирани на начин којим се у потпуности опонаша природно окружење.

PhET платформа у интерактивној симулацији *Маса и опруге* [226] омогућава подешавања бестежинског стања – избором нулте вредности гравитационог убрзања. Нулта вредност гравитационог убрзања одговара бестежинском стању, што је еквивалентно ситуацији у слободном паду. Тег постављен о еластичну опругу, одговарајуће константе крутости, која мирује у гравитационом пољу Земље, делује на њу тежином и деформише је (Слика 4.21). Након „искључења“ гравитације динамометар неће показати нулу већ ће опруга и тег почети да осцилују (Слика 4.22). Ситуација која је могла да се уочи код реалног огледа је уграђена у PhET дигиталну симулацију. Још једна предност PhET симулације је и могућност узимања у обзир и осталих реалних околности, као што је пригушење, на пример.

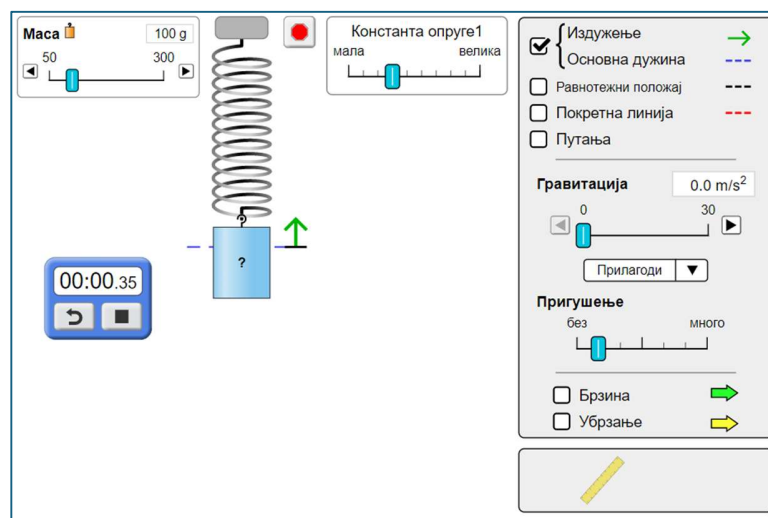
Иновативни демонстрациони експерименти о бестежинском стању



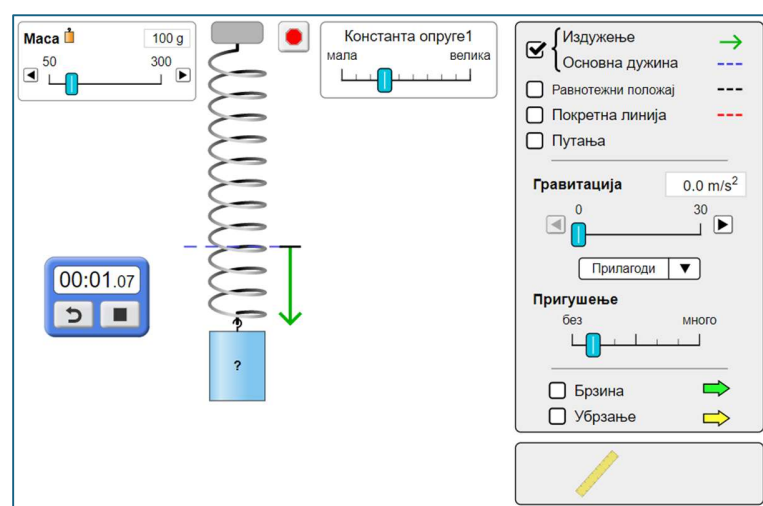
Слика 4.21. Изглед опруге која мирује и о коју је окачен тег за вредност гравитационог убрзања $g=9,8 \text{ m/s}^2$ [226].



Слика 4.22.а.



Слика 4.22.б.



Слика 4.22.в.

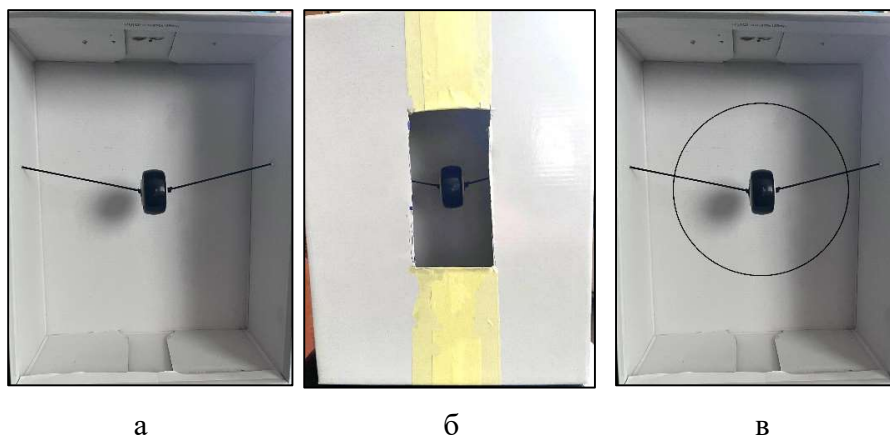
Слика 4.22. PhET симулација понашања опруге у бестежинском стању изазваном ситуацијом у којој је $g=0 \text{ m/s}^2$;
а-в) изгледи опруге и положаји тега у неколико тренутака након што је „искључена“ гравитација [226].

У случају боравка у свемирском броду, пажљивим постављањем тега на опругу динамометра, не производећи силу која би деловала на опругу, она би остала недеформисана иако је „тег“ окачен о њу. Коришћење ове ситуације заправо највише одговара упутству да у бестежинском стању динамометар показује нулу, а не преласком

из стања мировања у слободан пад, како се погрешно сугерише што програмом наставе и учења, што садржајима већине уџбеника физике, о чему је било дискусије у 3.2. поглављу.

4.6. Осцилаторно кретање у бестежинском стању

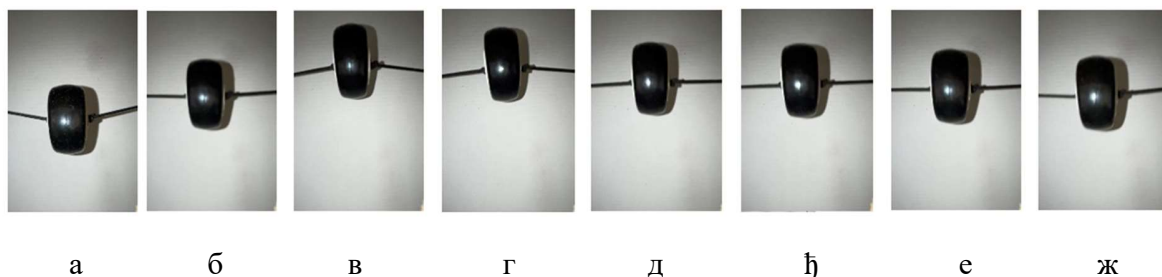
Демонстрациони експерименти којима се може доказати постојење силе еластичности у бестежинском стању, која условљава осцилаторно кретање, могу се једноставно реализовати и помоћу приручног материјала. У наставку су описана два демонстрациона експеримента којима се може заменити примена динамометра у демонстрационом огледу бестежинског стања јер демонстрирају понашање еластичне опруге. У једном од поменутих експеримената употребљени су еластична трака, точкић за намештај и кутија (од обуће). У кутији се налази еластична трака постављена хоризонтално (попречно). На траку је, по њеној средини, причвршћен точкић у улози тега. У стању мировања точкић деформише траку, како је приказано на слици 4.23.а.



Слика 4.23. а) Еластична деформација траке када је кутија у стању мировања; б) Поклопац са отвором кроз који камера мобилног телефона снима појаву унутар кутије током слободног пада; в) Фокус камере мобилног телефона означен кружницом.

Ако систем почне слободно да пада, односно пређе у бестежинско стање, примећује се да се точкић креће нагоре, а трака пролази кроз положај и облик који би имала у стању мировања без оптерећења (Слика 4.23.б-в). Међутим, трака и точкић не

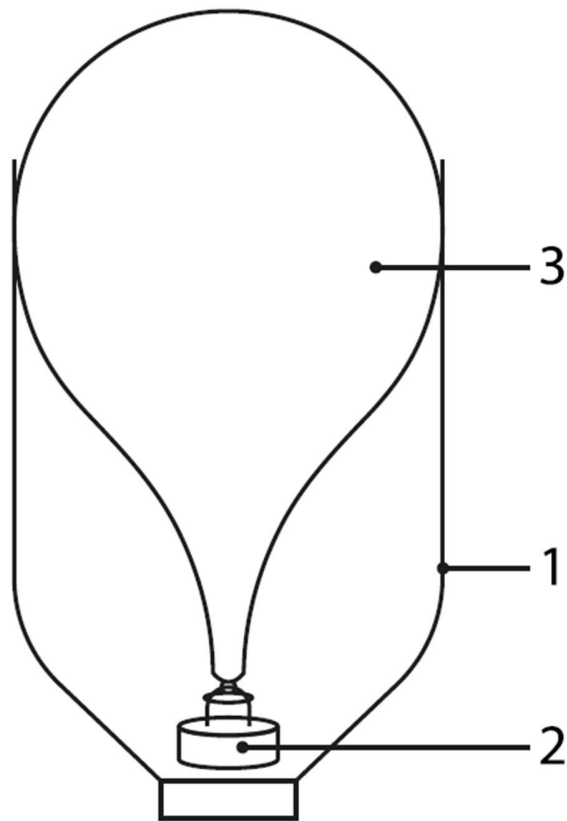
остају у том положају, већ се трака деформише нагоре, док не достигне одређени амплитудни положај (слика 4.24.в). Након што достигне тај положај, почиње да се спушта према положају који одговара недеформисаном стању (слика 4.24.г) и даље према доњем амплитудном положају. Посматрајући кадрове из снимљеног видеа, у секвенци слика 4.24.а-ж, уочава се осцилаторно кретање траке.



Слика 4.24. Положаји точкића и облици еластичне траке када је систем (кутија) у бестежинском стању током слободног пада на дужини пута од око 2 m.

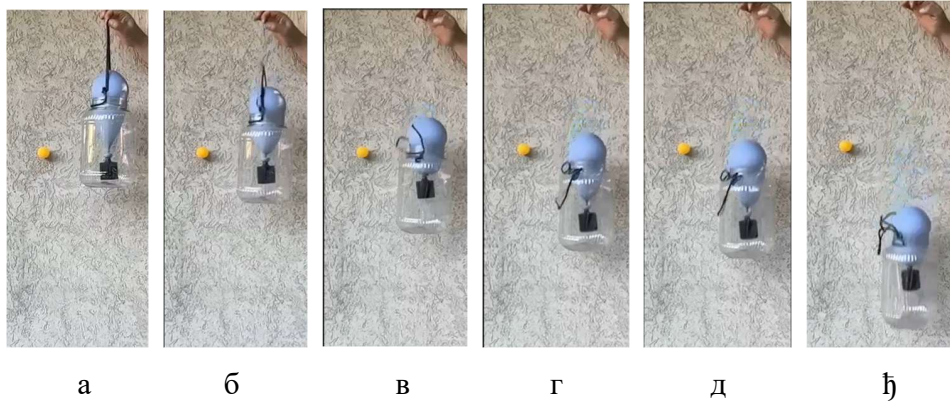
Дакле, ако постоји еластична деформација тела у стању мировања, прелазак система у бестежинско стање доводи до осцилаторног кретања. Потенцијална енергија еластичне деформације у тренутку преласка система у бестежинско стање, почиње да прелази у кинетичку енергију, која свој максимум достиже у тренутку када тело постане недеформисано. Након тог тренутка, кинетичка енергија се претвара у потенцијалну енергију (скоро) једнаке еластичне деформације која се јавља са супротне (горње) стране положаја који одговара недеформисаном облику.

Нешто сложенији експеримент којим се демонстрира осцилаторно кретање у бестежинском стању реализује се помоћу напумпаног дечијег балона, на чије је врат причвршћен тег чија је шема дата на слици 4.25.



Слика 4.25. Шема апаратуре - тег (2) окачен о врат напумпаног децијег балона (3) у посуди (1)

Балон се поставља кроз отвор провидне пластичне посуде, ефективно је затварајући (Слика 4.26.а). Током слободног пада посуде са балоном и тегом, приметно је осцилаторно кретање (Слика 4.26.а-ђ). У овом случају, важно је узети у обзир еластичност врата балона, еластичност материјала од ког је балон направљен и еластичност ваздуха унутар балона. Из видео записа насталог током слободног пада посуде уочава се да тег почиње да се креће нагоре али не остаје у положају који одговара недеформисаном балону, већ наставља и даље у истом смеру, компримујући ваздух унутар балона. Након достизања амплитудног положаја, тег почиње да се спушта, пролазећи поново кроз положај који одговара недеформисаном балону и настављајући своје кретање надолу.



Слика 4.26. Осцилаторно кретање тега окаченог о врат балона, у бестежинском стању.

Глава 5.

Методологија истраживања

5.1. Предмет истраживања

Предмет истраживања су два различита наставна приступа у обради теме бестежинског стања у настави физике. Први приступ је традиционалан, и произлази из програма наставе и учења физике у основним и средњим школама. Други приступ је конструктивистички и реализује се на часовима креираним по методу *Предвиди-Посматрај-Објасни*, са приказом неких иновативних демонстрационих огледа из 4. главе овог рада.

Истраживање је усмерено на утицај поменутих приступа на развој креативног мишљења код ученика. Акцент је стављен на анализу како иновативни демонстрациони експерименти у оквиру наставног приступа *Предвиди-Посматрај-Објасни* доприносе томе колико ће креативне предлоге сопствених експеримената ученици предложити.

5.2. Циљ и задаци истраживања

Циљ истраживања био је утврђивање утицаја различитих наставних приступа, укључујући традиционални приступ и конструктивистички приступ кроз методу „Предвиди-Посматрај-Објасни“, на развој креативности код ученика у контексту бестежинског стања као концепта у настави физике. Другим речима, истраживање је требало да покаже који од ова два приступа ефикасније подстиче ученике да осмисле иновативне или оригиналне експерименте и примене стечена знања на креативан начин. Задаци истраживања подразумевали су следеће:

- Утврдити да ли постоји разлика у оценама из физике између ученика експерименталне и контролне групе у сваком разреду.
- Утврдити да ли постоји разлика у резултатима Лосоновог теста између ученика експерименталне и контролне групе у оба разреда.
- Утврдити да ли су експерименталне и контролне групе у сваком разреду уједначене у погледу релевантних карактеристика.
- Утврдити да ли постоје разлике у креативности између ученика експерименталне и контролне групе у оба разреда.

5.3. Хипотезе истраживања

Очекивање аутора истраживања било је да ће ученици који прате конструктивистичку наставу показати већи степен креативности и боље разумевање концепта бестежинског стања у односу на ученике који прате традиционалнији наставни приступ.

Основна хипотеза истраживања: Конструктивистички приступ теми бестежинског стања подстиче креативност ученика.

Нулта хипотеза: Не постоји значајна разлика у креативности између ученика који су учествовали у конструктивистичком наставном приступу и оних који су учествовали у традиционалном наставном приступу.

Наведено очекивање аутора овог рада је у складу са резултатима истраживања која показују да дубоко разумевање концепата и постојеће когнитивне структуре представљају важан предуслов за примену креативних процеса. Међутим, иако конструктивистички приступ има потенцијал да стимулише креативно размишљање, постоје контекстуални услови који могу ограничити његову ефикасност. У контекстуалне услове, пре свега спадају предзнања ученика и ниво разумевања основних концепата физике, мотивација, културолошки и социјални фактори, начин рада наставника, когнитивни ниво развоја ученика. Висок ниво мотивације неопходан је да би ученици самостално истраживали и предлагали нова решења [3, 227]. У срединама у којима се већа вредност придаје конформизму и традиционалним методама учења, ученици могу осетити притисак да се придржавају утврђених образаца и избегавају креативно експериментисање [228]. Наставници који немају довољно искуства у

примени конструктивистичких метода или који имају традиционалне ставове о настави могу ограничити ученике у развоју креативности [229]. Иако се очекује да конструктивистички приступ подстиче креативност и критичко мишљење, његова ефикасност зависи од когнитивног и развојног нивоа ученика. Млађи ученици, који су у ранијим фазама когнитивног развоја, могу имати више оригиналних идеја, али и потешкоћа у примени тих идеја у пракси [230]. Ученици у узрасту од 11-12 година налазе се на прелазу између фазе конкретних и формалних операција, што утиче на њихову способност апстрактног размишљања. Ученици од 15-16 година дубље су укорењени у фази формалних операција, што им омогућава већу когнитивну флексибилност и способност апстрактног размишљања [230, 231]. Из тог разлога занимљиво је било утврдити разлику коју ће у испољавању креативности показати ученици различитог узраста.

5.4. Методе анализе

Статистичка анализа података у овом истраживању спроведена је коришћењем статистичког програма џамови²⁸ [232]. Примењен је Шапиро-Вилк тест за проверу нормалности расподеле података и Крускал-Валис тест за упоређивање група. Шапиро-Вилк тест је коришћен за утврђивање да ли узорак података потиче из нормалне расподеле, што је важно за избор одговарајућег статистичког метода за даљу анализу [10]. Овај тест је погодан за анализу мањих узорака и даје поуздане резултате чак и у ситуацијама када је узорак релативно мали.

Резултати Шапиро-Вилк теста показали су да подаци значајно одступају од нормалне расподеле, што је довело до примене непараметарских метода за даљу анализу података, односно Крускал-Валис теста. Крускал-Валис тест је коришћен за упоређивање различитих група и утврђивање постојања статистички значајних разлика међу њима [233]. Формула за Шапиро – Вилк тест је

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

где је $x_{(i)}$ - i -та посматрана вредност у узорку у растућем редоследу, \bar{x} - средња вредност узорка, a_i - коефицијенти који зависе од величине узорка и варијансе узорка.

²⁸ (The jamovi project, 2022)

Резултати *Шapiro – Вилк* теста показали су да расподеле готово свих релевантних параметара значајно одступају од нормалне расподеле ($p < 0.05$), што је довело до коришћења непараметарског теста за даљу анализу података – *Крускал-Валис* теста.

Крускал-Валис тест се користи за утврђивање постојања статистички значајних разлика између три или више независних група. Овај тест је еквивалент једносмерне анализе варијансе (ANOVA) [11]. Формула за Крускал-Валис тест је

$$H = \frac{12}{N(N + 1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N - 1)$$

где је N - укупан број посматрања у свим групама, k - број група, R_i - збир ранкова у i -тој групи, n_i - број посматрања у i -тој групи.

Крускал-Валис тест је коришћен за упоређивање средњих вредности оригиналности, детаљности, применљивости и иновативности између контролне и експерименталне групе.

