

СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ
„СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“



ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА ПО МЕТОДИКА НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ФИЗИКА

**Сравнителен анализ на учебното съдържание по
атомна физика в различни страни**

АВТОРЕФЕРАТ

Дисертация за придобиване на образователна и научна степен „доктор“

Област на висше образование: 1. Педагогически науки
Професионално направление: 1.3. Педагогика на обучението по ...
Докторска програма: Методика на обучението по физика

Докторант: Константин Пламенов Илчев

Научен ръководител: доц. д-р Венелин Кожухаров

Научен консултант: гл. ас. Ивелина Коцева

София, 2023

Резултатът на България в PISA 2018 (Science) е значително по-нисък от средния резултат на държавите членки на ОИСР. Възниква въпросът доколко това се дължи на начина, по който българските ученици изучават природни науки, или на обема на изучавания материал, или на други фактори. В момента се преразглеждат учебни програми, включително и за първи гимназиален етап. Кои са проблемите и какви са перспективите пред българското обучение по атомна физика в първи гимназиален етап?

Разработената в този труд методология идентифицира редица начини, по които може да бъде осъществено обучението по физика на микроскопичния свят. Преподаването чрез разнообразни интерактивни методи води до значително надграждане на знанията на български ученици от езикова столична гимназия. Наблюдава се подобрене при затрудняващи се с физиката ученици.

Някои теми са концептуално по-трудни за усвояване от други. Погрешните схващания на българските ученици не се отличават значително от трудностите, за които докладват чуждестранни автори на статии в тази област. Анализът на проучването с ученици разкрива нуждата от повече време в час за усвояване на определени концепции. Това следва и от проведенния сравнителен анализ на учебни програми в различни държави. Българските ученици изучават някои сравнително абстрактни и отчасти концептуално трудни за разбиране теми още в десети клас, независимо от тяхната насоченост (избор на профил във втори гимназиален етап). Това рядко се наблюдава в програмите на държави, включени в сравнителния анализ.

Струва си да бъде обмислен национален подход, който приоритизира по-задълбоченото усвояване на по-малко на брой теми в първи гимназиален етап. Не е нужно съдържанието да се редуцира значително. Наличието на изборни междупредметни “модули” в рамките на учебната програма по физика в първи гимназиален етап би насърчило да се приложи интегрираният подход в национален мащаб. Коментират се и други възможности, включително ползите и варианти за включване на кариерното ориентиране в учебния план.

В настоящия труд се очертават перспективи, които биха улеснили прилагането на разнообразни методи в час. Освен това се демонстрира как сравнителните анализи контекстуализират националните решения в дадена област. Прегледите на статии разкриват тенденции. Освен това се демонстрира компактното онагледяване на съдържанието на голям брой статии. Това е полезно както за методици, така и за учители. Формирането на повече екипи, които целенасочено провеждат проучвания с ученици може да разкрие много за обучаемите, за стила на преподаване на учителите им, както и за резултатите от промени в образователната система. Оценка на обучението вероятно си струва да бъде провеждана не само в края на годината, но и непосредствено след преподаване на определени теми или раздели. Комбинирането на още по-голям брой проучвания в училища, прегледи на статии и сравнителни анализи, би подпомогнало идентифицирането и аргументирането на предложения за бъдещи образователни промени.

Съдържание (Автореферат)

| | |
|---|-----------|
| Увод | 4 |
| Глава I. Сравнение на съдържанието по атомна и субатомна физика в учебните програми на различни държави | 7 |
| I.1 Сравнително образование | 7 |
| I.2 Атомна и субатомна физика в първи гимназиален етап | 8 |
| I.3 Международни изследвания | 9 |
| I.3.1 Изследванията PISA и TIMSS. Прилики и разлики | 9 |
| I.3.2 Изследването TIMSS и TIMSS Advanced (2015) | 11 |
| I.4 Сравнение на учебни програми (атомна и субатомна физика) | 11 |
| I.4.1 Въведение | 11 |
| I.4.2 Подбор на държави | 11 |
| I.4.3 Резултати | 13 |
| I.4.3.1 Образователни структури | 13 |
| I.4.3.2 Разновидност на учебните планове | 15 |
| I.4.3.3 Сравнение по съдържателни индикатори | 15 |
| I.4.3.4 Изводи | 20 |
| I.5 Заключение | 22 |
| Глава II. Проучване на учебни методи в атомната и субатомната физика в гимназиален етап | 23 |
| II.1 (Съкратен) Увод/мотивация | 23 |
| II.2 Изследователски въпроси | 24 |
| II.3 Метод на изследване | 24 |
| II.3.1 Критерии за включване | 25 |
| II.3.2 Ключови признаци | 25 |
| II.4 Резултати и дискусия | 26 |
| II.4.1 Ключови признаци на предложените дейности | 26 |
| II.4.2 Тенденции | 32 |
| II.5 Заключение | 32 |
| Глава III. Значение на разнообразяването на учебни методи за усвояването на концепции от ядрената и атомната физика в гимназиален етап | 33 |
| III.1 Увод/мотивация | 33 |
| III.2 Изследователски въпроси | 33 |
| III.3 Общо описание на изследването | 34 |
| III.4 Описание на учебните методи | 35 |
| III.5 Анализ на данните | 35 |
| III.6 Дискусия на резултатите | 40 |
| III.6.1 Надграждане на знания (B1) | 40 |
| III.6.1.1 Сравнение с анализа на Хейк | 41 |
| III.6.2 Устойчивост на знанията (B2) | 42 |
| III.6.3 Затрудняващи се ученици (B3) | 43 |
| III.6.4 Затрудняващи учениците концепции. Различаване на отделните физични явления (B4) | 43 |
| III.6.5 Струва ли си учител да анализира входни/изходни тестове по този начин? (B5) | 44 |
| III.6.6 Ключови признаци на дейностите в отделните уроци (B6) | 45 |
| III.7 Изводи от изследването (B7) | 46 |
| Заключение | 47 |
| Приноси на автора | 49 |
| Публикации на автора и участие в конференции | 49 |
| Благодарности | 50 |
| Литература | 51 |

Увод. Актуалност на темата.

(Към читателите: Поради ограничения обем, съдържанието на настоящия автореферат не включва голяма част от фигурите, описанията и изводите, които фигурират в дисертационния труд)

Отличава ли се съществено учебното съдържание по физика в България от изучаваното в други страни? С този въпрос започна работата по настоящия труд. Към него постепенно се причисляваха редица други изследователски въпроси, на базата на преподавателския опит, преглед на статии и дискусии с колеги от този период. По този начин се фиксира съдържанието на дисертационен труд, който е разработен непосредствено след национална образователна реформа (Министерство на образованието и науката, 2015). Освен това се използват резултати от международни изследвания в сферата на обучението по природни науки, както и елементи от редица национални и международни конференции, свързани с обучението по физика, в контекста на световната тенденция да се предлагат и прилагат интерактивни методи в час (Bonwell&Eison, 1991; Съюз на Физиките в България & Министерство на образованието и науката, 2021).

Дискутира се също как може да изглежда прилагането на интерактивни методи в България, чието образователно съдържание се определя от настоящата учебна програма. Как може да се провери ефективността на тези дейности количествено и какви изводи следват от този анализ? По-конкретно се разглежда как е свързано приложението на разнообразни дидактически методи с учебното съдържание по физика и какви прилики/разлики се наблюдават в учебните програми (по атомна и субатомна физика) на България и други страни (със значително по-високи резултати от международни изследвания). Сравнителният анализ конкретно на учебни програми се провежда и в други държави (Stadermann et al., 2019; Ramaila, 2020) и в общия случай цели извличането на изводи, които могат да бъдат полезни както за националната образователна система (Ramaila, 2020), така и за конкретизирането на световни тенденции от изследователска гледна точка (на методици в обучението) (Stadermann et al., 2019).

Какво разкриват емпиричните наблюдения от мащабните проучвания в сферата на обучението по природни науки (и физика) и по какъв начин могат съответните данни да мотивират по-задълбочени изследвания в България? Тези и други въпроси очертават рамката на настоящия труд.

В България се преразглежда учебното съдържание (Министерство на образованието и науката, 2022, 2023), и надеждата е тук извлечените заключения да бъдат полезни на екипите, отговорни за оформлението и ревизиите на учебните програми.

Дисертационното изследване представлява анализ на учебното съдържание по атомна (и субатомна) физика. С оглед на гореспоменатите въпроси и на предприетите действия по време на изследването, нека в рамките на настоящия труд понятието “учебно съдържание” бъде разширено посредством следното определение:

Учебното съдържание включва както **учебния материал** (програма с отделни теми), така и **начина на преподаване** на темите (приложени методи).