У оквиру истраживања у образовању, у којима је често реч о комплексним когнитивним аспектима, који могу бити асиметрични, непараметарски тестови попут **Крускал-Валис теста** су се показали као ефикасни. Истраживања попут оног које је спровео Филд у свом раду о коришћењу статистичких метода у друштвеним наукама, издвајају примену непараметарских тестова у анализи образовних података, где је нормална дистрибуција ретко задовољена [234]. Такође, у свом раду Палан указује на важност непараметарских тестова у анализи података из образовања, јер они омогућавају валидну анализу чак и када узорци не задовољавају претпоставке о нормалној расподели [235]. Непараметарски тестови су коришћени и у истраживањима когнитивног развоја и креативности у образовном контексту, као што је приказано у студији Нахара, која препоручује Крускал-Валис тест као поуздану методу за рангиране податке у друштвеним наукама [236].

5.5. Технике и инструменти истраживања

У истраживању су примењене технике тестирања ученика инструментима:

- Претестом са 7 питања

Методологија истраживања

- Посттестом са 7 питања (посттест се разликује од претеста према питањима али се оба односе на појаве у бестежинском стању)
- Лосоновим тестом

Претест и посттест су дизајнирани на основу очекиваног предзнања ученика о физичким концептима, посебно феноменима у бестежинском стању, са којима ученици раније нису имали прилику да се упознају. Иако нису засновани на претходним истраживањима, ови тестови су прилагођени циљевима истраживања и дизајнирани тако да процене напредак у разумевању концепта бестежинског стања. Предности претеста и посттеста огледају се у једноставности њихове структуре и могућности примене [237] (Creswell & Creswell, 2017). Један од недостатака претеста и посттеста јесте то што они могу ограничити дубље мерење когнитивних промена, јер се фокусирају на спољашње индикаторе знања, а не на комплексније аспекте учења и критичког мишљења [238]. Како резултати посттеста могу бити под утицајем ефекта учења при одговарању на питања из претеста, питања у посттесту су другачија и за ученике представљају новину [239]. Због тога резултати ових тестова нису обухваћени анализом резултата, али је њихов садржај представљен у Прилогу 9.

Када је реч о Лосоновом тесту научног резоновања, познато је да он представља широко признат и валидаран инструмент за процену когнитивних способности ученика у домену природних наука [240].

У раду Хуа и Едеја истакнуто је да иако је неколико истраживања испитивало научну креативност код научника, релативно је мало студија које се фокусирају на научну креативност ученика средњих школа (Friedlander, 1983 преко [8]). Општи тестови креативности нису довољно прилагођени за мерење научне креативности, јер постоји општи консензус да су специфично знање и вештине у одређеном домену кључне компоненте креативног размишљања. Према неким ауторима (Alexander 1992; Amabile, 1987 преко [8]) неопходно је да креативно размишљање буде засновано на знању и вештинама специфичним за појединачне дисциплине. Ову тезу заступају и други аутори (Findlay&Lumsden , 1988; Mumford и сар, 1991, преко [8]), који су показали да су добро организована база знања и способност брзог „активирања“ релевантних информација од суштинског значаја за решавање проблема и креативно размишљање. Слично, и други истраживачи (Albert, 1983; Gardner, 1983; Feldman, 1986, преко [8]) закључили су да је

креативност често специфична за одређени домен - коефицијент корелације између креативности у различитим областима износи само 0.37, што показује да је научна креативност ученика специфична за област и да се не може мерити општим тестовима креативности који нису дизајнирани за ту специфичну дисциплину.

Фридлендер (Friedlander, 1983, преко [8]) је осмислио тест у ком су ученици одговарали на подстицаје из биљног или животињског света кроз низ питања која су захтевала дивергентно размишљање, прикупљање података, решавање проблема, формулисање хипотеза и планирање експеримената. Примена ових тестова је донекле ограничена због зависности од предзнања због чега је тешко користити их за процену креативности код ученика нижих разреда средњих школа.

Ху и Едеј су развили *Scientific Creativity Structure Model (SSCM)* - тродимензионални модел који укључује три димензије: Производ (Технички производ, Научно знање, Научни феномени, Научни проблем) Особине (Флуентност, Флексибилност, Оригиналност) и Процес (Размишљање, Имагинација). Тест развијен на основу овог модела показао је да са узрастом расте креативност ученика, али се тај закључак односи само на обухваћени узорак од 160 ученика узраста од 12 до 15 година у Енглеској [8]. Истраживање у оквиру ове докторске дисертације обухватило је ученике првог разреда средње школе и седмог разреда основне школе. С обзиром на разлике у узрасту и нивоу предзнања, било је неопходно прилагодити методологију и инструменте за испитивање креативности како би одговарали узрасту и когнитивним способностима ученика као и специфичностима образовног система.

Сетовима задатака (Прилози 9, 4, 5 и 10) реализованих на часовима обухваћени су и они у оквиру којих ученици износе предлоге дизајна својих експеримента о бестежинском стању. Провера креативности код ученика кроз анализу њихових решења када осмишљавају експерименте обухватила процену више аспеката креативног мишљења - оригиналност, иновативност, применљивост и детаљност.

Оригиналност се односи на јединственост и новину идеја које ученици износе и подразумева способност да се размишља изван уобичајених менталних и образовних оквира [241]. Она представља и когнитивну флексибилност која омогућава ученицима да испитају проблем из више перспектива и дођу до решења која нису очигледна.

Оригиналноста је важна јер показује да ученици не само да разумеју концепте, већ их користе како би осмислили нове идеје, решења или приступе проблемима [229]. Док оригиналноста може бити видљива у било којој новој идеји, иновативност подразумева да те идеје имају практичну примену и да доносе одређену нову вредност или корист [85]. Иновативност укључује способност да се постојеће идеје и знања модификују и прилагоде тако да допринесу побољшању постојећих решења. Иновације су често повезане са стварањем нових начина решавања проблема или са побољшањем постојећих решења тако да постану ефикаснија и функционалнија [242].

Применљивост се процењује као способност ученика да осмисле решења која су изводљива у стварним условима. Овај аспект креативности рефлектује колико је идеја функционална у датом контексту и да ли се може применити на начин који доноси корист. Идеје које су само оригиналне, али не и применљиве, могу остати само теоријске или концептуалне; примењиве идеје имају конкретну вредност јер их је могуће имплементирати у наставним сценаријима. Применљивост такође подразумева способност да се идеја прилагоди различитим условима и ситуацијама [241].

Детаљност представља ниво разрађености и прецизности у опису ученичких идеја и показује колико ученици добро разумеју концепте који стоје иза њихових предлога. Она обухвата не само способност да се идеја јасно представи, већ и да се разраде сви неопходни кораци, укључујући потребне елементе и ресурсе за њену реализацију [85]. Висок ниво детаљности указује на дубоко разумевање проблема и на то да ученик не само да има креативну идеју, већ је у стању да је свеобухватно и прецизно представи, укључујући сваки релевантан аспект који би био потребан за извођење или спровођење експеримента.

Аутор је оцењивао сваки од четири индикатора креативности следећим оценама:

- 0-ако није исказан;
- 1-ако је делимично исказан;
- 2-ако је исказан

Питања која је аутор формулисао у циљу процене различитих аспеката ученичког решења и искази које је бирао како би одредио да ли је одређени аспект исказан или делимично исказан, односно није исказан, дати су у Прилогу 12.

Питања су осмишљена тако да процене у којој мери ученички одговори укључују нове и неочекиване идеје. За разлику од оригиналности, која мери јединственост идеја, иновативност у овом истраживању мери способност ученика да своје идеје примене на нов начин или модификују постојеће концепте. Питања која мере иновативност постављају се како би се проценила употребљивост и практичност идеја, што је у складу са Торенсовим тестовима, где је фокус на примењивости и флексибилности идеја.

Питања која испитују применљивост идеја постављена су тако да се процени у којој мери су ученичке идеје изводљиве у стварним условима. Овај аспект креативности такође је укоренен у концепту флексибилности. Питања која процењују детаљност ученичких решења имају за циљ да утврде дубину разраде идеја, укључујући прецизност и јасност корака неопходних за њихову реализацију. Овај аспект је сличан концепту детаљности у Торенсовим тестовима, који мери ниво разрађености и комплексности у опису креативних идеја. Детаљна објашњења показују ученичку способност да до краја развију и представе своје идеје на јасан и свеобухватан начин.

Осим Торенсових тестова, коришћена питања су у складу и са другим признатим методама за процену креативности, као што су методе развијене од стране Амабил и Стернберг. Ове методе наглашавају важност контекста и практичне примене идеја, што је рефлектовано у питањима која процењују иновативност и применљивост решења. На пример, Стернбергова теорија инвестиција креативности сугерише да креативни људи „купују ниско и продају високо,“ односно преиспитују уобичајене идеје и развијају их на нов, оригиналан начин, што је директно повезано са питањима која процењују иновативност.

У инструменту који је коришћен за процену креативности у овом истраживању, објективност је обезбеђена кроз јасно дефинисане параметре за сваку од четири димензије креативности: оригиналност, иновативност, применљивост и детаљност. Ови параметри су дефинисани конкретним питањима и исказима који омогућавају да оцењивачи процењују ученичке одговоре према унапред постављеним критеријумима, што смањује ризик од субјективних интерпретација. Инструмент користи структурисан систем оцењивања који омогућава да се сваки аспект креативности вреднује кроз различите исказе. Ова структура помаже у смањењу субјективности јер оцењивачи имају конкретне параметре којима се руководе [229].

Методологија истраживања

Међутим, да би се потврдила објективност, важно је осигурати високу међуоцењивачку поузданост. *Kana* (κ) коефицијентом²⁹ се одређује у којој мери су два или више оцењивача сагласни а да та сагласност није последица случајности која потиче од несигурности оцењивача [243]. Због тога је спроведена Коенова κ анализа на подацима добијеним од два оцењивача за све четири димензије креативности у одговорима сваког ученика из изабраног узорка. Поред аутора истраживања одговоре ученика је оцењивао и професор физике који је наставу реализовао у одељењу контролне групе у седмом разреду и који је био упознат са методологијом истраживања.

Табела 9. ³⁰ Коенова κ анализа оцена два оцењивача

Критеријум	κ	Ниво слагања
оригиналност	0,95	Врло добра сагласност
деталност	1,00	Врло добра сагласност
применљивост	1,00	Врло добра сагласност
иновативност	0,93	Врло добра сагласност

На основу резултата представљених у Табели 9, може се закључити да инструмент обезбеђује високу међуоцењивачку поузданост у свим димензијама процене креативности [244].

²⁹ Cohen's κ

³⁰ Нивои сагласности између оцењивача према вредностима κ коефицијента су:

- 0,00 - Лоша сагласност
- 0,00 – 0,20: Врло ниска сагласност
- 0,21 – 0,40: Ниска сагласност
- 0,41 – 0,60: Умерена сагласност
- 0,61 – 0,80: Добра сагласност
- 0,81 – 1,00: Врло добра сагласност

5.6. Узорак истраживања

Истраживање је спроведено у одељењима Основне школе „Вук Стефановић Караџић“ у Крагујевцу и Техничке школе у Ћуприји, у школској 2022/23. години³¹. Узорак је обухватао два одељења седмог разреда основне школе и два одељења првог разреда средње школе, чиме је обезбеђена хомогеност у погледу узраста и образовног профила. Укупно је учествовало 95 ученика - 40 ученика из седмог разреда основне школе (21 у контролној и 19 у експерименталној групи) и 55 ученика из првог разреда средње школе (26 у контролној и 29 у експерименталној групи). Подела ученика на експерименталне и контролне групе извршена је у складу са већ постојећом организацијом одељења, без насумичног одређивања.

Истраживање је спроведено уз сагласност директора обе школе и поштовање етичких аспеката, и усклађено је са наставним плановима и програмима. У експерименталним групама примењен је наставни приступ као део истраживачке интервенције, док је наставни приступ у контролним групама остварен без одступања од редовног плана наставе. С обзиром на то да није било насумичног избора ученика или формирања нових група већ су оне одабране на основу њихове доступности, реч је о прикладном узорковању [245]. Ова врста узорковања, иако практична и често коришћена у истраживањима у школским окружењима [246], носи одређена ограничења у смислу генерализације резултата на ширу популацију. Пошто групе нису формиране насумично, резултати могу бити специфични за ученике конкретних школа и региона (Creswell, 2014). Међутим, узорак остаје релевантан за процену утицаја наставних метода на ученике одређеног узраста и образовног профила, што омогућава примену одговарајућих статистичких метода и извођење валидних закључака у оквиру истраживања [247].

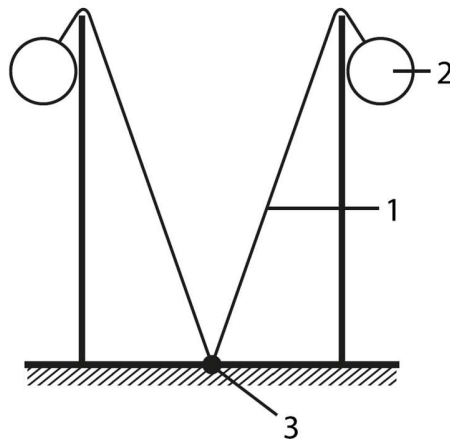
5.7. Организација и ток истраживања

У експерименталним групама је током четири часа (односно њихових секвенци) примењен наставни приступ Предвиди-посматрај-објасни са демонстрацијом

³¹ За ученике седмог разреда истраживање је спроведено и у школској 2023/24. години када су они прешли у осми рзаред.

експеримената о бестежинском стању (познатих и иновативних) након чега су ученици предлагали дизајн својих експеримената. У експерименталним групама реализовани су часови са следећим активностима:

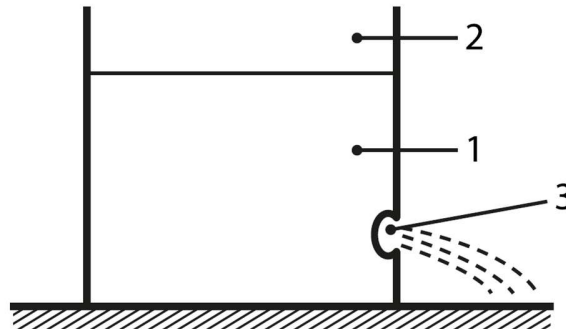
- На првом часу, који је био посвећен обради појма бестежинског стања, коришћен је радни лист дат у прилогу 13. Ученици су имали задатак да наведу које силе делују на тег и лоптицу у кутији док је она у стању мировања. Затим су ученици предвиђали шта ће се десити у случају преласка система у бестежинско стање а потом посматрали ефекат; неки ученици су користили мобилне телефоне како би снимили пад у успореном моду, омогућавајући детаљну анализу кретања тела. Ученици су потом објашњавали своја запажања и поредили их са почетним предвиђањима. Следећи задатак укључивао је посматрање ваге на коју је постављен тег. Ученици су анализирали померање казаљке на ваги под дејством тежине тег а потом предвиђали шта ће се десити када се вага са тегом пусти да слободно пада. Све активности, изузев предвиђања, праћене су дискусијом у којој су ученици давали своја објашњења и критички разматрали своја очекивања у односу на оно што су уочили. Трећи експеримент је укључивао две куглице постављене на ивицу посуде и везане за дно еластичним концем (Слика 5.7.1).



Слика 5.7.1. Посуда на чијем дну (3) су причвршћене еластичне врпце (1) са телима (2) на другим крајевима.

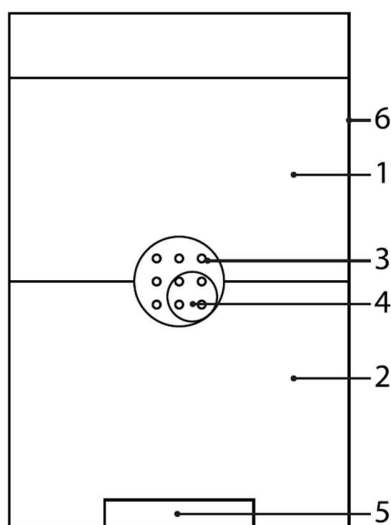
Док је посуда била у стању мировања, куглице су биле у равнотежи. Требало је да ученици објасне које силе делују на куглице и да предвиде промену која ће се догодити када посуда слободно пада, а потом да је анализирају. Овај експеримент

је за усвајање појма бестежинског стања био најзначајнији јер је најочигледнији по питању нестанка тежине, односно ситуације да „гравитација“ привремено нестаје. Четврти експеримент укључио је пад отворене боце са водом и отвором при дну (Слика 5.7.2), што је на одређени начин био увод у следећи час на коме су примењене активности које ближе описује радни лист Е1.



Слика 5.7.2. Отворена посуда са водом (1) и отвором при дну (3) изнад које је ваздух (2).

- На другом часу, часу обнављања појам бестежинског стања, ученици првог разреда средње школе снимали су експеримент камерама мобилних телефона, док је ученицима основне школе поред реалне апаратуре, представљен видео снимак експеримента. Поред секвенци које су подразумевале предвиђање, посматрање и објашњавање (радни лист Е1- Прилог 4) овај час је садржао секвенцу у оквиру које су ученици износили предлоге сопствених експеримената. Кроз њихове одговоре је процењивана креативност кроз четири индикатора- оригиналност, детаљаност, применљивост и иновативност.
- У оквиру трећег часа, часа обнављања силе потиска (радни лист Е2 – Прилог 5) ученици су најпре наводили које силе делују на куглицу док је посуда у мировању (Слика 5.7.3), што су могли приказати кроз скице или цртеже.



Слика 5.7.3. Затворена посуда (6) делимично напуњена водом (2) са челичном куглицом за чај (3) у којој је стонотениска лоптица (4), на чијем је дну магнет (5); изнад воде је ваздух (1).

Затим су предвиђали шта ће се десити са куглицом када се посуда пусти да слободно пада. Било је омогућено снимање појаве камерама мобилних телефона. Након анализе појава ученици су објашњавали уочену појаву да би у последњој секвенци часа износили предлоге својих експеримената.

- У првој секвенци четвртог часа³², часа утврђивања осцилаторног кретања клатна, ученици су на основу свог знања или интуиције бирали један од понуђених одговора (Радни лист – Прилог 10) на питање шта ће се догодити са кретањем клатна када се „гравитација искључи“. Понуђени одговори су укључивали различите сценарије – клатно ће наставити да осцилује, зауставиће се, кретаће се константном брзином. Овај део часа био је важан за процену ученичких предзнања и њихове способности предвиђања. Након што су ученици изабрали своје одговоре, уследила је дигитална симулација. Ученици су доведени у ситуацију да упоређу своја предвиђања са оним што су видели у симулацији.

³²Овај час реализован је у школској 2023/24. години када је генерација ученика која је учествовала у истраживању из седмог прешла у осми разред. Ученици првог разреда основне школе у истраживању су учествовали у једној школској години – 2022/23.

Наставник је кроз дискусију подстицао ученике да аргументују своја запажања и промене своје претходне одговоре ако су увидели да су направили грешку у предвиђању. Овим је створена прилика да наставник боље процени колико су ученици разумели појаве које посматрају - ученици који су исправно одговорили имали су прилику да своје аргументе изнесу. Након што су ученици завршили са посматрањем и корекцијом својих одговора, добили су задатак да предложе побољшање постојећег експеримента или осмисле сасвим нови експеримент који би испитивао одређену појаву у бестежинском стању.

Када је реч о контролним групама у оба разреда, настава је реализована у складу са оперативним плановима рада наставника (Прилог 11– Припрема наставника за час у седмом разреду). У првом разреду објашњен је дијалошким методом мисаони експеримент са лифтом у слободном паду и описан експеримент са чашом са отвором при дну. На посебном часу ученици контролних група су одговарали на питања радног листа К (Прилог 7). Задатак ученика је био да размишљају о узроцима описаних појава бестежинскога стања, а након тога да осмисле сопствене експерименте који би испитивали неки од феномена у бестежинском стању. Овај део истраживања служио је процени нивоа креативности ученика, односно њихове способности да примене своје знање и предложе нове експерименте на основу експеримената који су им описани. Овим је истражено да ли је одсуство експеримената односно доступност описа експеримента заједно са његовим исходима спутавала креативност ученика, у односу на ученике експерименталних група.

Глава 6.

Резултати истраживања и дискусија резултата истраживања

Провера статистичке уједначености између експерименталне и контролне групе седмог разреда у погледу просечне оцене и резултата Лосоновог теста извршена је непосредно пре часова у експерименталној и контролној групи. Резултати су показали да не постоји статистички значајна разлика између контролне и експерименталне групе у просечној оцени ($\chi^2(1) = 2,03e-4$, $p = 0,989$) и резултатима на Лосоновом тесту ($\chi^2(1) = 0,12$, $p = 0,749$). Утврђено је да су обе групе имале сличан ниво основног разумевања и школског успеха у физици пре почетка интервенције. У Табели 10. су приказани резултати статистичке анализе за контролну и експерименталну групу седмог разреда

Табела 10. Резултати статистичке анализе за контролну и експерименталну групу седмог разреда

	ГРУПА	СРЕДЊА ВРЕДНОСТ	СТАНД. ДЕВ.	$\chi^2(1)$	p
ОЦЕНА	Експериментална	3,95	1,03	2,03e-4	0,989
	Контролана	3,95	0,865		
ЛОСОНОВ ТЕСТ	Експериментална	49,8	15,9	0,12	0,749
	Контролна	48,1	17,3		
ОРИГИНАЛНОСТ	Експериментална	1,53*	0,612	14,057	<0,001
	Контролна	0,667*	0,577		
ДЕТАЉНОСТ	Експериментална	1,32*	0,582	7,245	0,007

Резултати истраживања и дискусија резултата истраживања

ПРИМЕНЉИВОСТ	Контролна	0,810*	0,512		
	Експериментална	1,63	0,597	3,286	0,070
ИНОВАТИВНОСТ	Контролна	1,19	0,814		
	Експериментална	1,42*	0,607	8,073	0,004
	Контролна	0,762*	0,700		

Показано је да, након педагошке интервенције у експерименталној групи, постоје значајне разлике између група ученика у седмом разреду, у домену оригиналности, детаљности и иновативности. Ученици у експерименталној групи показали су већу оригиналност ($\chi^2(1) = 14,057$, $p < 0,001$), детаљност ($\chi^2(1) = 7,245$, $p = 0,007$) и иновативност ($\chi^2(1) = 8,073$, $p = 0,004$) у својим решењима у поређењу са ученицима у контролној групи. Применљивост решења није показала статистички значајну разлику између група ($\chi^2(1) = 3,286$, $p = 0,070$), али је резултат био близу прага значајности, што сугерише потенцијалну корист конструктивистичког приступа и за овај аспект креативности.

У случају ученика првог разреда, резултати су показали другачију слику. Пре интервенције, постојала је статистички значајна разлика у просечним оценама између контролне и експерименталне групе ($\chi^2(1) = 18,472$, $p < 0,001$), што указује на то да је експериментална група имала боље почетне оцене. Међутим, није пронађена статистички значајна разлика у резултатима Лосоновог теста ($\chi^2(1) = 2,428$, $p = 0,119$), што сугерише да су обе групе имале сличан ниво научног резоновања пре интервенције. Узевши у обзир да су ученици првог разреда у средњу школу уписани након што су завршили различите основне школе у неколико различитих градова, те да је наставник критеријум оцењивања успоставио на основу резултата иницијалног тестирања на почетку школске године, и у договору са ученицима дефинисао да се уз примену правилника о оцењивању посебно вреднује напредовање у односу на показани почетни ниво а кроз аспект оцењивања – активност, релевантнији за истраживање су резултати постигнути на Лосоновом тесту, због чега се може сматрати да се експериментална и контролна група не разликују статистички значајно. У Табели 11. приказане су вредности статистичких параметара за контролну и експерименталну групу првог разреда.

Табела II. Резултати статистичке анализе за контролну и експерименталну групу првог разреда

	ГРУПА	СРЕДЊА ВРЕДНОСТ ³³	СТАНД. ДЕВ.	$\chi^2(1)$	<i>p</i>
ОЦЕНА	Експериментална	3,82*	0,58	18,472	<0.001
	Контролна	2,98*	0,63		
ЛОСОНОВ ТЕСТ	Експериментална	41,4	12,8	2,428	0,119
	Контролна	36,0	13,0		
ОРИГИНАЛНОСТ	Експериментална	0,759	0,689	0,779	0,378
	Контролна	0,577	0,504		
ДЕТАЉНОСТ	Експериментална	1,10	0,557	0,206	0,650
	Контролна	1,04	0,528		
ПРИМЕНЉИВОСТ	Експериментална	1,34*	0,670	3,828	0,050
	Контролна	1,04*	0,528		
ИНОВАТИВНОСТ	Експериментална	1,00*	0,802	4,020	0,045
	Контролна	0,577*	0,578		

Резултати су показали да након интервенције није пронађена статистички значајна разлика у оригиналности ($\chi^2(1) = 0,779$, $p = 0,378$) и детаљности ($\chi^2(1) = 0,206$, $p = 0,650$) између контролне и експерименталне групе. Међутим, постоји разлика у примењивости ($\chi^2(1) = 3,828$, $p = 0,050$) и иновативности ($\chi^2(1) = 4,020$, $p = 0,045$), за које су ученици експерименталне групе показали боље резултате.

Непостојање статистички значајне разлика између група у просечној оцени ($\chi^2(1) = 2,03e-4$, $p = 0,989$) и на Лосоновом тесту ($\chi^2(1) = 0,12$, $p = 0,749$) међу ученицима контролне и експерименталне групе седмог разреда је од важности за валидност истраживања, јер је показано да су обе групе имале сличан ниво знања и когнитивних способности пре интервенције. Уједначеност ових фактора важна је за интерпретацију резултата јер упућује да су разлике, уочене након примене конструктивистичког приступа директно повезане са интервенцијом, а не са почетним разликама међу ученицима [248]. Статистички значајне разлике у оригиналности ($\chi^2(1) = 14,057$, $p <$

³³ Средње вредности код којих постоји статистички значајна разлика означене су звездицом.

0,001), детаљности ($\chi^2(1) = 7,245$, $p = 0,007$) и иновативности ($\chi^2(1) = 8,073$, $p = 0,004$) у корист експерименталне групе, након интервенције указују на то да конструктивистички приступ има позитиван утицај на креативност ученика у настави физике о бестежинском стању, што је у складу са налазима претходних студија које су показале да активно учење и ангажовање у решавању проблема подстичу креативно мишљење [3]. Конструктивистички приступ подстиче ученике не само да усвајају знања већ и да их примењују у различитим ситуацијама, чиме се може објаснити већа оригиналност и иновативност код ученика у експерименталној групи [4].

То што примењивост решења није показала статистички значајну разлику између група ($\chi^2(1) = 3,286$, $p = 0,070$) може указивати да ученици из експерименталне групе, иако креативнији у смислу оригиналности и иновативности, још увек нису у потпуности развили способност да своја решења примене у практичним условима. Овај резултат је у складу са ранијим истраживањима која су показала да иновативност и примењивост не морају увек бити усклађене, јер су за примену креативних идеја често потребне практичне вештине и искуство [241]. Резултатима који се тичу применљивости посвећена је додатна пажња у каснијој дискусији резултата.

То што је постојала статистички значајна разлика у просечним оценама између контролне и експерименталне групе ученика првог разреда ($\chi^2(1) = 18,472$, $p < 0,001$) могло је утицати на њихово учествовање у конструктивистичкој настави. Међутим, како је већ наведено, обе групе ученика имале су сличне когнитивне способности у погледу научног резоновања ($\chi^2(1) = 2,428$, $p = 0,119$), што је релевантније за интерпретацију ефеката конструктивистичке интервенције.

Резултати указују да интервенција није није утицала на оригиналност ($\chi^2(1) = 0,779$, $p = 0,378$) и детаљност ($\chi^2(1) = 0,206$, $p = 0,650$) између контролне и експерименталне групе ученика првог разреда, што је у складу са истраживањима која су показала да различити аспекти креативности могу бити независни један од другог и не морају се истовремено развијати под утицајем наставних метода [242]. Бољи резултати ученика експерименталне групе у примењивости ($\chi^2(1) = 3,828$, $p = 0,050$) и иновативности ($\chi^2(1) = 4,020$, $p = 0,045$) указују да је конструктивистички приступ подстакао ученике да креирају нове експерименте у контексту бестежинског стања што

Резултати истраживања и дискусија резултата истраживања

је у сагласности са тезом да конструктивистичка настава подстиче ученике своје идеје примене у пракси [3, 55].

Оригиналност, применљивост, детаљност и иновативност се не манифестују у једнаком степену у свим условима. Тако оригиналност може постојати без велике применљивости или иновативност без детаљности. Различити индикатори креативности могу бити суптилни и тешко мерљиви [241], а природа задатака, когнитивни ниво ученика и специфични контекст учења могу утицати на њихов развој. Истраживања су показала да конструктивистички приступ може подстицати оригиналност и иновативност, али можда не увек и применљивост идеја, нарочито ако ученици немају довољно искуства у решавању практичних проблема. Задаци који захтевају висок степен апстрактног размишљања могу подстицати оригиналност, али могу довести до мање применљивости у реалним контекстима. С друге стране, традиционални наставни приступи могу боље развијати применљивост, али мање подстицати оригиналност или иновативност [3, 85].

Међу одговорима ученика контролних група углавном се проналазе искази „поновио бих исте експерименте“ или „ништа не бих променио, свиђа ми се такав експеримент“, док незнатан број укључује предлоге модификације постојећих експеримената. Унапред дати исходи експеримената, какав је случај био у контролним групама, ограничавају ученике у процесу активног решавања проблема и не пружају им довољно простора за самостално експериментисање и доношење закључака [249] (Stojanović, 2021). Један од главних недостатака „пасивнијих“ метода наставе јесте то што ученици углавном прихватају информације као готове чињенице, без активног учешћа у процесу њиховог откривања. Такав приступ доводи до недостатка дубљег разумевања концепата и смањује способност ученика да примењују стечено знање у новим ситуацијама [250]. У експерименталним групама, у којима су ученици имали активнију улогу кроз „Предвиди-посматрај-објасни“ метод, видљива је већа интеракција са садржајем и боља примена знања на иновативне начине. У пасивнијим наставним приступима, ученицима се ускраћује могућност да сами изводе закључке на основу посматрања и експериментисања, што смањује њихову мотивацију да постављају нова питања и да осмисле сопствене експерименте. Креативност ученика је у великој мери повезана са њиховом способношћу да самостално приступе проблему и да

развијају нове идеје. Насупрот томе, у контролним групама, ученицима су понуђени унапред познати исходи, те они немају прилику да размишљају на оригиналан начин или да изврше сопствене експерименталне измене. У поређењу са активнијим приступима, као што је „Предвиди-посматрај-објасни“, током кога ученици уче кроз експерименте и самостално доносе закључака, пасивне методе могу смањити мотивацију ученика и ограничити њихову способност да развијају оригиналне идеје [251].

Разлика присутности статистичких значајности по питању применљивости у седмом и првом разреду може бити објашњена когнитивним развојем ученика, њиховим искуством у примени теоријских концепата, мотивацијом и наставним контекстом. Ученици седмог разреда налазе се на граници између Пијажеових фаза конкретних операција и формалних операција [231]. У овој фази они почињу да развијају способност апстрактног размишљања, али је њихова способност примене научних концепата у новим ситуацијама често ограничена. С друге стране, ученици првог разреда средње школе већ су дубље укореењени у фази формалних операција, што им омогућава бољу способност примене стеченог знања у практичним ситуацијама [230]. Ова когнитивна разлика може бити објашњење зашто су старији ученици своје идеје и решења боље исказали по питању применљивости у експерименталним условима. Ученици седмог разреда тек другу годину учествују у формалном образовању из физике, што значи да имају мање искустава у извођењу научних експеримената и примени теоријских концепата у пракси [4]. У овом узрасту, њихово разумевање сложених научних појава, као што је бестежинско стање, још увек се развија. Насупрот томе, ученици првог разреда средње школе већ су стекли више теоријског и практичног знања из физике за претходне три године школовања, што им је омогућава да успешније примењују своје идеје у експерименталним ситуацијама [55]. Веће искуство по питању демонстрационих експериментима може бити образложење зашто је примењивост код старијих ученика са статистички значајном разликом.

Наставни приступи у основној школи често подразумевају наставне процесе у којима наставници воде ученике кроз учење пружајући им честе инструкције. То може довести до смањења прилика за самостално истраживање и развој применљивих решења [3].

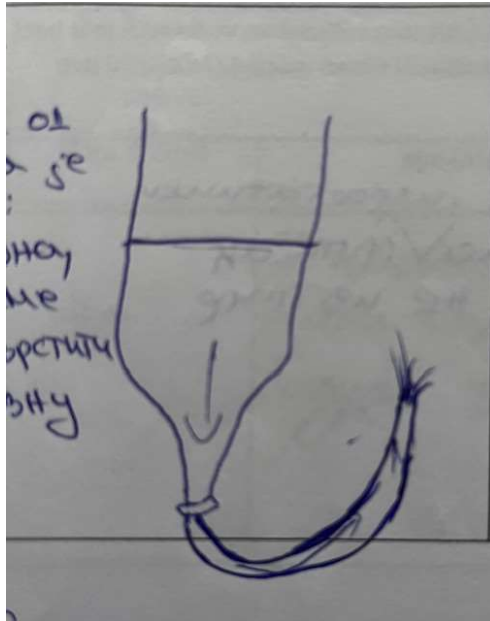
Мотивација ученика такође може играти важну улогу у њиховој способности да развију применљива решења. Истраживања показују да старији ученици, који су ближе одабиру каријере или даљем школовању, могу показати веће интересовање и мотивацију за примену научних концепата у пракси [227]. Повећана мотивација може довести до боље примењивости њихових решења у поређењу са млађим ученицима, који још увек не осећају заинтересованост за практичну примену знања. Задачи који захтевају примену научних концепата могу деловати компликованије за млађе ученике. Иако су ученици седмог разреда могли показати оригиналност у осмишљавању идеја, њихова способност да то знање примене у сложеним практичним ситуацијама може бити ограничена [252].

Генерално, резултати су у складу са налазима других истраживања која су показала да конструктивистички приступ може имати различите ефекте на различите аспекте креативности у зависности од узраста ученика и специфичних услова наставе. Ранија истраживања су показала да конструктивистички приступ може побољшати креативне способности ученика, посебно по питању флексибилности знања [4, 55].

6.1. Примери одговора ученика

У наставку је дат приказ неколико одговора ученика ради илустрације поступка процене креативности ученика.

У одговору кроз који су исказани оригиналност, детаљност, применљивост и иновативност, ученик је предложио увођење модела водскока као средства за демонстрацију утицаја бестежинског стања на избацавање воде, и представио илустрацију дату на слици 6.1.1.



Слика 6.1.1. Скица предложеног експеримента водоскока у бестежинском стању.

За свој експеримент, ученик је предложио коришћење пресечене отворене боце и цеви која се савија како би се направио модел водоскока. Такође, навео је и елемент за причвршћивање цеви за грлић боце. Идеја водоскока у бестежинском стању је у оригинална. Објашњење да вода престаје да „искаче“ у бестежинском стању показује да ученик разуме да ће доћи до одређене промене. Наведено решење, иначе, није било предложено од стране других ученика, што је у складу са студијама које повезују оригиналне идеје са вишим нивоима дивергентног размишљања [241]. Такође, овакав експеримент није наведен од стране анкетираних наставника физике. То што је опис експеримента детаљан и праћен сликом, указује на ученикову способност не само да осмисли идеју, већ и да је јасно и прецизно представи. Одговор нуди применљиво решење које је једноставно за извођење, ако просипање воде након пада не третирамо као отежавајућу околност. Наставник је проценио да ученик показује висок степен пажње према техничким детаљима и унапред размишља о реализацији експеримента. Увођење концепта водоскока, који није разматран у контексту бестежинског стања, показује да ученик креативно приступа решавању проблема и да је у стању да примени стечено знање. Ипак остаје недовољно познато да ли је ученик мислио да ће вода престати да „искаче“ али ће и даље помало излазити или ће се у потпуности, истог

Резултати истраживања и дискусија резултата истраживања

тренутка када систем пређе у бестежинско стање, зауставити. С обзиром на то да је вода била у кретању у тренутку када је систем прешао у бестежинско стање, вода ће ипак наставити да се креће, док се услед трења са зидом суда не заустави, део воде ће се вратити у суд услед површинског напона [253]. Овај експеримент уколико би се реализовао према дизајну који је ученик понудио, послужио би за даље учење односно оповргавање претпоставки уколико су оне биле погрешне.

Одговор кроз који је показана инвентивност али не и оригиналност произашао је из уверења да вода у бестежинском стању не истиче кроз отвор боце, при дну, зато што се вода подигне у горњи део боце. Ученик даје занимљив предлог којим би проверио оно што износи као своје уверење. Његова идеја је да се отвор направи при врху боце у делу изнад воде и да провери да ли ће приликом пада и „подизања воде нагоре“ она излазити кроз тај горњи отвор. Иако је у питању погрешно уверење предлог експеримента који ученик даје може послужити као корисно средство за разјашњавање погрешних концепција.

У иновативне одговоре ученика спадају и предлози који укључују већи број отвора на посуди која пада, или њихове различите позиције, или чак различите пречнике отвора. Тако на пример једним одговором се предлаже да отвор буде направљен не само у доњем делу затворене посуде у ком се налази вода већ и у горњем делу посуде у ком се налази ваздух. Ученик наводи да би проверио да ли би вода у случају пада ипак мало исцурела из посуде због ваздуха који би можда ушао у посуду кроз горњи отвор.

По питању експеримента о бестежинском стању магнетним деловањем у инвентивне одговоре спадају они који укључују већи број магнета (различито позиционираних) у посуди, као и предлози који укључују друге течности или куглице од различитих материјала. Неки предлози понављају приказане експерименте али са променом димензија апаратуре, или предлажу пад са већих висина. Ови одговори указују на репродуктивну креативност, која је једнако важан аспект у образовању [254]. Они су вредновани као применљиви и (или) детаљни у зависности од њиховог целокупног контекста. Тако на пример, одговор који укључује пуштање апаратуре из авиона, иако детаљан не може бити применљив. Са друге стране, за неке одговоре се може закључити да су применљиви али да ученик није до детаља исказао своје предлоге, те због тога изостаје процена да је исказана и детаљност. На пример, одговори у којима се наводи да

се магнет постави на поклопац посуде, иако праћен сликом, није детаљан као одговор у коме се наводи да се магнет постави на поклопац кутије како би се видело „да ли ће у бестежинском стању куглица отићи нагоре привучена магнетом“. Оно што је приметно је да овакви одговори уносе иновацију у учење и да су предложени експерименти такви да их ученици могу самостално реализовати у школи или код куће, и да могу направити видео записе камерама мобилних телефона и тако обезбедити садржај за проучавање.