Тази дефиниция откроява две възможни изследователски направления. От една страна могат да бъдат разгледани и сравнени учебните програми на избрани държави. В този случай се описва и аргументира изборът на страните, включени в сравнителния анализ. От друга страна могат да бъдат проучени методите, чрез които съответните

теми се представят на учениците. Какви са световните тенденции в обучението по атомна и субатомна физика? Как могат да се характеризират предложените дейности, така че бързо и прецизно да се ориентират заинтересованите читатели? Възниква и въпросът как може да се определи статистически ефектът (във връзка с надграждане на знания) на отделните методи и доколко авторите на статии в тази сфера включват количествена оценка на предложените дейности.

Настоящият труд включва и двете стратегии. Отделните изследователски дейности са разпределени в три глави, при което всяко от трите начинания цели отговарянето на определени изследователски въпроси. Накрая на всяка глава са формулирани заключения. В първата глава е сравнено обучението по атомна/субатомна физика в конкретни държави. Втората глава обхваща характеризирането и категоризирането на предложени методи в актуални статии от цял свят, както и извличането на конкретни тенденции. Третата глава включва подробно описание на проучване във връзка с въздействието на методите върху знанията на български ученици в 10-ти клас. В последната глава (Глава IV) компактно са представени конкретни изводи за българското обучение по физика и астрономия в първи гимназиален етап.

Характеристика на дисертационното изследване

Целта на изследването е да се извлекат изводи във връзка с учебния материал и приложими методи по атомна и субатомна физика, които биха подпомогнали осъществяването на ефективен обучителен процес в България.

Основните **задачи** в настоящия труд включват:

1. Провеждане на сравнителен анализ на учебните програми и съдържание по атомна и субатомна физика (в общообразователен гимназиален етап) в България и други държави, на базата на конкретни данни от разнообразни източници;
2. Провеждане на вторичен анализ на данни от международното изследване TIMSS Advanced 2015 (физика) с цел определянето и потвърждаването на статистически значими връзки между резултатите от най-сложните физични задачи и конкретни фактори в обучението по физика;
3. Провеждане на систематичен преглед на международни статии от последните 20 години, който ще позволи да се проучат учебни методи по атомна и субатомна физика в гимназиален етап с цел определянето на тенденции, на начини да се категоризират (и характеризират по-прецизно) предложените дейности, както и на наличието на количествени сведения и анализи;
4. Планиране, провеждане и обработване на емпирични данни от проведено практическо проучване с български ученици от езикова гимназия с цел да се даде отговор на редица изследователски въпроси. Изпълнението на тази задача включва провеждането на количествен анализ на надграждане на знания като резултат от обучение чрез разнообразни интерактивни методи в сферата на училищната атомна и субатомна физика, както и сравняването на резултатите с изводи от други изследвания.

Обект на изследването са ученици в гимназиален етап, които се подготвят общообразователно и изучават елементи от атомната и субатомната физика в рамките на избираем или задължителен предмет *физика (и астрономия)*, с изключение на целевата група от втора задача (вторичен анализ), която е възможно да включва профилиращи ученици от по-специализирани гимназии.

Предметът на проучването зависи от конкретната задача:

Задача 1 (сравнителен анализ): Предстои да се характеризира и сравни съдържанието по физика, което учениците изучават в различни държави. Също така се установяват

прилики и разлики между учебните програми (като документи). Ако за обект се приемат самите учебни програми, тогава предметът на изследването представлява установяване на прилики и разлики между техните характеристики (по отношение на обхват, конкретно съдържание и др.);

Задача 2 (вторичен анализ): Предметът в тази задача представляват конкретни фактори в обучението, за които може да се потвърди статистически, че имат връзка с постиженията на учениците по физика;

Задача 3 (преглед на статии): Определят се и се характеризират предложените в литературата методи, чрез които учениците могат да усвоят концепциите от атомната/субатомната физика;

Задача 4 (практическо проучване): Предметът в това изследване е въздействието на разнообразни методи в час върху надграждането на знания както на всички, така и на принципно затрудняващите се ученици, върху усвояването на концепции, за които в литературата има сведения, че са проблемни за обучаемите и други.