Одговор у вези са нестајањем силе потиска у коме ученик предлаже да се магнет уместо за дно посуде која ће слободно падати, постави за њен поклопац, оцењен је као иновативан, док исти такав одговор у коме се предлаже да се осим пуштања да пада, посуда може бацити вертикално увис оцењен је и као оригиналан³⁴. Овај одговор није јединствен али ситуација коју ученик укључује у свој одговор, до школске године у којој је вршено истраживање није се проналазила ни у једном уџбенику, нити је наведена од стране анкетираних наставника, и није обухваћена обухваћена програмом наставе физике у контексту бестежинског стања. Одговор свакако указује да ученик жели да створи ширу слику о кретању у гравитационом пољу и повезује своја знања. Слично је и са предлогом да се посуда баци у хоризонталном правцу. Како је наведено у одељку 3.2.2. овог рада, само један уџбеник укључује овакву ситуацију и то са издањем од 2024. године.

Један од одговора који је такође процењен као оригинални је предлог постављања магнета на дно посуде и магнета који је везан за поклопац посуде врпцом али тако да једним својим делом буде потопљен у води. Ученик наводи и оријентацију полова магнета као прилику да проучи њихово међусобно деловање у бестежинском стању.

У оригиналне одговоре спада и онај у ком се предлаже пуштање метронома и слушање његовог откуцавања док пада, уз снимање у успореном режиму .

6.2. Ограничења истраживања и препоруке за будућа истраживања

³⁴ Један оцењивач сматра да је оригиналност исказана док други сматра да је оригиналност исказана делимично.

Резултати истраживања и дискусија резултата истраживања

Прва ограничења овог истраживања односе се на величину узорка и специфичност наставног контекста. Мањи узорци су подложни утицају случајних фактора, што може утицати на њихову репрезентативност [9]. Будућа истраживања требало би да укључе веће и разноврсније узорке, који би обухватили различите узрасте ученика и школе у различитим друштвеним и географским срединама.

Ограничење које се односи на процену подстицања креативности у настави је субјективност наставника у оцењивању одговора ученика. Креативност је често тешко објективно измерити, јер укључује процену оригиналности, иновативности, детаљности и применљивости – аспеката који могу бити различито интерпретирани у зависности од претходних искустава, очекивања и професионалних уверења наставника [229]. Истраживања показују да наставници често несвесно показују предрасуде у корист ученика који испољавају обрасце као што су марљивост и дисциплина, што не мора нужно корелирати са стварном креативношћу [242]. Зато је важно да будућа истраживања детаљније истраже методе оцењивања креативности. Укључивање више од два независна оцењивача или коришћење објективнијих критеријума за одређивање креативности смањиле би могућност субјективних предрасуда, чиме би се допринело већој валидности резултата.

Критеријуми за процену креативности, као што су оригиналност, применљивост, иновативност и детаљност, могу бити недовољни за свеобухватно мерење овог комплексног концепта. Постоји могућност да одређени аспекти креативности, попут когнитивне флексибилности или сарадничке креативности, остану непроцењени [255]. Будуће студије би требало да истраже и друге аспекте креативности и користе разноврсне инструменте за њено мерење, укључујући и квалитативне методе, као што су интервјуи и посматрање.

Културолошки и друштвени контекст такође играју значајну улогу у развоју и испољавању креативности. У неким друштвима, креативност је више подстицана и охрабрена, док у другим може бити потиснута у корист конформизма и поштовања ауторитета [228]. Истраживање није обухватило друштвене и културолошке разлике које могу обликовати понашање и начин размишљања ученика. Из тог разлога, будућа истраживања би могла укључити испитивање утицаја различитих културних модела на креативност ученика.

Додатна истраживања могла би испитати дугорочне ефекте конструктивистичког приступа на различите аспекте учења и развоја ученика. Иако конструктивистички приступ показује потенцијал за подстицање креативности у контексту демонстрационих експеримената о бестежинском стању, резултати овог истраживања не односе се на друге концепте у настави физике.

6.3.1. Препоруке за унапређење наставе

Основна препорука која проистиче из ове дисертације упућена је наставницима физике и односи се на интеграцију демонстрационих експеримената о бестежинском стању у наставни процес. Конструктивистички приступ, испоставило се, применом методе Предвиди–Посматрај–Објасни и иновативних демонстрационих експеримената, јесте ефикасан у погледу подстицаја креативности код ученика. Учествовање ученика у самосталном планирању и реализацији експеримената може допринети развоју њиховог критичког и иновативног мишљења, као и способности решавања проблема [55]. Отуда произилази потреба за ревизијом и модернизацијом постојећих наставних програма, са фокусом на експериментални рад. Уместо традиционалних метода предавања, препоручује се примена истраживачки оријентисаних задатака и иновативних експеримената као централних елемената наставног процеса [4]. Наставни програми треба да укључе већи број експерименталних активности повезаних са феноменима бестежинског стања, како кроз директне експерименте тако и посредством симулација.

Како наставници имају најважнију улогу у припреми и реализацији наставе, неопходно је да буду оспособљени за учешће у конструктивистичком приступу. Програми стручног усавршавања треба да буду усмерени на развој умећа наставника захваљујући којим ће они моћи да подстичу активно учење и когнитивно ангажовање ученика [229]. Кроз систематску обуку могуће је обезбедити ефективну имплементацију конструктивистичког приступа у настави и створити окружење које подстиче креативност и активно учествовање ученика у процесу учења.

Пошто когнитивне способности ученика утичу на успех примене конструктивистичког приступа, наставни програми би требало да се пажљивије прилагођавају узрасту и когнитивном нивоу ученика. Млађе ученике треба укључити у експерименте чија је реализација једноставнија док би старији ученици могли

Резултати истраживања и дискусија резултата истраживања

учествовати и у сложенијим експериментима [252]. Експерименти *Одсуство силе потиска у бестежинском стању—демонстрација магнетним деловањем* и *Осцилаторно кретање у бестежинском стању* препоручују се за рад са ученицима основних школа. Експерименти *Одсуство хидростатичког притиска и силе потиска у бестежинском стању*, *демонстрација помоћу мехура ваздуха*, *дигитални експерименти Клатно у бестежинском стању* и *Еластична опруга у бестежинском стању* и видео експеримента *Одсуство хидростатичког притиска у бестежинском стању живе* препоручују се за рад са ученицима средњих школа.

Глава 7.

Закључак и правци даљих истраживања

Кључни појмови које обухвата ова дисертација су: конструктивизам, креативност и демонстрациони експерименти о бестежинском стању. Повезивање конструктивистичког приступа у настави физике са циљем развоја креативности омогућава ученицима да кроз демонстрационе експерименте у контексту бестежинског стања, активно конструишу знање и развијају оригиналне идеје и иновације.

Конструктивизму и креативности је пажња посвећена у другој глави, у оквиру које су ови појмови анализирани и представљен њихов значај за наставу физике. У трећој глави фокус је на демонстрационим експериментима о бестежинском стању, уз анализу појмова тежине и бестежинског стања у литератури. У оквиру ове главе разматрана је заступљеност демонстрационих експеримената у програмима наставе и учења у основним и средњим школама, као и њихова улога у уџбеничким садржајима.

Четврта глава обухвата описе иновативних демонстрационих експеримената, који су осмишљени са циљем бољег разумевања физичких појава у условима бестежинског стања. Описани су следећи демонстрациони експерименти:

- Одсуство хидростатичког притиска у бестежинском стању живе;
- Одсуство силе потиска у бестежинском стању, демонстрација магнетним деловањем;
- Одсуство хидростатичког притиска и силе потиска у бестежинском стању, демонстрација помоћу мехура ваздуха;

Закључак и правци даљих истраживања

- Клатно у бестежинском стању — дигитални експерименти;
- Еластична опруга у бестежинском стању — дигитални експеримент;
- Осцилаторно кретање у бестежинском стању.

Поменути експериментима је показано да у бестежинском стању нема хидростатичког притиска, да не делује сила потиска, а да делују сила еластичности и магнетна сила. Њима је омогућено да се бестежинско стање изучава у корелацији са наставним темама које се, априори, не односе на бестежинско стање.

Демонстрациони експерименти *Одсуство силе потиска у бестежинском стању, демонстрација магнетним деловањем, Одсуство хидростатичког притиска и силе потиска у бестежинском стању, демонстрација помоћу мехура ваздуха и Клатно у бестежинском стању — дигитални експеримент* примењени су у истраживању у коме су учествовали ученици седмог разреда основне и ученици првог разреда средње школе. Методологија спроведеног истраживања представљена је у петој глави. Истраживање се односило на примену конструктивистичког приступа у обради бестежинског стања у настави физике и на то у којој мери такав приступ доприноси развоју креативности. Креативност је у одговорима ученика процењивана кроз четири аспекта: оригиналност, иновативност, детаљност и применљивост, применом Коенове к анализе.

Резултати истраживања, представљени у шестој глави, добијени применом Шапиро – Вилк и Крускал- Валис тестова, указују на то да конструктивистички приступ може имати различите ефекте на развој креативности у зависности од узраста ученика и специфичних наставних услова. Ученици из експерименталне групе седмог разреда показали су већу оригиналност ($\chi^2(1) = 14,057$, $p < 0,001$), детаљност ($\chi^2(1) = 7,245$, $p = 0,007$) и иновативност ($\chi^2(1) = 8,073$, $p = 0,004$) у својим одговорима у односу на ученике из контролне групе. Примењивост њихових одговора није показала статистички значајну разлику између група ($\chi^2(1) = 3,286$, $p = 0,070$), али су резултати били близу прага значајности. Код ученика првог разреда средње школе није утврђена статистички значајна разлика у оригиналности ($\chi^2(1) = 0,779$, $p = 0,378$) и детаљности ($\chi^2(1) = 0,206$, $p = 0,650$), али је статистички значајна разлика утврђена у применљивости ($\chi^2(1) = 3,828$, $p = 0,050$) и иновативности ($\chi^2(1) = 4,020$, $p = 0,045$). Резултати истраживања, дакле, указују на предности конструктивистичког приступа у развоју креативности када је реч о обради појма бестежинског стања.

Допринос ове дисертације огледа се у потенцијалном развоју и унапређењу наставе физике, посебно кроз:

- Отварање могућности да се концепти Опште теорије релативности кроз једноставне експерименте уврсте у наставу физике чиме се додатно може истицати значај резултата теоријске физике;
- Формирање предлога дела Програма наставе у циљу веће заступљености демонстрационих експеримената о бестежинском стању на часовима физике;
- Четврта глава, која заинтересованим наставницима физике може послужити као приручник за демонстрационе експерименте о бестежинском стању, на свим нивоима изучавања физике.

Ограничења спроведеног истраживања се превасходно односе на величину узорка, због чега би будућа истраживања требало да обухвате веће и разноврсније узорке, који би обухватили различите узрасте ученика и школе у различитим друштвеним и географским срединама. Креативност је често тешко објективно измерити, јер укључује процену аспеката који могу бити различито интерпретирани у зависности од претходних искустава, очекивања и професионалних уверења наставника. Због тога је присутно ограничење које се односи на процену подстицања креативности у настави. Укључивање више од два независна оцењивача или коришћење објективнијих критеријума за одређивање креативности, у будућим истраживањима, смањиле би могућност субјективних предрасуда. Такође, будуће студије би требало да истраже и друге аспекте креативности и користе разноврсне инструменте за њено мерење. Како се резултати истраживања односе само на концепт бестежинског стања, будућа истраживања се могу фокусирати на примену конструктивистичког приступа у настави других физичких концепата.

Ипак, важан утицај који би ова дисертација могла остварити односи се на развој наставних програма физике, таквих да могу допринети да бар део образовног система подстиче активнији, креативнији и критички оријентисан начин размишљања ученика.

Глава 8.

Прилози

Прилог 1

Упитник за наставнике - Стимулисање развоја креативности у настави физике

Одговори на питања из овог упитника могу помоћи у процени и унапређењу пракси наставника у подручју стимулисања креативности међу ученицима, посебно у контексту наставе физике.

1. Пол: м / ж
2. Године живота:
 - 20-25
 - 26-30
 - 31-35
 - 36-40
 - 41-45
 - 46-50
 - 51-55
 - више од 55
3. Године рада у школи: _____
4. Колико често држите интердисциплинарне часове?
 - Никада.
 - Понекад.
 - Често.
 - Увек.
5. На који начин подстичете ученике да постављају питања током часа?
 - Допуштам питања само на крају часа.
 - Охрабрујем питања, али се држим строго плана часа.
 - Активно тражим од ученика да постављају питања током часа.
 - Организујем часове тако да је постављање питања од стране ученика њихов централни део.
6. Како реагујете на „необична“ питања или идеје ученика?
 - Игноришем их како се не би одступало од плана часа или садржаја лекције.
 - Покушавам да их брзо превазиђем и настављам са планом часа.
 - Анализирам их и дискутујем и показујем како могу бити релевантна.
 - Користим их као прилике за истраживачко учење и даљу дискусију.
7. Колико често примењујете методе које омогућавају ученицима да истражују и решавају проблеме на више начина?
 - Никада.
 - Понекад.
 - Често.
 - Увек.

8. На који начин оцењујете креативност ученика у решавању задатака из физике?
- Не оцењујем креативност, само тачност решења.
 - Признајем креативност, али не дајем јој предност у оцењивању.
 - Оцењујем креативност као део укупне оцене за задатак.
 - Посебно оцењујем и награђујем креативне приступе и решења.
9. Како користите грешке ученика и њихове неуспехе током учења?
- Као прилике за исправку и учење.
 - За истицање важности прецизности и пажње током рада.
 - Као прилике да истражимо нове идеје и приступе.
 - Да охрабрим размишљање изван устаљених оквира.
10. Да ли допуштате и подстичете самостално истраживање ученика на теме које их занимају унутар и ван програма физике?
- Никада.
 - Понекад, ако има времена.
 - Често, као део њихових пројеката.
 - Увек, водим рачуна да то буде саставни део њиховог учења.
11. На који начин промовишете сарадњу међу ученицима у учењу базираном на решавању проблема?
- Не промовишем, инсистирам на индивидуалном раду.
 - Допуштам, али не инсистирам на сарадњи.
 - Охрабрујем и организујем активности које захтевају тимски рад.
 - Сарадњу ученика у учењу сматрам кључном за успех наставе.
12. Како подстичете ученике да размишљају критички и евалуирају научне теорије, експерименте и резултате?
- Не инсистирам на критичком размишљању, фокусирам се на изношење чињеница.
 - Повремено постављам питања која захтевају размишљање, али не допуштам дубљу дискусију.
 - Редовно користим дискусије, студије случаја и анализе како бих подстакао критичко размишљање.
 - Стално подстичем ученике да постављају питања, критички вреднују постојеће идеје и предлажу нове идеје.
13. На који начин утврђујете креативност ученика?
-
14. Процените своју компетенцију за препознавање и рад са креативним ученицима:
- Веома висока
 - Висока
 - Ниска
 - Веома ниска
15. Наведите питање које није постављено у упитнику, а сматрате га релевантним у контексту стимулисања развоја креативности ученика у настави физике.
-

Прилози

Прилог 2

Обрада садржаја о бестежинском стању у настави физике

1. Пол
 - М
 - Ж
2. Године стажа
 - 0-5 година
 - 5-10 година
 - 10-15 година
 - 15-20 година
 - преко 20 година
3. Тип школе у којој радите
 - основна школа
 - гимназија
 - средња стручна школа
 - више типова школа
4. Како дефинишете тежину тела на часовима?

5. На чему инсистирате када проверавате разумевање појма тежине код ученика?

6. Када уводите појам бестежинског стања?

7. Како дефинишете појам бестежинског стања?

8. Која питања постављате када проверавате разумевање бестежинског стања?

9. Опишите демонстрационе огледе које реализујете при обради/утврђивању садржаја о бестежинском стању.

Прилог 3

Odeljenje:		Redni broj:	
Ime i prezime:			
1. Navedi koje sile koje deluju na teg, odnosno lopticu, su u ravnoteži.			
Skica ili crtež	Odgovor		
2. Opiši promene koje uočavaš kada se kutija sa tegom i ping-pong lopticom pusti da slobodno pada. (U opis možeš uključiti i ono što si očekivao/očekivala da vidiš). Kako bi objasnio/objasnila pojavu koju si uočio/uočila?			
Skica ili crtež	Opis		
	Objašnjenje		
3. Posmatraj kuhinjsku vagu na kojoj je teg. Opiši pod dejstvom koje sile se kazaljka na skali vage pomerila.			
Skica ili crtež	Odgovor		
4. Opiši šta se događa kada se vaga sa tegom pusti da slobodno pada. U opisu možeš da navedeš i očekivanja koja si imao/imala i da li su se ona slagala sa onim što se dogodilo. Potom pokušaj da objasniš pojavu koju si uočio/uočila.			
Skica ili crtež	Opis		
	Objašnjenje		
5. Dve kuglice se nalaze na ivici posude i elastičnim (rastegljivim) koncem su vezane za dno posude. Dok je posuda u stanju mirovanja, kuglice su u ravnoteži. Objasni koje sile deluju na kuglice dok je posuda u stanju mirovanja			
Skica ili crtež	Objašnjenje		

Прилози

6. Šta će se desiti dok posuda bude slobodno padala? Obrazloži svoje predviđanje.	
Skica ili crtež	Objašnjenje
7. Posmatraj eksperiment i uporedi sa svojim predviđanjem	
Skica ili crtež	Objašnjenje
.	
8. Kada u posudu koja miruje i koja ima otvor pri dnu dolijemo vodu, voda će isticati kroz otvor. Objasni uzrok ove pojave.	
9. Šta će se dogoditi ako posudu iz 8, zadatka pustimo da slobodno pada? Obrazloži svoju pretpostavku.	
Skica ili crtež	Objašnjenje
10. Posmatraj eksperiment i uporedi njegov ishod sa svojim predviđanjem	
Skica ili crtež	Objašnjenje

Прилог 4

E1	Naziv škole	
	Odeljenje	Šifra učenika
Šifre učenika za rad u paru ili grupi		
1. Kada u posudu koja miruje i koja ima otvor pri dnu dolijete vodu, voda će isticati kroz otvor. Šta će se dogoditi ukoliko takvu posudu zatvorite zatvaračem pre nego što voda istekne? Kako objašnjavate svoje predviđanje?		
Skica ili crtež	Objašnjenje	
2. Pogledajte ogled i uočite šta se dogodilo? Koje je vaše objašnjenje za uočenu pojavu?		
Skica ili crtež	Odgovor	
3. Na koje načine se može postići da voda ponovo ističe kroz otvor pri dnu, iako je i dalje posuda zatvorena zatvaračem?		
Skica ili crtež	Odgovor	
4. Koje je vaše predviđanje ukoliko takvu zatvorenu bocu koja je zatvorena zatvaračem i u kojoj je do određenog nivoa nasuta voda, a boca ima otvor pri dnu, pustite da slobodno pada? Kako objašnjavate svoje predviđanje?		
Skica ili crtež	Objašnjenje	

Прилози

5. Posmatrajte ogled i opišite šta se dogodilo? Koje je vaše objašnjenje za uočenu pojavu.	
Skica ili crtež	Objašnjenje
6. Šta biste izmenili u postojećem ogledu i šta biste time ispitivali?	
Skica ili crtež	Opis i objašnjenje

Прилог 5

E2	Ime škole		
	Odeljenje		Šifra učenika
Za rad u paru ili u grupi dopisati šifre učenika			

1. U posudu je nasuta voda do određene visine. Stonoteniska loptica je ubačena u čeličnu šuplju kuglicu za čaj i postavljena u vodu. Na dnu posude je pričvršćen magnet. Kuglica za čaj pluta na površini vode. Posuda miruje na stolu. Koje sile deluju na kuglicu?	
Skica ili crtež	Objašnjenje
2. Šta će se desiti sa kuglicom dok posuda bude slobodno padala? Objasni zašto bi se dogodilo to što si opisao/opisala.	
Skica ili crtež	Odgovor
3. Posmatraj ogled slobodnog padanja posude sa vodom i kuglicom. Kako objašnjavaš pojavu koju uočavaš dok posuda slobodno pada?	
Skica ili crtež	Objašnjenje
4. Navedi i označi sve sile koje deluju na kuglicu za čaj dok posuda slobodno pada na dijagramu. Upotrebi strelice i nazive sila kako bi jasnije prikazao/prikazala njihov uticaj.	
Skica ili crtež	Objašnjenje
5. Ako biste imali priliku da izmenite ovaj eksperiment, kako biste ga poboljšali ili promenili? Šta biste unesenom novinom ispitivali?	
Skica ili crtež	Objašnjenje
6. Osmislite eksperiment kojim biste ispitivali određenu pojavu u bestežinskom stanju. Koji biste pribor koristili i kakva bi bilo procedura eksperimenta?	
Skica ili crtež	Opis

Прилог 6

Упутство о реализацији часова и секвенци часова

Ученицима треба доделити шифре – најједноставније је да то буду њихови редни бројеви из Дневника. На тај начин ви ћете имати повратну информацију о раду својих ученика, а ја наравно нећу знати њихов идентитет. Наравно, могуће је и другачије шифрирање уколико сматрате упутнијим.

У експерименталној/експерименталним групама треба да се ради у паровима или у групама, при чему групе не треба да броје више од три члана. Препуштам вама одређење, односно вашим ученицима. Уколико имате више одељења, можете се одредити да у једном буде остварен рад у паровима, а у другом рад у групама. Важно је да сваки ученик, без обзира на облик рада, добија радни лист и попуњава га. На радним листовима Е1 и Е2 треба навести и шифру ученика са којим се ради у пару, односно шифре ученика са којима се ради у групи.

Радни лист Е1 се користи у одељењима седмог разреда која представљају експерименталну/експерименталне групе на часу када се изучава/обнавља бестежинско стање. Радни лист Е2 се користи у истим одељењима као и Е1, али након обраде Архимедовог закона.

Наставници средњих школа могу реализовати обе секвенце са Е1 и Е2 када процене да је пригодно, с обзиром на чињеницу да су сви појмови релевантни за истраживање познати ученицима из основношколског учења физике, али такође могу одабрати да реализују сваку секвенцу према плану обраде/обнављања садржаја о бестежинском стању.

У контролној групи – у једном одељењу, треба дати сваком ученику радни листић са ознаком К у горњем левом углу, и у контролној групи ученици раде индивидуалним начином рада.

Радни лист К у контролној групи се користи на делу часа након обраде Архимедовог закона у седмом разреду. Када је реч о средњој школи, радни лист К се може користити на било ком часу који одреди наставник, а пожељно је на часу обраде/обнављања садржаја о бестежинском стању.

Задаци наставника:

- дати одређени радни лист сваком ученику и одредити облик рада у свим одељењима,
- обезбедити упис назива школе и одељења у заглављу радних листова, као и унос шифара ученика,
- у одређеним етапама часа пројектовати видео (за Е1 пре пројекције видеа Е2 приказати фотографију достављену мејлом и навести: „Кутија у којој се налази апаратура је слободно падала заједно са андроидом који је снимао појаву која се види у огледу“),
- пратити временску структуру часа,
- сакупити радне листове,

- не помагати ученицима.

Први час - Е1

Редни број питања	Оквирно време реализације
1.	2-3 минута
2.	Пројектовати видео огледа 1-1 (3-4 минута)
3.	2 минута
4.	3-4 минута
5.	Пројектовати слику и видео огледа 1-2 (3-4 минута)
6.	5-6 минута

Други час - Е2:

Редни број питања	Оквирно време реализације
1.	2-3 минута
2.	3-4 минута
3.	Пројектовати видео огледа 2 (3-4 минута)
4.	2-3 минута
5.	4-5 минута
6.	5-6 минута

Секвенце часа у контролној групи К:

Редни број питања	Оквирно време реализације
1.	4-5 минута
2.	4-5 минута
3.	5-6 минута

Прилози

Прилог 7

1. Kada u posudu koja miruje i koja ima otvor pri dnu dolijemo vodu, voda će isticati kroz otvor. Kada smo takvu posudu u kojoj je voda pustili da slobodno pada, voda je prestala da ističe. Međutim, kada je boca sa otvorom pri dnu u stanju mirovanja, i pri tom zatvorena, voda koja je u boci neće isticati sve vreme, već će se jednog trenutka zaustaviti njeno isticanje. U slučaju da takvu bocu pustimo da slobodno pada kroz otvor pri dnu ući će mehur vazduha u vodu. Objasni ovu pojavu.	
Skica ili crtež	Objašnjenje
2. Kada u posudu na čijem je dnu magnet dolijemo do određenog nivoa vodu i u vodu spustimo čeličnu kuglicu za čaj u kojoj je stonoteniska loptica, kuglica će plutati na vodi. Međutim ukoliko tu posudu pustimo da slobodno pada kuglica će ići ka magnetu i zaustaviće se na dnu posude. Objasni ovu pojavu.	
Skica ili crtež	Odgovor
3. U prilici si da osmisliš ogled kojim ćeš pokazati određenu pojavu bestežinskom stanju. Navedi šta ćeš ispitivati, koji ćeš pribor koristiti i kakav bi bio postupak tvog eksperimenta.	
Skica ili crtež	Objašnjenje

Прилог 8

Концептуална питања о бестежинском стању

1. Замисли да имаш затворену посуду која је допола напуњена водом. Посуда има отвор на дну. Шта ће се дешавати са водом у посуди?
 - a) Вода ће истицати кроз отвор.
 - b) Вода неће истицати кроз отвор.
2. Одговори на основу твог избора у претходном питању. Зашто ће се то десити са водом у посуди?
 - a) Атмосферски притисак једнак је укупном притиску на отвору унутар посуде.
 - b) Притисак на отвору унутар посуде је већи од атмосферског притиска.
 - c) Хидростатички притисак воде је мањи од атмосферског притиска.
 - d) Хидростатички притисак воде је већи од атмосферског притиска.
3. Замисли да је затворена посуда, допола напуњена водом и са отвором на дну, пуштена да слободно пада. Шта ће се дешавати са водом у посуди током слободног пада?
 - a) Вода ће истећи кроз отвор.
 - b) Ваздух ће од споља ући у воду.
 - c) Вода ће почети да се подиже ка врху посуде.
 - d) Ништа се неће догодити.
4. Одговори на основу твог избора у претходном питању. Зашто ће се то десити са водом у посуди током слободног пада?
 - a) Притисак воде на отвору изнутра расте.
 - b) Притисак ваздуха од споља је већи у току слободног пада.
 - c) Нема разлике у притисцима.
 - d) Престао је да постоји хидростатички притисак.
5. Замисли апаратуру која се састоји од пластичне кутије на чији зид су постављене жичане петље кроз које је провучена пластична U-цев, отворена на оба краја. Жива је уливана у U-цев до одређеног нивоа. Након тога је један крак цеви затворен, а у оба крака је додата додатна количина живе. На крају, нивои живе нису исти у оба крака – у отвореном краку је ниво живе виши, а у затвореном краку нижи. Зашто су нивои живе у два крака на различитим висинама?
 - a) Ваздушни притисак у затвореном краку мањи је од атмосферског притиска.
 - b) Жива има особину да се понаша необично.
 - c) Ваздушни притисак у затвореном краку је већи од атмосферског притиска.
6. Замисли да апаратура описана у претходном питању почне да слободно пада. Шта ће се дешавати са нивоима живе у оба крака током слободног пада?
 - a) Ништа се неће догодити са живом.
 - b) Жива ће се подићи кроз отворени део цеви и истећи из цеви.
 - c) Нивои живе ће се изједначити.

Прилози

- d) Ниво живе ће се подизати у затвореном делу цеви.
7. Одговори на основу твог избора у претходном питању. Зашто ће се то десити са живом у U-цеви у посуди током слободног пада?
- a) Сви елементи система имају исто убрзање.
 - b) Притисак ваздуха у затвореном делу цеви је престао да делује.
 - c) Хидростатички притисак је престао да делује.
 - d) Атмосферски притисак је престао да делује.
8. Замисли да имаш затворену посуду која је допола напуњена водом. На дну посуде се налази магнет, а на површини воде плута чајна куглица у коју је уметнута лоптица за стони тенис. Посуда се налази у стационарном стању (стање мировања). Које силе делују на чајну куглицу?
- a) Сила потиска воде, сила гравитације и магнетна сила.
 - b) Сила потиска воде и сила гравитације.
 - c) Само сила потиска воде.
9. Замисли да је затворена посуда допола напуњена водом, са магнетом на дну и чајном куглицом у коју је уметнута лоптица за стони тенис на површини воде. Посуда се пусти да слободно пада. Шта ће се дешавати са куглицом током слободног пада?
- a) Лоптица ће остати на истом месту, на површини воде.
 - b) Лоптица ће почети да тоне према дну посуде.
 - c) Лоптица ће се подићи ка врху посуде и плутати у води.
10. Зашто ће се то десити са лоптицом током слободног пада?
- a) Вода и лоптица добијају исто убрзање током слободног пада.
 - b) У слободном паду, не делује сила потиска.
 - c) Магнетна сила се повећава у слободном паду.

Прилог 9

Pitanja koja su postavljana radi provere znanja učenika – pre pedagoške intervencije (Test A) i nakon pedagoške intervencije (Test B).

TEST A

- 1.1. Dve kuglice se nalaze na ivici posude i elastičnim (rastegljivim) koncem su vezane za dno posude. Dok je posuda u stanju mirovanja, kuglice su u ravnoteži. Navedi sile koje deluju na kuglice dok je posuda u stanju mirovanja.
- 1.2. Objasni šta će se dogoditi dok posuda slobodno pada. Kako objašnjavaš tu pojavu?
- 2.1. Navedi koje sile koje deluju na teg, odnosno lopticu, koje miruju na dnu posude.
- 2.2. Opiši šta će se desiti kada se kutija sa tegom i ping-pong lopticom pusti da slobodno pada. Kako bi objasnio/objasnila tu pojavu?
- 3.1. Kada u posudu koja miruje i koja ima otvor pri dnu dolijemo vodu, voda će isticati kroz otvor. Objasni uzrok ove pojave.
- 3.2. Kada se posuda iz 3.1. pusti da slobodno pada, voda je prestaje da ističe. Objasni ovu pojavu.
- 3.3. Kada se posuda iz 3.1. tokom isticawa vode zatvori voda koja je u boci neće isticati sve vreme, već će se jednog trenutka zaustaviti njeno isticanje. Šta će se desiti ako se nakon toga posuda pusti da slobodno pada? Objasni tu pojavu.

TEST B

1. Zamisli peščani sat koji se nalazi u jednoj kutiji. Pesak iz gornjeg dela staklene posude curi kroz suženje te posude u njen donji deo. U jednom trenutku kutija počine slobodno da pada. Opiši ponašanje peska u peščanom satu. Posebno posveti opis onom zrcu peska koje se u trenutku početka slobodnog pada našlo u suženju.
2. Zamisli bocu mineralne vode koja se nalazi u jednoj kutiji. Mehurići ugljen-dioksida kroz vodu idu vertikalno na gore. U jednom trenutku kutija počine slobodno da pada. Opiši kretanje mehurića ugljen-dioksida tokom slobodnog pada.
3. Klatno osciluje u jednoj kutiji. U trenutku kad kutija počne da pada vertikalno naniže klatno prolazi kroz ravnotežni položaj. Kako će se ono ponašati tokom pada? Obrazloži svoj odgovor.
4. Klatno osciluje u jednoj kutiji. U trenutku kad kutija počne da pada vertikalno naniže klatno dospeva u amplitudni položaj. Kako će se ono ponašati tokom pada? Obrazloži svoj odgovor.
5. Prstenasti magneti su postavljeni na vertikalni štapić koji se nalazi na postolju. Šta će se desiti ako se takav sistem pusti da slobodno pada.
6. Zamisli da se u vodi koja ispunjava jednu posudu našao mehur. Šta bi se desilo sa tim mehurom ako bi se on stvorio u vodi dok posuda u kojoj je slobodno pada? Obrazloži svoj odgovor.
7. Na oprugu je okačen teg. Ona se nalazi u jednoj kutiji. Šta će se desiti kada ta kutija počne da pada? Obrazloži svoj odgovor.

Прилог 10

Odeljenje:		Redni broj:	
------------	--	-------------	--

11. Posmatraj simulaciju koju pokazuje nastavnik i izaberi jedan od ponuđenih odgovora. Šta će se dogoditi sa kretanjem klatna u slučaju isključenja gravitacije?	
Skica ili crtež	Odgovor
	<ul style="list-style-type: none"> a) klatno će se zaustaviti b) klatno će nastaviti da osciluje ali brže c) klatno će nastaviti da osciluje ali sporije d) klatno će se kretati opisujući krug stalnom brzinom e) klatno će se kretati opisujući krug brzinom koja se smanjuje f) klatno će se kretati opisujući krug brzinom koja se povećava g) ništa se neće promeniti
12. Obrazloži prethodni odgovor – zašto će se klatno kretati na taj način? Pokušaj da to uradiš što detaljnije.	
Objašnjenje	
13. Šta će se dogoditi sa kretanjem klatna ako se gravitacija isključi u trenutku kada je klatno u ravnotežnom položaju?	
Skica ili crtež	Odgovor
	<ul style="list-style-type: none"> a) Klatno će se zaustaviti. b) Klatno će nastaviti da osciluje ali brže. c) Klatno će nastaviti da osciluje ali sporije. d) Klatno će se kretati opisujući krug stalnom brzinom. e) Klatno će se kretati opisujući krug brzinom koja se smanjuje. f) Klatno će se kretati opisujući krug brzinom koja se povećava. g) Ništa se neće promeniti.
14. Obrazloži prethodni odgovor – zašto će se klatno kretati na taj način? Pokušaj da to uradiš što detaljnije.	
Objašnjenje	

15. Šta će se dogoditi ako se gravitacija isključi u trenutku kada je klatno u amplitudnom položaju?	
Skica ili crtež	Odgovor
	a) Klatno će se zaustaviti. b) Klatno će nastaviti da osciluje ali brže. c) Klatno će nastaviti da osciluje ali sporije. d) Klatno će se kretati opisujući krug stalnom brzinom. e) Klatno će se kretati opisujući krug brzinom koja se smanjuje. f) Klatno će se kretati opisujući krug brzinom koja se povećava. g) Ništa se neće promeniti.
16. Obrazloži prethodni odgovor – zašto će se klatno kretati na taj način? Pokušaj da to uradiš što detaljnije.	
Objašnjenje	
17. Posmatraj šta bi se zaista desilo dok nastavnik pokazuje klatno u bestežinskom stanju. Koje bi odgovore sada izabrao /izabrala za odgovarajuća pitanja.	
Odgovor	
<ul style="list-style-type: none"> • Za 1. pitanje sada biram odgovor pod ____. • Za 3. pitanje sada biram odgovor pod ____. • Za 5. pitanje sada biram odgovor pod ____. 	
Obrazloženje	
18. Šta bi promenila/promenio u postojećoj demonstraciji? Šta bi tom promenom istraživao/istraživala?	
Odgovor:	

Прилог 11



ПОДАЦИ О ЧАСУ БР. 28

Наставна тема	2. КРЕТАЊЕ ТЕЛА ПОД ДЕЈСТВОМ СИЛЕ ТЕЖЕ. СИЛА ТРЕЊА
Наставна јединица	2.2. Убрзање при кретању тела под дејством силе теже. Галилејев оглед. Слободно падање тела, бестежинско стање
Тип часа	Утврђивање
Циљ часа	Разумевање кретања тела под дејством силе теже.
Образовни задаци	<p>Да ученик:</p> <ul style="list-style-type: none"> • стекне појам о гравитацији и разликује силу теже од тежине тела (бестежинско стање) • да зна да опише кретање под дејством силе теже (слободан пад)
Функционални задаци	<ul style="list-style-type: none"> • Повезивање теорије и праксе, примењљивост знања у тумачењу слободног падања тела и бестежинског стања • Развијање способности за активну примену знања и вештина кроз обнављање и повезивање знања у јасну целину
Васпитни задаци	<ul style="list-style-type: none"> • Изграђивање свести о свом знању и својим способностима • Навикавање на јавни наступ • Неговање толеранције • Неговање аналитичког и критичког мишљења
Кључни појмови	Гравитација, сила теже, тежина тела, слободано падање
Образовни стандарди	<p>Ученик/ца:</p> <p>ФИ.1.1.1. уме да препозна гравитациону силу и силу трења које делују на тела која мирују или се крећу равномерно</p> <p>ФИ.1.2.1. уме да препозна врсту кретања према облику путање</p> <p>ФИ.1.4.3. зна да користи основне јединице за дужину, масу, запремину, температуру и време</p> <p>ФИ.1.4.4. уме да препозна јединице за брзину</p> <p>ФИ.2.2.1. уме да препозна убрзано кретање</p> <p>ФИ.2.6.1. разуме и примењује основне математичке формулације односа и законитости у физици, нпр. директну и обрнуту пропорционалност</p> <p>ФИ.3.2.1. уме да примени односе између физичких величина које описују равномерно променљиво праволинијско кретање</p> <p>ФИ.3.4.1. уме да претвара јединице изведених физичких величина у одговарајуће јединице SI система</p>
Облици рада	Групни рад, рад у пару
Наставне методе	Дијалогска, илустрациона
Наставна средства	Постер, фломастери, тела за извођење огледа
Место извођења наставе	Кабинет физике
Корелација	Математика
Литература и додатни материјал за наставнике	<ul style="list-style-type: none"> • М. Радојевић, Физика 7 – уџбеник за седми разред основне школе, Издавачка кућа <i>Klett</i>, Београд, 2013. • М. Радојевић, Физика 7 – збирка задатака са лабораторијским вежбама за седми разред основне школе, Издавачка кућа <i>Klett</i>, Београд, 2013. • Љ. Нешић и С. Николић, <i>Физика 7 – приручник за наставнике</i>, Издавачка кућа <i>Klett</i>, Београд