Извършените проучвания в настоящия труд целенасочено **обхващат** различни държави и ученици от цял свят, в зависимост от конкретната задача. Това включва България, редица европейски държави, Япония, провинции в Канада, Австралия и други. Данните, които са използвани за извличането на нужната информация са актуални - публикувани са или в последните няколко години или най-много преди 20 години, в контекста на проведения преглед на статии. Само в отделни случаи се ползва информация от по-стари статии.

Изследователските въпроси във всяко от горе споменатите проучвания (задачи) са представени в началото на съответната глава или раздел.

Ходът на дисертационното проучване включва прилагането на различни **методи**, чрез които се изпълняват задачите. Подробно им описание може да бъде намерено в съответната глава или раздел. Компактно формулирано, използваните методи са следните:

В Глава I:

- Конкретизиране на задачата *сравнителен анализ на учебни програми* от гледна точка на обхватната дисциплина *Сравнително образование*;
- Определяне и дискусия на отделни съдържателни индикатори в българската учебна програма по физика и астрономия за 10. клас;
- Извършване на вторичен анализ на данни от международно изследване (TIMSS Advanced 2015) посредством статистическа обработка;
- Подбор на държави (в рамките на сравнителния анализ);
- Намиране и обобщаване на конкретна информация от статии, уеб сайтове и книги на различни езици;
- Провеждане на сравнителен анализ на учебни програми (по-точно: *анализ на аспекти*) и онагледяване на резултатите в цветна таблица.

В Глава II:

- Събиране на образователни статии от последните 20 години посредством критерии за включване и комбинация от думи, която се въвежда в база данни (*Scopus, ERIC, частично Google Scholar*);
- Определяне на *ключови признаци*, по които да бъдат характеризирани предложените дейности в отделните подбрани статии;
- Анализ на всяка от подбраните статии с цел идентифицирането на съответните ключови признаци;
- Построяване на цветни таблици, в които са онагледени резултатите;

- Определяне на тенденции, на базата на наличието на определени ключови характеристики на обучението;
- Категоризиране (по друг начин) на предложените дейности;
- Описание и дискусия на наличния количествен анализ в подбраните статии;

В Глава III:

- Планиране на практическо проучване с български ученици (съставяне на входни/изходни тестове, на крайни тестове, определяне на разнообразна комбинация от методи, съставяне или намиране на учебни материали/упражнения, определяне на вида на изследването във връзка с предстоящия статистически анализ);
- Провеждане на практическото проучване, което включва както преподаване по интерактивен начин, така и събиране на информация (входни/изходни тестове, впечатления, обратна връзка);
- Определяне на крайната извадка, нанасяне и подреждане на крайните резултати;
- Статистически анализ на данните (разпределение на резултатите, α на Кронбах, количествен анализ на надграждането на знания - проведен по три различни начина);
- Сравнение на изчисленото надграждане с наблюдения от други изследователи;
- Анализ на конкретни въпроси/концепции от входните/изходните, както и от крайния тест;

Глава I

Сравнение на съдържанието по атомна и субатомна физика в учебните програми на различни държави

I.1 Сравнително образование

Дисциплината *сравнително образование* обхваща различия и съответствия между две или повече образователни явления или величини, при което е прието да се изследва и чуждестранното образование (Бижков&Попов, 1994). Историческото развитие на тази наука е довело до богато съдържание, методи и методологически подходи (Бижков&Попов, 1994). В настоящия труд няма да бъде проведено систематично сравнение на образованието в отделни страни, тъй като този вид анализ представлява цялостен преглед на национални, исторически, социологически, антропологически, икономически, статистически и други аспекти. Вместо това ще бъдат сравнени точно определени образователни елементи в контекста на училищната физика, конкретно - на атомната и субатомната физика в гимназиален етап. Следва кратка контекстуализация на планираните действия в настоящия труд (от гледна точка на сравнителното образование) и по-конкретно в Глава 1 (сравнителен анализ).

Като **преимущества** на сравнителното образование Бижков и Попов описват следните аспекти, опирайки се на трудовете на Joseph Lauwerys и Franz Hilker:

- Изясняване (с по-цялостен обхват) на педагогическите проблеми на базата на добре подготвени, проведени и описани сравнения;
- Оценка на възможния характер на педагогическото развитие във времето (тенденции);
- Полезен инструмент за органите, които планират и въвеждат образователни програми.

Авторите изброяват следните два **недостатъка**, отново на базата на размишления на Franz Hilker (Бижков&Попов, 1994):

- Сравнителният метод не позволява извличането на универсални закономерности (нототетичност) поради невъзможността да се постигне емпирична повторимост;

- Посредством сравнителни изследвания не може да се осъществи общовалиден модел за развитието на образованието.