Литература и додатни материјал за ученике	<ul style="list-style-type: none"> • М. Радојевић, Физика 7 – уџбеник за седми разред основне школе, Издавачка кућа <i>Klett</i>, Београд, 2013. • М. Радојевић, Физика 7 – збирка задатака са лабораторијским вежбама за седми разред основне школе, Издавачка кућа <i>Klett</i>, Београд, 2013. • М. Николов, <i>Физика 7 – интерактивна збирка задатака</i>, Издавачка кућа <i>Klett</i>, Београд
Напомене	



<p>Уводни део часа (10 минута)</p>	<p>Истицање циља часа.</p> <p>Објашњење начина рада: сваки члан групе може да презентује по једно решење и савет-дати предност члану групе са нижом оценом да презентује решење.</p> <p>Ученици су подељени у хетерогене групе и имају задатак да формирају ланац знања. (Прилог1) ИЛИ АСОЦИЈАЦИЈА УЗ ППТ</p>
<p>Главни део часа (25 минута)</p>	<p>На табли се налази хамер папир са нацртаним Кривим торњем у Пизи и залепљеним квадратима папира са огледима, питањима и задацима. Решавањем истих, ученици враћају папире на хамер папир. Тако настаје постер о слободном падању</p> <p>Ученици у оквиру групе пролазе кроз следеће активности:</p> <p>Огледи- Доказати да:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Тежа тела брже падају; 2. Тела исте тежине (различног облика) падају на различите начине; 3. Тела различите тежине падају истовремено; 4. Тела различите тежине, истог облика падају истовремено; 5. Када тела слободно падају „губе“ своју тежину. <p>Савка група изводи-презентује свој оглед којом је доказала дату претоставку.</p> <p>Питања- Свака група украко одговара на једно од следећих питања:</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. Шта је Галилеј доказао својим огледом? 7. Чему служи Њутнова цев? 8. Како је то кретање слободно падање –(равномерно убрзано праволинијско кретање са убрзањем g). Како израчунавамо брзину и пређени пут код слободног падања? 9. Како се дефинише тежина тела, чиме се мери и како се израчунава <p>Да ли је тежина тела свуда иста?</p> <ol style="list-style-type: none"> 10. Разлика између силе теже и тежине тела, бетежинско стање. <p>Савка група лепи свој папир са кратким одговором на хамер папир и презентује.</p> <p>Задатак: Свака група ради по једну ставку из задатка:</p> <p>На интернету можете пронаћи информацију: Висина Кривог торња у Пизи, од тла до врха ниже стране је 55,86 метара, а од тла до врха више стране је 56,7 метара. Да ли је следећи задатак исправно постављен? Ако са терасе Кривог торња у Пизи тело масе 5 kg, пустимо да слободно пада, и оно пада 3 секунде.</p> <ol style="list-style-type: none"> 11. На којој висини се налазила та тераса? 12. Колика је брзина тела у тренутку удара о тле? 13. Нацртати график брзине кретања тог тела 14. Колика је тежина тог тела? 15. Колика би била тог тела на Месецу? <p>Савка група приказује лепи свој папир са решењем дела задатка на хамер папир и презентује.</p> <p>Добили смо постер о Слободном падању или ОТВОРИЛИ МОЗАИК БОДОВАЊЕ АКТИВНОСТИ *** Физика Цепарди</p>
<p>Завршни део часа (10 минута)</p>	<p>Мапа ума-слободно падање</p> <p>Домаћи задатак: Ученици имају задатак да напишу кратак есеј о слободном падању.</p> <p>На изласку из учионице означавају тачку на мети изражавајући на тај начин мишљење о самом часу.</p>

Прилог 12

Питања и искази за процену креативности у одговорима ученика.

Аспект	Питање	Исказ
Оригиналност	<p>Да ли решење које ученик предлаже представља нов приступ или необичну идеју?</p> <p>Да ли постоји новина која није била предложена од других ученика или се не среће често у литератури?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Решење је јединствено и оригинално. • Решење садржи нове елементе, али је засновано на већ познатом експерименту. • Решење укључује већ постојеће идеје или није наведено.
Применљивост	<p>Да ли је предложено решење изводљиво у учионици или код куће?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Решење је у потпуности применљиво у стварним ситуацијама. • Решење подразумева неке кораке који нису изводљиви. • Решење није применљиво у практичним условима или није наведено.
Детаљност	<p>Да ли су сви кораци, ресурси и потребни елементи јасно наведени?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ученик је пружио свеобухватно и прецизно објашњење свог решења. • Ресурси нису у потпуности наведени; кораци нису у потпуности објашњени. • Ученик није навео кораке тако да буде јасно како се његов предлог може реализовати.
Иновативност	<p>Да ли одговор отвара могућност модификације постојећег експеримента?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ученик је предложио унапређење постојећег експеримента. • Ученик је предложио малу модификацију примењеног експеримента. • Ученик није модификовао постојећи експеримент или није изнео предлог.

Прилог 13

Списак акредитованих уџбеника физике

Лукић, Татјана Мишић
650-02-00320/2019-07 од 8.11.2019.

Основна школа - 6. разред:

1. ЛП „ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ”
Физика са збирком задатака,
лабораторијским вежбама и
тестовима
Милан О. Распоповић
650-02-00351/2018-07 од 13.12.2019.
2. ЛП „ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ”
Уџбеник за шести разред
Дарко Капор, Јован Шетрајчић
650-02-00370/2018-07 од 21.1.2019.
3. ЛП „ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ”
Физика, збирка задатака са
лабораторијским вежбама
Бранислав Цветковић, Јован
Шетрајчић, Милан Распоповић
650-02-00369/2018-07 од 31.1.2019.
4. „САЗНАЊЕ”
Практикум физика 6, збирка задатака
и експерименталних вежби
Уџбенички комплет
Физика 6, Мићо М. Митровић
Уџбеник за шести разред
650-02-00114/2019-07 од 10.5.2019.
6. „КЛЕТТ”
Физика 6, збирка задатака са
лабораторијским вежбама
Марина Радојевић
650-02-00104/2019-07 од 20.5.2019.
7. „ВУЛКАН ИЗДАВАШТВО”
Физика 6, збирка задатака са
лабораторијским вежбама
Љубиша Нешић, Марина Најдановић
Лукић, Татјана Мишић
650-02-00054/2019-07 од 21.5.2019.
8. „ЕДУКА”
Уџбеник са збирком задатака и
приручником за лабораторијске вежбе
Нада Станчић
650-02-00037/2019-07 од 21.5.2019.
9. „БИГЗ школство”
Физика 6, уџбеник и збирка задатака
Катарина Стевановић, Марија Крнета
650-02-00063/2019-07 од 21.5.2019.
10. „НОВИ ЛОГОС”
Физика 6, уџбеник са збирком
задатака
Александар Кандић, Горан Попарић
650-02-00108/2019-07 од 21.5.2019.
11. „ВУЛКАН ИЗДАВАШТВО”
Физика 6, уџбенички комплет у
дигиталном облику
Љубиша Нешић, Марина Најдановић

Основна школа - 7. разред:

1. „ЕДУКА”
Физика, уџбеник са збирком задатака
и приручником за лабораторијске
вежбе
Нада Станчић
650-02-00485/2019-07 од 17.1.2020.
2. „ВУЛКАН ИЗДАВАШТВО”
Физика 7, уџбеник и збирка задатака
Марина Најдановић Лукић, Татјана
Мишић, Љубиша Нешић
650-02-00411/2019-07 од 17.1.2020.
3. ЛП „ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ”
Физика 7, уџбеник и збирка задатака
Јован Шетрајчић, Дарко Капор
650-02-00389/2019-07 од 17.1.2020.
4. „САЗНАЊЕ”
Практикум Физика 7, збирка задатака
и експерименталних вежби
Мићо М. Митровић
650-02-00583/2019-07 од 4.2.2020.
5. „КЛЕТТ”
Физика 7, збирка задатака са
лабораторијским вежбама
Марина Радојевић
650-02-00462/2019-07 од 4.2.2020.
6. „НОВИ ЛОГОС”
Физика 7, уџбеник и збирка задатака
Милена Богдановић, Александар
Кандић, Горан Попарић
650-02-00578/2019-07 од 5.2.2020.
7. „БИГЗ школство”
Физика 7, уџбеник и збирка задатака
Катарина Стевановић, Марија Крнета
650-02-00598/2019-07 од 24.2.2020.
8. „КРУГ”
Физика 7, уџбенички комплет
Наташа Чалуковић
650-02-00092/2020-07 од 25.8.2020.
9. „ГЕРУНДИЈУМ”
Откривамо физику 7, уџбенички
комплет
Душко Латас, Ангун Балаж
650-02-00372/2020-07 од 11.1.2021.

Гимназија:

1. ЛП „ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ”
Физика за гимназије
Милан Распоповић
650-02-3043/03 од 17.11.2003.

Прилози

2. ЛП „ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ”
Збирка задатака из физике са лабораторијским вежбама
Милан Распоповић, Бранислав Цветковић
650-02-16/2006-06 од 9.6.2006.
3. ЛП „ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ”
Физика за четворогодишње стручне школе
Татјана Бобић, Милан Распоповић
650-02-280/2008-06 од 21.7.2008.
4. „КРУГ”
Физика 1, збирка задатака и тестова
за први разред гимназије
Наташа Чалуковић
650-02-00374/2010-06 од 21.9.2010.
5. „НОВИ ЛОГОС”
Физика 1, уџбеник за први разред гимназије
Милена Богдановић, Горан Попарић
650-02-235/2019-03 од 8.7.2019.
6. „КРУГ”
Физика 4, збирка задатака за четврти разред гимназије
Наташа Чалуковић
650-02-35/2022-03 од 16.5.2022.

Литература

- [1] Q. Nguyen and D. Dung, "Some measures for creating creative capacity for students in teaching physics in high school," *Journal of Physical Science and Application*, vol. 12, no. 1, pp. 21–29, 2022. <https://doi.org/10.17265/2159-5348/2022.01.004>
- [2] G. S. Wier, "What Life Means to Einstein: An Interview by George Sylvester Viereck," *The Saturday Evening Post*, Oct. 26, 1929.
- [3] R. K. Sawyer, *Explaining Creativity: The Science of Human Innovation*. Oxford University Press, 2006.
- [4] P. C. Blumenfeld, E. Soloway, R. W. Marx, J. S. Krajcik, M. Guzdial, and A. Palincsar, "Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning," *Educational Psychologist*, vol. 26, no. 3–4, pp. 369–398, 1991.
- [5] „Правилник о програму наставе и учења за шести разред основног образовања и васпитања," Службени гласник Републике Србије - Просветни гласник, бр. 15/2018.
- [6] „Правилник о програму наставе и учења за седми разред основног образовања и васпитања," Службени гласник Републике Србије - Просветни гласник, бр. 5/2019.
- [7] „Правилник о плану и програму наставе и учења за гимназију," Службени гласник Републике Србије - Просветни гласник, бр. 4/2020.
- [8] W. Hu and P. Adey, "A scientific creativity test for secondary school students," *International Journal of Science Education*, vol. 24, no. 4, pp. 389–403, 2002.
- [9] L. Cohen, L. Manion, and K. Morrison, *Research Methods in Education*, 6th ed. Routledge, 2007.
- [10] S. S. Shapiro and M. B. Wilk, "An analysis of variance test for normality (complete samples)," *Biometrika*, vol. 52, no. 3/4, pp. 591–611, 1965.
- [11] W. H. Kruskal and W. A. Wallis, "Use of ranks in one-criterion variance analysis," *Journal of the American Statistical Association*, vol. 47, pp. 583–621, 1952. <https://doi.org/10.2307/2280779>
- [12] I. Krulj and J. Sliško, "Absence of buoyant force in free fall: A magnetic demonstration," *The Physics Teacher*, vol. 61, p. 312, 2023.
- [13] I. Krulj and J. Sliško, "A new bubble-based demonstration of free-fall weightlessness," *The Physics Teacher*, vol. 62, no. 1, pp. 68–69, 2024.
- [14] I. Krulj and J. Sliško, "Absence of Hydrostatic Pressure in Free-Falling Mercury," *The Physics Teacher*, vol. 62, no. 9, pp. 750–753, 2024.

- [15] J. Locke, *An Essay Concerning Human Understanding*. London: T. Basset, 1689.
- [16] D. Hume, *An Enquiry Concerning Human Understanding*. A. Millar, 1748.
- [17] R. Descartes, *Meditationes de prima philosophia*. Paris: Michel de Soly, 1641.
- [18] G. W. Leibniz, *Monadologie*. Frankfurt: Voss, 1714.
- [19] I. Kant, *Kritika čistoga uma*, 3rd ed. Beograd: Dereta, 2019.
- [20] A. Comte, *Cours de philosophie positive*. Paris: Bachelier, 1830–1842.
- [21] R. Carnap, *Der logische Aufbau der Welt*. Berlin: Weltkreis, 1928.
- [22] R. Carnap, *Logische Syntax der Sprache*. Springer, 1936.
- [23] K. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson, 1959.
- [24] B. Van Fraassen, *The Scientific Image*. Clarendon Press, 1980.
- [25] N. Cartwright, *How the Laws of Physics Lie*. Oxford University Press, 1983.
- [26] I. Lakatos, "Falsification and the methodology of scientific research programmes," in *Criticism and the Growth of Knowledge*, I. Lakatos and A. Musgrave, Eds. Cambridge University Press, 1970, pp. 91–196.
- [27] T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, 1962.
- [28] P. Feyerabend, *Against Method*. New Left Books, 1975.
- [29] R. K. Merton, *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*. University of Chicago Press, 1973.
- [30] T. F. Gieryn, "Boundary-work and the demarcation of science from non-science," *American Sociological Review*, vol. 48, no. 6, pp. 781–795, 1983.
- [31] B. Latour and S. Woolgar, *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton University Press, 1979. <https://doi.org/10.2307/j.ctt32bbxc>
- [32] C. Lévi-Strauss, *Structural Anthropology*. Basic Books, 1958.
- [33] M. Foucault, *The Archaeology of Knowledge*. Tavistock, 1972.
- [34] E. Husserl, *Ideas Pertaining to a Pure Phenomenology and to a Phenomenological Philosophy*. Martinus Nijhoff, 1913.
- [35] J. Piaget, *The Psychology of Intelligence*. Routledge, 1950.
- [36] R. Driver, H. Asoko, J. Leach, E. Mortimer, and P. Scott, "Constructing scientific knowledge in the classroom," *Educational Researcher*, vol. 23, no. 7, pp. 5–12, 1994.
- [37] A. Bandura, *Social Foundations of Thought and Action: A Socio-Cognitive Theory*. Prentice-Hall, 1986.
- [38] J. S. Bruner, *The Process of Education*. Harvard University Press, 1960.

- [39] S. Papert, *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. Basic Books, Inc., 1980.
- [40] Engeström Y. *Learning by Expanding: An Activity-Theoretical Approach to Developmental Research*. 2nd ed. Cambridge University Press; 2014.
- [41] R. C. Schank, *Tell Me a Story: Narrative and Intelligence (Rethinking Theory)*. Northwestern University Press, 1995.
- [42] D. H. Jonassen, "Designing constructivist learning environments," in *Instructional-Design Theories and Models: A New Paradigm of Instructional Theory*, C. M. Reigeluth, Ed., vol. II, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1999, pp. 215–239.
- [43] G. Siemens, "Connectivism: A learning theory for the digital age," *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, vol. 2, 2004.
- [44] S. Downes, "Learning networks and connective knowledge," *Instructional Technology Forum*, vol. 97, 2007.
- [45] J. Piaget, *The Origins of Intelligence in Children*, M. Cook, Trans. W. W. Norton & Co., 1952. <https://doi.org/10.1037/11494-000>
- [46] L. S. Vygotsky, *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.
- [47] E. von Glasersfeld, "Cognition, construction of knowledge, and teaching," *Synthese*, vol. 80, pp. 121–140, 1989. <https://doi.org/10.1007/BF00869951>
- [48] D. H. Jonassen and S. M. Land, Eds., *Theoretical Foundations of Learning Environments*. Routledge, 2012.
- [49] National Research Council, *How Students Learn: Science in the Classroom*. Washington, DC: The National Academies Press, 2005. <https://doi.org/10.17226/11102>
- [50] D. W. Johnson and R. T. Johnson, *Learning Together and Alone: Cooperative, Competitive, and Individualistic Learning*. Allyn & Bacon, 1999.
- [51] H. D. Brown, *Principles of Language Learning and Teaching*, 5th ed. Pearson Education, 2007.
- [52] D. H. Jonassen, "Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm?" *Educational Technology Research and Development*, vol. 39, no. 3, pp. 5–14, 1991.
- [53] G. Vettori, C. Vezzani, L. Bigozzi, and G. Pinto, "The mediating role of conceptions of learning in the relationship between metacognitive skills/strategies and academic outcomes among middle-school students," *Frontiers in Psychology*, vol. 9, Article 1985, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01985>

- [54] E. M. Furtak, T. Seidel, H. Iverson, and D. C. Briggs, "Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching: A meta-analysis," *Review of Educational Research*, vol. 82, no. 3, pp. 300–329, 2012. <https://doi.org/10.3102/0034654312457206>
- [55] C. E. Hmelo-Silver, "Problem-based learning: What and how do students learn?" *Educational Psychology Review*, vol. 16, no. 3, pp. 235–266, 2004.
- [56] D. W. Johnson and R. T. Johnson, "An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning," *Educational Researcher*, vol. 38, no. 5, pp. 365–379, 2009. <https://doi.org/10.3102/0013189X09339057>
- [57] J. Lave and E. Wenger, *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press, 1991. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815355>
- [58] E. Mazur, *Peer Instruction: A User's Manual*. Prentice Hall, 1997.
- [59] R. K. Thornton and D. R. Sokoloff, "Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula," *American Journal of Physics*, vol. 66, no. 4, pp. 338–352, 1998. <https://doi.org/10.1119/1.18863>
- [60] M. T. H. Chi and K. A. VanLehn, "Seeing deep structure from the interactions of surface features," *Educational Psychologist*, vol. 47, no. 3, pp. 177–188, 2012. <https://doi.org/10.1080/00461520.2012.695709>
- [61] P. A. Kirschner, J. Sweller, and R. E. Clark, "Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching," *Educational Psychologist*, vol. 41, no. 2, pp. 75–86, 2006. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- [62] Y. J. Dori and J. Belcher, "How does technology-enabled active learning affect undergraduate students' understanding of electromagnetism concepts?" *Journal of the Learning Sciences*, vol. 14, no. 2, pp. 243–279, 2005. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402_3
- [63] A. Zohar and Y. J. Dori, "Higher order thinking skills and low-achieving students: Are they mutually exclusive?" *Journal of the Learning Sciences*, vol. 12, no. 2, pp. 145–181, 2003. https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1202_1
- [64] O. Miadi *et al.*, "Physics education technology," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1108, p. 012059, 2018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1108/1/012059>
- [65] O. Pranata, "Physics education technology (PhET) as confirmatory tools in learning physics," *Jurnal Riset Fisika Edukasi dan Sains*, vol. 10, no. 1, pp. 29–35, 2023. <https://doi.org/10.22202/jrfes.2023.v10i1.6815>
- [66] A. S. Adam, T. A. Ansyah, W. Rohmawati, P. Parno, and E. Purwaningsih, "Natural science visual model videos for online learning: Effect on students' achievement in constructivist approach," *Studies in Learning and Teaching*, vol. 2, no. 1, pp. 52–58, 2021.

- [67] G. P. Karvasz and K. Wyborska, "How constructivist environment changes perception of learning: Physics is fun," *Education Sciences*, vol. 13, no. 2, p. 195, 2023. <https://doi.org/10.3390/educsci13020195>
- [68] M. Calalb, "The constructivist principle of learning by being in physics teaching," *Athens Journal of Education*, vol. 10, no. 1, pp. 139–152, 2023. <https://doi.org/10.30958/aje.10-1-8>
- [69] Y. Nurpatri, D. Muliani, and E. S. Indrawati, "Implementation of constructivism approach in physics learning on students' critical thinking ability of junior high school students," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1876, no. 1, p. 012068, 2021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1876/1/012068>
- [70] A. Ameer and M. Y. Mohmed, "The effectiveness of a proposed strategy in the light of the constructivist theory in the achievement and positive thinking of fourth-grade students in science in physics," *International Journal of Humanities and Educational Research*, vol. 4, no. 1, 2022. <https://doi.org/10.47832/2757-5403.13.22>
- [71] R. R. Hake, "Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses," *American Journal of Physics*, vol. 66, no. 1, pp. 64–74, 1998. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- [72] R. White and R. Gunstone, *Probing Understanding*, 1st ed. Routledge, 1992. <https://doi.org/10.4324/9780203761342>
- [73] A. Tiberghien, "Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy," in *Research in Science Education in Europe*, Routledge, 1996.
- [74] D. C. Phillips, "The good, the bad, and the ugly: The many faces of constructivism," *Educational Researcher*, vol. 24, no. 7, pp. 5–12, 1995. <https://doi.org/10.3102/0013189X024007005>
- [75] C. E. Hmelo-Silver, R. G. Duncan, and C. A. Chinn, "Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006)," *Educational Psychologist*, vol. 42, no. 2, pp. 99–107, 2007. <https://doi.org/10.1080/00461520701263368>
- [76] D. Kuhn, "Is direct instruction an answer to the right question?" *Educational Psychologist*, vol. 42, no. 2, pp. 109–113, 2007.
- [77] R. E. Mayer, "Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning?" *American Psychologist*, vol. 59, no. 1, pp. 14–19, 2004. <https://doi.org/10.1037/0003-066x.59.1.14>
- [78] S. Tobias and T. M. Duffy, *Constructivist Instruction: Success or Failure?* Taylor & Francis Group, 2009.
- [79] R. C. Clark and R. E. Mayer, *e-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning*. Wiley, 2016.

- [80] B. Robin and L. Peng, "Educator challenges in the development and delivery of constructivist active and experiential entrepreneurship classrooms in Chinese vocational higher education," *Journal of Small Business and Enterprise Development*, vol. 26, no. 2, pp. 209–227, 2019. <https://doi.org/10.1108/JSBED-01-2018-0025>
- [81] Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5(9), 444–454. <https://doi.org/10.1037/h0063487>
- [82] Torrance, E. P. (1966). *The Torrance Tests of Creative Thinking – Norms-Technical Manual Research Edition – Verbal Tests, Forms A and B – Figural Tests, Forms A and B*. Princeton NJ: Personnel Press.
- [83] Amabile, T. M. (1983). The social psychology of creativity: A componential conceptualization. *Journal of Personality and Social Psychology*, 45(2), 357–376. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.45.2.357>
- [84] Csikszentmihalyi, M. (1996). *Creativity: Flow and the Psychology of Discovery and Invention*. New York: Harper Collins.
- [85] Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1999). The concept of creativity: Prospects and paradigms. In R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of creativity* (pp. 3–15). Cambridge University Press.
- [86] Jonassen, D. H., & Grabowski, B. L. (2012). *Handbook of individual differences, learning, and instruction*. New York: Routledge.
- [87] Almeida, L. S., Prieto, M. D., Ferrando, M., Oliveira, E., & Ferrándiz, C. (2008). Torrance Test of Creative Thinking: The question of its construct validity. *Thinking Skills and Creativity*, 3(1), 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2008.03.003>
- [88] Kim, K. H. (2006). Can we trust creativity tests? A review of the Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT). *Creativity Research Journal*, 18(1), 3–14. https://doi.org/10.1207/s15326934crj1801_2
- [89] Jellen, H. G., & Urban, K. K. (1986). Test for Creative Thinking--Drawing Production (TCT-DP, TSD-Z) [Database record]. APA PsycTests.
- [90] Amabile, T. M., & Pillemer, J. (2012). Perspectives on the social psychology of creativity. *The Journal of Creative Behavior*, 46(1), 3–15. <https://doi.org/10.1002/jocb.001>
- [91] R. J. Sternberg, *Beyond IQ: A Triarchic Theory of Human Intelligence*. Cambridge University Press, 1985.
- [92] R. J. Sternberg, Ed., *Handbook of Creativity*. Cambridge University Press, 1999.
- [93] D. J. Shernoff, M. Csikszentmihalyi, B. Schneider, and E. S. Shernoff, "Student engagement in high school classrooms from the perspective of flow theory," *School Psychology Quarterly*, vol. 18, no. 2, pp. 158–176, 2003.
- [94] S. Marginson and T. Dang, "Vygotsky's sociocultural theory in the context of globalization," *Asia Pacific Journal of Education*, vol. 37, no. 2, pp. 116–129, 2017.

- [95] R. Maidin, "Vygotsky sociocultural approach in early childhood education," *International Journal of Modern Education*, vol. 2, no. 6, pp. 42–58, 2020.
- [96] B. Nagy, I. Czigler, P. Csizmadia, D. File, N. Fáy, and Z. A. Gaál, "Investigating the involvement of cognitive control processes in innovative and adaptive creativity and their age-related changes," *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 17, Article 1033508, 2023.
- [97] S. Motevalli, M. S. Sahandri, G. Hamzah, M. Tresa, and A. Michael, "Attention, perception, memory, and creativity: Understanding the impact of culture and their diversity in cognitive processes," *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, vol. 10, no. 3, pp. 975–992, 2021. <https://doi.org/10.6007/IJARPED/v10-i3/11006>
- [98] R. Reiter-Palmon and S. Leone, "Facilitating creativity in interdisciplinary design teams using cognitive processes: A review," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 233, 2018. <https://doi.org/10.1177/0954406217753236>
- [99] J. C. Kaufman, V. P. Glăveanu, and J. Baer, Eds., *The Cambridge Handbook of Creativity Across Domains*. Cambridge University Press, 2017.
- [100] M. Wertheimer, *Productive Thinking*, Enlarged ed., edited by M. Wertheimer. Harper & Row, 1959.
- [101] A. Maslow, *Motivation and Personality*. Harper & Row, 1970.
- [102] Algiranto *et al.*, "The development of students worksheet based on Predict, Observe, Explain (POE) to improve students' science process skill in SMA Muhammadiyah Imogiri," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1153, p. 012148, 2019.
- [103] C. W. Liew and D. F. Treagust, "The effectiveness of predict-observe-explain tasks in diagnosing students' understanding of science and in identifying their levels of achievement," /, 2012.
- [104] F. Aulia, Y. Rahmat, S. Suyidno, and F. Fahmi, "Development of predict-observe-explain (POE) based authentic problems' instructional package to improve students' critical thinking skills," *Jurnal Pendidikan Matematika dan IPA*, vol. 14, no. 1, p. 69, 2023.
- [105] E. Etkina, S. Murthy, and D. Zollman, "Investigative Science Learning Environment (ISLE) in teaching physics," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1882, no. 1, p. 012001, 2021.
- [106] E. Etkina, D. T. Brookes, and G. Planinsic, *Investigative Science Learning Environment: When Learning Physics Mirrors Doing Physics*. Morgan & Claypool Publishers, 2019.
- [107] D. C. Ernst, A. Hodge, and S. Yoshinobu, "What is inquiry-based learning," *Notices of the AMS*, vol. 64, no. 6, pp. 570–574, 2017.

Литература

- [108] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), *PISA 2022 Results (Volume III): Creative Minds, Creative Schools*. OECD Publishing, 2023.
- [109] R. S. Nickerson, "How to discourage creative thinking in the classroom," in *Nurturing Creativity in the Classroom*, R. A. Beghetto and J. C. Kaufman, Eds. Cambridge University Press, 2010, pp. 1–5.
- [110] J. W. Getzels and M. Csikszentmihalyi, *The Creative Vision: A Longitudinal Study of Problem Finding in Art*. Wiley, 1976.
- [111] A. Koestler, *The Act of Creation*. Macmillan, 1964.
- [112] M. A. Runco, *Problem Finding, Problem Solving, and Creativity*. Ablex Publishing, 1994.
- [113] S. Z. Beers, *21st Century Skills: Preparing Students for THEIR Future*. 2011.
- [114] D. H. Jonassen, *Learning to Solve Problems: A Handbook for Designing Problem-Solving Learning Environments*. Routledge, 2011.
- [115] E. P. Torrance, *Torrance Tests of Creative Thinking*. Lexington, Mass: Ginn and Co., 1974.
- [116] C. S. Dweck, *Mindset: The New Psychology of Success*. Random House, 2006.
- [117] K. Robinson, *Out of Our Minds: Learning to Be Creative*. John Wiley & Sons, 2011.
- [118] L. Elder and R. Paul, *Critical Thinking: Tools for Taking Charge of Your Learning and Your Life*. Rowman & Littlefield, 2020.
- [119] М. Радојевић, *Физика, уџбеник за 7. разред*. Klett, 2020.
- [120] F. W. Sears and M. W. Zemansky, *University Physics*. New York, NY: Addison Wesley, 1882.
- [121] H. D. Young and R. A. Freedman, *University Physics*, pp. 388–390. New York, NY: Pearson, Addison Wesley, 2008.
- [122] R. Knight, *Physics for Scientists and Engineers*, pp. 131–132. Boston, MA: Pearson, 2004.
- [123] J. Orear, *Fundamental Physics*, p. 82. New York, NY: Wiley, 1967.
- [124] J. B. Marion and W. F. Hornyack, *Physics for Science and Engineering*. New York, NY: Saunders, 1982.
- [125] P. G. Hewitt, *Conceptual Physics*, 9th ed., p. 160. San Francisco, CA: Addison Wesley, 2002.
- [126] NASA, *Microgravity Teacher's Guide*, Apr. 12, 2024. https://www.nasa.gov/pdf/62474main_Microgravity_Teachers_Guide.pdf

- [127] I. Galili, "Weight versus gravitational force: Historical and educational perspectives," *International Journal of Science Education*, vol. 23, no. 10, pp. 1073–1093, 2001. <https://doi.org/10.1080/09500690110038585>
- [128] Z. Gurel and H. Acar, "Research into students' views about basic physics principles in a weightless environment," *The Astronomy Education Review*, vol. 2, no. 1, pp. 65–81, 2003.
- [129] M. D. Sharma, R. M. Millar, A. Smith, and I. M. Sefton, "Students' understandings of gravity in an orbiting space-ship," *Research in Science Education*, vol. 34, no. 3, pp. 267–289, 2004.
- [130] I. Galili and Y. Lehavi, "The importance of weightlessness and tides in teaching gravitation," *American Journal of Physics*, vol. 71, no. 11, pp. 1127–1135, 2003.
- [131] K. Fusa and G. Henzold, *Fizika za školu i samouke* (Drugo, po 15. i 16. popravlj. nemačkom, prerađ. i prošireno izd., S. Marković & J. Goldberg, Prir.), 1926.
- [132] R. A. Serway, *Physics for Scientists & Engineers, with Modern Physics*. Saunders College Pub., 1996.
- [133] *Résolution de la 3e CGPM, "D'éclaration relative a l'unit'e de masse et a la d'efinition du poids; valeur conventionnelle de gn," Comptes rendus de la 3e CGPM*, p. 70, 1901.
- [134] D. J. Grayson, "Conceptual change in physics: Research-based reform of introductory physics," *Physics Today*, vol. 57, no. 8, pp. 45–50, 2004.
- [135] Н. П. Калашников and М. А. Смондырев, *Основы физики*. Москва: Дрофа, 2001.
- [136] Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, and Н. Н. Сотский, *Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений: базовый и профил. уровни*. Москва: Просвещение, 2010.
- [137] Б. М. Яворский and А. А. Пинский, *Курс общей физики*. Москва: Наука, 2001.
- [138] L. Wong, "Teaching definitions of weight: A philosophical perspective," Nanyang Technological University, 2013.
- [139] J. Figueiredo, "Advantages of adopting the operational definition of weight," *Physics Education*, vol. 40, no. 5, pp. 429–432, 2005.
- [140] Љ. Нешић, М. Најдановић Лукић, and Т. Мишић, *Физика: Уџбеник за шести разред основне школе*. ВУЛКАН ИЗДАВАШТВО, 2019.
- [141] А. Кандић and Г. Попарић, *Физика б: Уџбеник са збирком задатака и лабораторијским вежбама за шести разред основне школе*. Нови Логос, 2019.
- [142] Н. Станчић, *Физика: Уџбеник са збирком задатака и приручником за лабораторијске вежбе за седми разред основне школе*. Едука, 2020.

Литература

- [143] М. Богдановић, А. Кандић, and Г. Попарић, *Физика 7, уџбеник за седми разред основне школе*. Нови Логос, 2020.
- [144] К. Стевановић and М. Крнета, *Физика 6: Уџбеник и збирка задатака*. БИГЗ школство, 2019. (650-02-00063/2019-07 од 21.5.2019).
- [145] R. Taibu, "Terms vs. concepts – The case of weight," *Physics Teacher*, vol. 55, pp. 312–315, 2017. <https://doi.org/10.1119/1.4972495>
- [146] R. Brown, "Weight—don't use the word at all," *The Physics Teacher*, vol. 37, no. 4, p. 241, 1999.
- [147] Ј. Раденковић, *Настава уводног курса механике у средњој школи и на факултету – искуства и начини за њено унапређење* (Докторска дисертација), Природно-математички факултет, Универзитет у Нишу, Србија, 2020.
- [148] L. Radenković and Lj. Nešić, "Ground reaction force in rigid body dynamics," in *Conference Proceedings CSPM 2018*, Ohrid, 2018, pp. 89–93.
- [149] G. Stables, "Weight, g, and weightlessness," *Physics Education*, vol. 8, no. 1, pp. 61–62, 1973.
- [150] K. Taylor, "Weight and centrifugal force," *Physics Education*, vol. 9, no. 5, pp. 357–360, 1974.
- [151] M. Iona, "The meaning of weight," *The Physics Teacher*, vol. 13, no. 5, pp. 263–274, 1975.
- [152] M. Iona, "Weightlessness is real," *The Physics Teacher*, vol. 25, no. 7, pp. 418–421, 1987.
- [153] M. Iona, "Weightlessness and microgravity," *The Physics Teacher*, vol. 26, no. 2, pp. 72–75, 1988.
- [154] M. Iona, "Mysterious usage of 'Weight'," *Announcer AAPT*, vol. 21, no. 4, p. 43, 1991.
- [155] H. Goldstein, C. P. Poole, and J. L. Safko, *Classical Mechanics*. Addison-Wesley, 2002.
- [156] J. B. Hartle, *Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity*. Addison-Wesley, 2003.
- [157] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, *Fundamentals of Physics*, 6th ed. New York: Wiley, 2001.
- [158] J. Baluković, *Učeničke spoznaje pojava u gravitacionom polju i tumačenje rezultata tih spoznaja implementacijom aktivnog učenja u nastavi fizike u osnovnim i srednjim školama*, doktorska disertacija, Univerzitet u Sarajevu, Bosna i Hercegovina, 2019.
- [159] A. Pais, *Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. New York: Oxford University Press, 1982.

- [160] A. Einstein and L. Infeld, *The Evolution of Physics: The Growth of Ideas from Early Concepts to Relativity and Quanta*. Cambridge University Press, 1961.
- [161] C. W. Misner, K. S. Thorne, and J. A. Wheeler, *Gravitation*. Princeton University Press, 1973.
- [162] S. Schlamminger, K.-Y. Choi, T. A. Wagner, J. H. Gundlach, and E. G. Adelberger, "Test of the equivalence principle using a rotating torsion balance," *Physical Review Letters*, vol. 100, no. 4, p. 041101, 2008. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.100.041101>
- [163] R. F. C. Vessot *et al.*, "Test of relativistic gravitation with a space-borne hydrogen maser," *Physical Review Letters*, vol. 45, no. 26, pp. 2081–2084, 1980. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.45.2081>
- [164] S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*. New York: John Wiley & Sons, 1972.
- [165] A. Einstein, "The foundation of the general theory of relativity," *Annalen der Physik*, vol. 49, no. 7, pp. 1–62, 1916.
- [166] M. P. Hobson, G. P. Efstathiou, and A. N. Lasenby, *General Relativity: An Introduction for Physicists*, pp. 176–195. Cambridge University Press, 2006.
- [167] D. R. Thompson and M. A. Huntley, "Researching the enacted mathematics curriculum: Learning from various perspectives on enactment," *ZDM Mathematics Education*, vol. 46, pp. 701–704, 2014.
- [168] G. A. Valverde, L. J. Bianchi, R. G. Wolfe, W. H. Schmidt, and R. T. Houang, *According to the Book*. Springer, 2002.
- [169] *Zakon o osnovama sistema obrazovanja i vaspitanja*, „Sl. glasnik RS“, br. 88/2017, 27/2018 - dr. zakon, 10/2019, 27/2018 - dr. zakon, 6/2020, 129/2021 i 92/2023.
- [170] European Commission, *Key Competences for Lifelong Learning – European Reference Framework*. Publications Office of the European Union, 2018. <https://doi.org/10.2766/291008>
- [171] *Правилник о програму наставе и учења за осми разред основног образовања и васпитања*, „Сл. Гласник РС“ - Просветни гласник „, број 11/2019.
- [172] Министарство просвете, науке и технолошког развоја, "Уџбеници," prosveta.gov.rs. <https://prosveta.gov.rs/prosveta/udzbenici/>
- [173] М. М. Митровић, *Физика 7, уџбеник за седми разред основне школе*. Сазнање, 2020.
- [174] М. Најдановић Лукић, Т. Мишић, and Љ. Нешић, *Физика 7, уџбеник за седми разред основне школе*. ВУЛКАН ИЗДАВАШТВО, 2020.