Когато се сравняват аспекти от образователни системи се работи по точно определен модел, в зависимост от целта на сравнението. Възможни са различни комбинации, най-вече по отношение на времевата насоченост, броя разгледани образователни явления и броя държави (Бижков&Попов, 1994). По класификацията на видове сравнения на Бижков и Попов проведенният анализ на учебни програми (раздел I.4) се явява *хоризонтално* сравнение. Тоест, сравняват се елементи от образователните системи на няколко държави в едно и също време (в този случай - в настоящето). Също така е възможно да се сравняват едно или няколко явления в една единствена (или повече на брой) държава, но в различно време. Тогава сравнението се нарича *вертикално*. Третият вид представлява комбинация, тоест *хоризонтално-вертикално* сравнение.

Целта е да се постигне сравнение както на даден аспект в различните държави (анализ по аспекти), така и на всички аспекти за дадена държава (анализ по страни). На практика някои от тези анализи отпадат поради липса на данни. Най-накрая се синтезират всички проведени анализи. Как се вписва анализът на учебни програми в този модел?

Първо следва да се конкретизира образователният проблем. Необходимостта да се сравняват програми частично произхожда от ниските резултати на България в изследването PISA 2018 (категория “Природни науки”). От друга страна е смислено да се сравни структурата на (част от) образователната система в контекста на наскоро проведената национална образователна реформа. Конкретно става въпрос за изучаването на атомна/субатомна физика в задължителна подготовка (ООП). Изследва се дали се наблюдават принципни различия между нашата и подбрани чуждестранни общогимназиални учебни програми? Аспектите на така формулираната задача не са много, тъй като включват предимно част от образователните структури, учебни програми по физика и общогимназиални учебни планове. Допълнително за всяка държава се изяснява дялът ученици в гимназиален етап, както и по-конкретно дялът ученици в общи (не професионални или други) гимназии. Комбинирането на тези аспекти за всяка държава ще изясни коя част от атомната/субатомната физика се изучава от какъв дял ученици в кой клас от общогимназиалната подготовка, и в какъв формат (задължителен/изборен). Това действие на практика представлява анализ по страни. Следва да се построи таблица, в която отделните държави могат да се сравняват както по съдържание, така и по дял ученици, наличие на изборни предмети. Тоест, следва да се сравнят по аспекти (анализ на аспектите). Това е илюстрирано в Таблица 4. Представеният в раздели I.4.3.4 и I.5 синтез на анализи по страни и по аспекти е практически ориентиран. Обобщението включва предимно такива наблюдения и резултати, които биха могли да подпомогнат вземането на бъдещи образователни решения в тази област.

I.2 Атомна и субатомна физика в първи гимназиален етап

В дисертационния труд този раздел включва описание на българското учебно съдържание по атомна и субатомна физика в първи гимназиален етап (ООП). Като резултат от съдържателния анализ, бяха **определени** отделни **съдържателни индикатори**, (Таблица 1), по които вследствие са сравнени учебните програми на различни страни (раздел I.4).

| Код | Съдържателен индикатор (описание) |
|-----|-----------------------------------|
|-----|-----------------------------------|

| | |
|-----|--|
| E1 | Хипотеза на Планк (топлинно излъчване) |
| E2 | Фотоелектричен ефект |
| E3 | Вълни на дьо Бройл (количествено) |
| E4 | Корпускулярно-вълнов дуализъм |
| E5 | Квантувани енергийни нива (спектри) |
| E6 | Взаимодействие между светлина и материя |
| E7 | Технически приложения |
| E8 | Основни характеристики на ядрата/ядрените сили |
| E9 | Енергия на връзката и масов дефект |
| E10 | Период на полуразпадане (без формули) |
| E11 | Биологично действие на йонизиращите лъчения |
| E12 | Видове радиоактивност |
| E13 | Приложения на радиоактивни изотопи (радиовъглеродно датиране, медицина, ...) |
| E14 | Ядрени реакции (делене, синтез) |
| E15 | Ядрен реактор (принцип на действие, защита) |
| E16 | Термоядрен реактор (принцип, управляемост, перспективи) |
| E17 | Елементарни частици (лептони, кварки) и античастици |
| E18 | Адрони (бариони и мезони) |
| E19 | Фундаментални взаимодействия (сравнение; носители) |

Таблица 1. Съдържателни индикатори на базата на българската учебна програма за X клас (ООП)

I.3 Международни изследвания

I.3.1 Изследванията PISA и TIMSS. Прилики и разлики

Както бе споменато по-горе, съществена роля в сравнителното образование играят както набирането на статистическа информация, така и връзката между икономиката и образованието. Поради тази причина ОИСР (Организация за Икономическо Сътрудничество и Развитие) целенасочено изследва качеството на образованието в страните членки (въпреки че участват и други страни, вкл. България) и в този контекст провежда международни проучвания, едно от които е PISA (Programme for International Student Assessment) (OECD, 2023). Изследването за първи път стартира през 2000 година и се организира веднъж на 3 години. PISA проследява и резултатите по природни науки, при което извадката обхваща ученици на 15-годишна възраст. За българските ученици, участвали в PISA 2018 (OECD, 2020) следва, че по-голямата част от тях са били в 9-ти клас. Важно е да се отчете, че тъй като новите учебни програми за

9-ти клас влязоха в сила с началото на учебната 2018/2019 година, а PISA 2018 е проведено предимно между месеците март и август (NCES, 2020), единствено малкият дял участвали наши осмокласници са учили по новата учебна програма. През 2021 година изследването бе отсрочено за 2022 година заради глобалната пандемия и България за пореден път се е включила (с изключение единствено на 2003 година), което вероятно ще разкрие полезна и актуална информация за нашето образование.

PISA Science literacy (природни науки - грамотност) проверява не само знанията по природни науки, но и дали тези знания могат да се приложат с цел идентифицирането на въпроси, извличането на нови знания, както и формирането на аргументирани изводи в научен контекст (NCES, 2020). Съдържателно погледнато, PISA Science най-вече обхваща предметите физика, химия, биология и география. Изследователите, които изграждат рамката на PISA дефинират научната грамотност чрез следните три умения (OECD, 2019):

- научно обяснение на явления;
- оценка и планиране на научно изследване;
- научно тълкуване на данни и факти,

вследствие на което идентифицират и определят нужните видове знания за успешното извършване на тези действия - те са не само съдържателни; биват също процедурни и епистемологични. Повече информация относно тестовата рамка на PISA Science, технически детайли около проучването, примерни тестови въпроси и обобщение на резултатите/тенденции през последните 20 години, заинтересованите читатели могат да намерят на страницата на PISA (OECD, 2023). Важно е да се подчертае, че изследването PISA използва и анкетни данни с цел извличането на информация за редица сложни взаимовръзки и тенденции в световното образование.

Второто мащабно изследване, което проверява състоянието на образованието (по-конкретно - на обучението по математика и природни науки) и проучва факторите, които евентуално имат влияние върху него е TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study). Проучването се организира от IEA (International Association for the Evaluation of Educational Achievement), която осъществява международна колаборация между отделни изследователски институции, включително държавни агенции, учени и аналитици. IEA цели подобряването на световното образование (IEA, 2023). За първи път TIMSS е проведено през 1995 година и се организира веднъж на всеки 4 години. България е участвала всеки път, с изключение на 2011 година. TIMSS събира тестови данни от ученици в 4-ти и 8-ми клас (както и от ученици в края на гимназиалния етап - TIMSS Advanced), съвместно с анкетни данни от учениците, родителите, учителите и директорите на съответните училища. В контекста на изследователски хипотези следва да се подчертае (и да бъде изказана благодарност към IES/NCES - институт за образователни науки към министерството на образованието в САЩ), че е предоставен публичен достъп до инструмент за обработка на данните от TIMSS. Това позволява проверката на статистически значими връзки. Този процес ще бъде демонстриран и приложен като част от по-долу описания вторичен анализ.

Както PISA, така и TIMSS работи с ученически резултати в областта на математиката и на природните науки (както и с анкети), но съществуват и различия. Авторът (изследовател в областта на образованието) Tom Loveless през 2013 година публикува доклад (Loveless, 2013) именно на тази тема и компактно формулира следните три разлики:

- TIMSS принципно се придържа към съдържанието в учебните програми, докато PISA проверява дали учениците могат да приложат наученото за разрешаване на “реални” проблеми;

- Тестовите на PISA се попълват от ученици на определена възраст (15-годишни) докато TIMSS подбира ученици според класа (4-ти и 8-ми клас или края на гимназиалния етап в TIMSS Advanced);
- Двете изследвания се организират от различни организации (както бе описано по-горе).