Литература

- [175] М. Богдановић and Г. Попарић, *Физика - за први разред гимназије*. Нови Логос, 2019.
- [176] Љ. Ристовски, *Физика 1: Уџбеник за први разред гимназије*. Klett, 2015.
- [177] H. Lee and J. R. Anderson, "Student learning: What has instruction got to do with it?" *Annual Review of Psychology*, vol. 64, no. 1, pp. 445–469, 2013.
- [178] R. E. Slavin, *Educational Psychology: Theory and Practice*. Pearson Education, Inc., 2018.
- [179] P. A. Ertmer, "Addressing first- and second-order barriers to change: Strategies for technology integration," *Educational Technology Research and Development*, vol. 47, no. 4, pp. 47–61, 1999.
- [180] K. F. Hew and T. Brush, "Integrating technology into K-12 teaching and learning: Current knowledge gaps and recommendations for future research," *Educational Technology Research and Development*, vol. 55, no. 3, pp. 223–252, 2007.
- [181] D. Hestenes, M. Wells, and G. Swackhamer, "Force Concept Inventory," *The Physics Teacher*, vol. 30, no. 3, pp. 141–158, 1992. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- [182] G. J. Posner, K. A. Strike, P. W. Hewson, and W. A. Gertzog, "Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change," *Science Education*, vol. 66, no. 2, pp. 211–227, 1982. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- [183] M. Schneider and I. Hardy, "Profiles of inconsistent knowledge in children's pathways of conceptual change," *Developmental Psychology*, vol. 49, no. 9, pp. 1639–1652, 2013. <https://doi.org/10.1037/a0030976>
- [184] I. Galili, "Interpretation of students' understanding of the concept of weightlessness," *Research in Science Education*, vol. 25, no. 1, pp. 51–74, 1995. <https://doi.org/10.1007/BF02356460>
- [185] H. Kruglak, "Demonstrations of weightlessness," *American Journal of Physics*, vol. 30, p. 929, 1962.
- [186] H. Kruglak, "Apparatus for teaching physics: Physical effects of apparent 'weightlessness'," *The Physics Teacher*, vol. 1, p. 34, 1963.
- [187] A. N. Ljubimov, "Untersuchungen über den Fall eines schweren Systems," *Naturwissenschaftliche Wochenschrift*, vol. 13, no. 1, pp. 25–28, 1898.
- [188] Л. Д. Кулевлач, *Уроци физики, Уроци физическогo експеримента*. Москва: Просвещение, 1983.
- [189] Л. С. Дмитриев, Ю. П. Европин, and Н. А. Щербаков, *Уроци физики в VIII-x классах*, стр. 50. Москва: Учпедгиз, 1957.

- [190] А. Б. Молодзеевский and Р. В. Телесин, *Лекционные демонстрации по физике. Общая механика*, стр. 53–54. Москва: Государственное учебно-педагогическое издательство, 1954.
- [191] В. Г. Зубов and В. П. Шальнов, *Задачи по физике*, стр. 23, 160. Москва: Государственное учебно-педагогическое издательство, 1959.
- [192] С. П. Стрелков, *Механика*, стр. 139–140. Москва: Государственное учебно-педагогическое издательство, 1956.
- [193] Y. I. Perelman, *Zanimljiva fizika*. Petrograd: P. P. Soikin, 1913.
- [194] Y. I. Perelman, *Međuplanetarna putovanja*. Petrograd: P. P. Soikin, 1915.
- [195] Y. I. Perelman, *Da li znaš fiziku*. Leningrad/Moskva: ONTI, 1934.
- [196] J. D. Cutnell and K. W. Johnson, *Physics*, 6th ed. New York: John Wiley & Sons, 2004.
- [197] E. Mach and E. N. Hiebert, *On Thought Experiments*. 1976.
- [198] S. K. Chakarvarti, "A demonstration on weightlessness," *The Physics Teacher*, vol. 16, no. 6, p. 391, 1978.
- [199] C. J. Smith, "Weightlessness for large classes," *The Physics Teacher*, vol. 27, no. 1, pp. 40–41, 1989.
- [200] A. Corona Cruz, J. Sliško, and G. Planinšić, "Freely rising bottle of water also demonstrates weightlessness," *Physics Education*, vol. 41, no. 3, pp. 208–209, 2006.
- [201] J. Sliško and G. Planinšič, "Hands-on experiences with buoyant-less water," *Physics Education*, vol. 45, no. 3, p. 292, 2010.
- [202] J. Slisko and A. Corona, "Showing weightlessness with magnetism," *Physics Education*, vol. 46, no. 5, pp. 525–527, 2011.
- [203] J. Baluković, J. Sliško, and A. Corona Cruz, "A demonstration of 'weightlessness' with 1-kg mass and balloon," *The Physics Teacher*, vol. 53, no. 7, pp. 440–441, 2015.
- [204] J. C. LaCombe and M. B. Koss, "The make-it-yourself drop-tower microgravity demonstrator," *The Physics Teacher*, vol. 38, no. 3, pp. 143–146, 2000.
- [205] R. D. Edge, *String and Sticky Tape Experiments*. College Park, MD: American Association of Physics Teachers, 1987.
- [206] G. Vogt and M. Wargo, *Microgravity: A Teacher's Guide with Activities, Secondary Level*, 1992.
- [207] "Демонстрация невесомости," *Kvant*, 1978.
https://kvant.mccme.ru/1978/04/demonstraciya_nevesomosti.htm. Прегледано: 31. 7. 2024. године

- [208] H. Ayala, J. Sliško, and A. Corona Cruz, "Magnetic demonstration of weightlessness: A spark of student creativity," *The Physics Teacher*, vol. 49, no. 8, p. 524, 2011.
- [209] S. Bharambe, "Study of the concepts and misconcepts of weightlessness," *International Journal of Theoretical and Applied Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 9–13, 2014.
- [210] J. Baluković, J. Sliško, and A. Corona Cruz, "Thought experiments in teaching free-fall weightlessness: A critical review and an exploration of Mercury's behavior in 'falling elevator'," *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, vol. 13, no. 5, pp. 1283–1311, 2017.
- [211] E. Etkina and A. van Heuvelen, "Investigative science learning environment: A science process approach to learning physics," in *Research-based Reform of University Physics*, E. F. Redish and P. J. Cooney, Eds. College Park, MD: American Association of Physics Teachers, 2007.
- [212] D. R. Sokoloff and R. K. Thornton, "Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment," *The Physics Teacher*, vol. 35, no. 6, pp. 340–347, 1997.
- [213] A. Eisenkraft, American Association of Physics Teachers, American Institute of Physics, and It's About Time (Firm), *Active Physics: Transportation*. Armonk, NY: It's About Time, 1998–1999.
- [214] A. B. Arons, "Achieving wider scientific literacy," *Daedalus*, vol. 112, no. 2, pp. 91–122, 1983.
- [215] P. G. Hewitt, "Millikan Lecture 1982: The missing essential—a conceptual understanding of physics," *American Journal of Physics*, vol. 51, no. 4, pp. 305–311, 1983.
- [216] PRAVILNIK O OGRANIČENJIMA I ZABRANAMA PROIZVODNJE, STAVLJANJA U PROMET I KORIŠĆENJA HEMIČKIJA, „Sl. glasnik RS“, br. 90/2014, 25/2015, 2/2016, 44/2017, 46/2018, 9/2020, 57/2022 i 29/2024.
- [217] B. F. Bilimovich, *Physics Quizzes in High School: Manual for Teachers*, 3rd ed. Prosveshenie, 1977. (In Russian).
- [218] J. Sliško and R. del Rosal Garduno, "A bubble-based demonstration of free-fall weightlessness," *The Physics Teacher*, vol. 60, no. 4, p. 248, 2022.
- [219] J. Sliško, "A new role for the Cartesian diver: Showing freefall weightlessness," *The Physics Teacher*, vol. 58, no. 6, p. 446, 2020.
- [220] Z. Michalewicz, N. Falkner, and R. Sooriamurthi, *Puzzle-based Learning: An Introduction to Critical Thinking and Problem Solving*, 2011.
- [221] K. Perkins, W. Adams, M. Dubson, N. Finkelstein, S. Reid, and C. Wieman, "PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics," *The Physics Teacher*, vol. 44, no. 1, pp. 18–23, 2006. <https://doi.org/10.1119/1.2150754>

- [222] "Pendulum Lab," MyPhysicsLab, 2024. <https://www.mypysicslab.com/pendulum/pendulum-en.html>. Прегледано 31. 7. 2024. године
- [223] "Ley del Péndulo," EducaPlus, 2024. <https://www.educaplus.org/game/ley-del-pendolo>. Прегледано 31. 7. 2024. године
- [224] "Pendule Simple Période," Physique Chimie Collège Lycée, 2024. www.pccl.fr/physique_chimie_college_lycee/cpge_mpsi_pcsi/pendule_simple_periode_qcm_flash.htm. Прегледано 31. 7. 2024. године
- [225] "Pendulum Lab," PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2024. <https://phet.colorado.edu/en/simulations/pendulum-lab>. Прегледано: 31. 10. 2024. године
- [226] "Masses and Springs," PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2024. <https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs>. Прегледано 31. 7. 2024. године
- [227] R. M. Ryan and E. L. Deci, "Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being," *American Psychologist*, vol. 55, no. 1, pp. 68–78, 2000.
- [228] T. I. Lubart, "Creativity across cultures," in *Handbook of Creativity*, R. J. Sternberg, Ed. Cambridge University Press, 1999, pp. 339–350.
- [229] T. M. Amabile, *Creativity in Context: Update to the Social Psychology of Creativity*. Westview Press, 1996.
- [230] J. Piaget, "Intellectual Evolution from Adolescence to Adulthood," *Human Development*, vol. 15, no. 1, pp. 1–12, 1972.
- [231] B. Inhelder and J. Piaget, *The Growth of Logical Thinking from Childhood to Adolescence: An Essay on the Construction of Formal Operational Structures*. Basic Books, 1958.
- [232] The jamovi project, *jamovi* (Version 2.3) [Computer Software]. 2022. <https://www.jamovi.org>
- [233] R Core Team, *R: A Language and Environment for Statistical Computing* (Version 4.1) [Computer Software]. 2021. <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from MRAN snapshot 2022-01-01).
- [234] A. Field, *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. Sage Publications, 2013.
- [235] J. Pallant, *SPSS Survival Manual: A Step by Step Guide to Data Analysis Using IBM SPSS*. Open University Press, 2020.

Литература

- [236] N. Nachar, "The Mann-Whitney U: A test for assessing whether two independent samples come from the same distribution," *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, vol. 4, no. 1, pp. 13–20, 2008.
- [237] J. W. Creswell and J. D. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Sage Publications, 2017.
- [238] P. Black and D. Wiliam, "Assessment and classroom learning," *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, vol. 5, no. 1, pp. 7–74, 1998.
- [239] D. T. Campbell and J. C. Stanley, *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. Chicago: Rand McNally, 1963.
- [240] A. E. Lawson, "The development and validation of a classroom test of formal reasoning," *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 15, no. 1, pp. 11–24, 1978.
- [241] M. A. Runco and G. J. Jaeger, "The standard definition of creativity," *Creativity Research Journal*, vol. 24, no. 1, pp. 92–96, 2012.
- [242] J. Baer, "The case for domain specificity in creativity," *Creativity Research Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 173–177, 1998.
- [243] M. L. McHugh, "Interrater reliability: The kappa statistic," *Biochemia Medica*, vol. 22, no. 3, pp. 276–282, 2012. <https://doi.org/10.11613/BM.2012.031>
- [244] J. R. Landis and G. G. Koch, "The measurement of observer agreement for categorical data," *Biometrics*, vol. 33, no. 1, pp. 159–174, 1977.
- [245] I. Etikan, S. A. Musa, and R. S. Alkassim, "Comparison of convenience sampling and purposive sampling," *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, vol. 5, no. 1, pp. 1–4, 2016.
- [246] M. H. Bornstein, J. Jager, and D. L. Putnick, "Sampling in developmental science: Situations, shortcomings, solutions, and standards," *Developmental Review*, vol. 33, no. 4, pp. 357–370, 2013.
- [247] C. Teddlie and F. Yu, "Mixed methods sampling: A typology with examples," *Journal of Mixed Methods Research*, vol. 1, no. 1, pp. 77–100, 2007.
- [248] W. R. Shadish, T. D. Cook, and D. T. Campbell, *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Generalized Causal Inference*. Houghton, Mifflin and Company, 2002.
- [249] A. Stojanović, "Developing student's creativity," *Artefact*, 2021.
- [250] M. Prince, "Does active learning work? A review of the research," *Journal of Engineering Education*, vol. 93, no. 3, pp. 223–231, 2004.
- [251] A. Mynbayeva, Z. Sadvakassova, and B. Akshalova, *Pedagogy of the Twenty-First Century: Innovative Teaching Methods, New Pedagogical Challenges in the 21st Century - Contributions of Research in Education*, 2017.

[252] A. Karmiloff-Smith, *Beyond Modularity: A Developmental Perspective on Cognitive Science*. MIT Press, 1995.

[253] J. Balukovic, J. Slisko, and A. Corona Cruz, "¿Cómo deja de fluir un chorro de agua de un recipiente en caída libre?" *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 12, no. 3, pp. 593–600, 2015.

[254] A. Craft, *Creativity in Education*. Continuum, 2001.

[255] M. A. Runco, "Creativity," *Annual Review of Psychology*, vol. 55, pp. 657–687, 2004.

Биографија

Ивана М. Круљ рођена је 2. јануара 1974. године, у Параћину. Основну школу и гимназију завршила је у Нишу. На Одсеку за физику, Природно-математичког факултета Универзитета у Нишу, дипломирала је 2001. године, и стекла назив Дипломираног физичара за општу физику, а 2009. године одбранила је магистарску тезу на истом факултету, и стекла звање Магистра физичких наука. Од 2016. године студент је докторских студија Физике на Департману за физику Природно-математичког факултета Универзитета у Нишу.

У периоду од 2002-2015. године била је запослена у неколико основних и средњих школа. Током доуниверзитетске каријере остварила је бројне успехе као наставник, освојивши награде за постигнућа ученика на државним такмичењима у организацини Министарства просвете и Друштва физичара Србије, као и признања и награде за представљене радове произашле из праксе иновирања наставе физике у непосредном раду са ученицима, и стекла звање педагошког саветника.

Од 2015. године запослена је у звању предавача на Академији техничко-васпитачких струковних студија. Својим највећим успехом у каријери сматра увођење предмета Физика, Физика 1, Физика 2, Физика животне средине, Медицинска физика, приликом акредитација нових студијских програма.

Излагала је радове о настави физике на домаћим и међународним скуповима и публиковала је радове са истом тематиком у часописима категорија М60, М51, М30 и М23.

Као члан Еко-одбора Академије, мотивисала је студенте за партиципацију на различитим фестивалима. Учествовала је у пројектима популаризације науке у организацији Центра за промоцију науке у Београду, и Регионалног центра за професионални развој запослених у образовању у Нишу, Ипа пројекту *„To BOND entrepreneurial learning with primary and secondary schools and universities with the aim of curricula enhancement and entrepreneurial competences improvement for the purpose of facilitating employment of young people”*, и учествује у пројектима *Augmented Intelligence for Pedagogically Sustained Training and Education* и *Climate Education to Advance SDGs and Climate Action (Climate Box)*.

Библиографија

Ivana Krulj and Josip Sliško. "A new bubble-based demonstration of free-fall weightlessness." *The Physics Teacher*, 2024, 62.1, 68-69.

Ivana Krulj, Josip Sliško, Absence of buoyant force in free fall: A magnetic demonstration, *The Physics Teacher*, 2023, 61, 312.

Ivana Krulj, Ljubiša Nešić, Convenient reflective diffraction gratings in physics teaching. *Physics Education*, 2019, 54.2: 025015.

Ivana Krulj, Preliminary examination of teacher's attitudes to teaching approaches in the processing of content on weightlessness, *KNOWLEDGE-International Journal*, 2023, 60.2, 331-336.

Lidija Stamenković, Ivana Krulj, Ljiljana Đorđević, Tijana Milanović, Prediction of SO_x Emissions Using ANN, *Proceedings of the II International Conference on Physical Aspects of Environment ICPAE2023*, 2023, 203-207.

Ivana Krulj, Correlation between oscillatory motion and gravity regarded as educational content, *KNOWLEDGE-International Journal*, 2022, 54.3, 527-531.

Silva Kostić, Nada Ratković Kovačević, Marija Zajeganović, Đorđe Dihovičnik, Ivana Krulj and Dragan Kreculj, Online Learning during the COVID-19 Pandemic, 6th International Scientific Conference ITEMA 2022 – Selected Papers, 2023, 103-109.

Ivana Krulj, Students' Learning of the Radioactive Decay Law Using Digital Simulations, *International Conference on Physical Aspects of Environment ICPAE2022*, University of Novi Sad, Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, Republic of Serbia, 2022, 92-96

Ivana Krulj, The influence of using digital simulations on students' achievements in wave optics, *KNOWLEDGE-International Journal*, 2020, 38.3, 619-623.

Ivana Krulj, Contribution of digital simulation usage to adoption of basic concepts of diffusion and thermodynamics equilibrium, *KNOWLEDGE-International Journal*, 2020, 43.3, 563-568.

Ivana Krulj, Demonstration experiments with convenient diffraction gratings, *KNOWLEDGE-International Journal*, 2019, 35.3, 843-847.

Ивана Круљ, Татјана Мишић, Марина Најдановић Лукић, Љубиша Нешић, Закон одржања енергије у настави физике у основној школи, Меѓународната конференција за образованието по математика, физика и сродни науки, Скопје, 2019, 164-170,

Ivana Krulj, Ljubiša Nešić, Josip Sliško & Biljana Živković, Stimulating creative thinking in students with simple experiments on Einstein's equivalence principle in primary and secondary education, *Facta Universitatis, Series: Physics, Chemistry and Technology*, 2024, 057-075.

Ivana Krulj, Josip Sliško, Ljubiša Nešić, Problemske situacije u sadržajima o oscilovanju klatna u digitalnim resursima, *Zbornik radova 10. međunarodne konferencije o nastavi fizike u srednjim školama, Aleksinac*, 2022, 85-91.

Биографија

Krulj, I., & Slisko, J. (2024b). Absence of Hydrostatic Pressure in Free-Falling Mercury. *The Physics Teacher*, 62(9), 750-753. (у продукцији)

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

Конструктивистички приступ обради бестежинског стања у настави физике у основној и средњој школи и подстицај развоја креативног мишљења ученика

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

У Нишу, _____

Потпис аутора дисертације:



(Ивана М. Круљ)

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

Конструктивистички приступ обради бестежинског стања у настави физике у основној и средњој школи и подстицај развоја креативног мишљења ученика

која је одбрањена на Природно-математичком факултету Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивала на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредила ауторска права, нити злоупотребила интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, _____

Потпис аутора дисертације:



Ивана М. Круљ

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ЕЛЕКТРОНСКОГ И ШТАМПАНОГ ОБЛИКА
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Наслов дисертације: **Конструктивистички приступ обради бестежинског стања у настави физике у основној и средњој школи и подстицај развоја креативног мишљења ученика**

Изјављујем да је електронски облик моје докторске дисертације, коју сам предао/ла за уношење у **Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу**, истоветан штампаном облику.

У Нишу, _____

Потпис аутора дисертације:



Ивана М. Круљ