От изследователска гледна точка може да се каже, че именно поради наличието на различия двете проучвания се допълват. Подготовката на сравнителния анализ в настоящия труд разкри редица държави, които се класират много добре в едно от двете изследвани, но не толкова добре в другото - наблюдение, което е забелязал и авторът Loveless, защото изрично го споменава в горесцитирания доклад. За целите на сравнителния анализ (при подбора на страни за сравнение) следва да бъдат ползвани резултатите и от двете изследвания.

I.3.2 Изследването TIMSS и TIMSS Advanced (2015)

Подробно описание на международното проучване TIMSS Advanced, конкретно за 2015-та година, може да бъде намерено в дисертацията. Там са представени и резултатите от вторичен анализ на данни от TIMSS Advanced (2015), посредством софтуера IDE. Подобно на SPSS и JASP, IDE е инструмент за обработка на данни (NCES(IDE), n.d.). Установени са статистически значими връзки между ученическите резултати по физика и редица фактори (запаметяване на факти, роля на домашните работи и много други). Две важни резултата, които всъщност мотивират проучванията в следващите две глави, са следните. Установена е:

- **негативна** връзка на резултатите с обема на материала ($p=0,04$);
- **позитивна** връзка на резултатите с разнообразяване на методите в час ($p=0,01$).

I.4 Сравнение на учебни програми (атомна и субатомна физика)

I.4.1 Въведение

В този раздел ще бъдат идентифицирани конкретни прилики и разлики на нашата общообразователна гимназиална учебна програма по физика, сравнена с други страни. Когато става дума за сравнение, възникват два съществени въпроса. Каква е целта на изследването и на базата на кои критерии ще бъдат подбрани държавите за сравнение?

Основната цел на настоящето изследване се състои в контекстуализацията на обучението ни по физика в по-голям мащаб и по-конкретно - в идентифицирането на полезни идеи/възможности за бъдещи промени в учебната програма. Стремежът не е насочен към критикуване на националната ни програма (която всъщност е изключително обширна и компактно формулирана), а по-скоро се търсят възможности за по-ефективно усвояване на материала от сегашните и бъдещи поколения. Функционалната цел на сравнението се състои в целенасочено намиране, събиране и категоризиране на информация. Обикновено тя не е еднотипна; фигурира в различни по характер източници; не е (безплатно) публично достъпна или е предоставена на език, който изследователят не владее. Във връзка с повечето от тези трудности бе намерено решение, но процесът като цяло отнема време и усилия. В допълнение се търси компактна визуализация на сравнението. Надеждата е по-долу представената Таблица 4 да изпълни именно тази функция.

I.4.2 Подбор на държави

Бижков и Попов подбират държави на базата на икономическото им развитие (Бижков&Попов, 1994), а към основния подбор добавят още страни с цел:

- уголемяване на общия брой държави и
- вмъкване на различни образователни модели.

Важно е да се подчертае, че гореспоменатите автори сравняват различни аспекти на образователните системи като цяло, т.е. техните национални цели, администрация, финансиране, структура и т.н. Настоящото изследване също има допир с някои от тези фактори, но основната цел е сравнението на учебни програми в гимназиален етап. Подобно съдържателно сравнение на конкретна част от учебни програми публикуват (Stadermann et al., 2019), в контекста на квантовата механика в училищата по света. Предвид конкретната цел на тяхното проучване, те подбират страните за сравнение индиректно. Първо провеждат системно проучване посредством въвеждането на ключови думи в база данни (Eric, Google Scholar и т.н.). В библиографиите на така намерените публикации авторите откриват източници, които съдържат информация за това дали, доколко и как се изучава квантовата физика в училища. По този начин те набират учебни програми, публикации свързани с методи на преподаване и коментари относно най-разнообразни аспекти на квантовата физика. Веднъж подбрани, документите се анализират (и категоризират по произход - държава или провинция/и на държава).

В настоящето проучване бяха избрани редица страни, за 9 от които бе намерено достатъчно количество информация за сравнение с България по определени аспекти. Държавите бяха подбрани предимно на базата на високи резултати в двете изследвания PISA и TIMSS (вкл. и "TIMSS Advanced"). Тук фигурират редица тънкости във връзка с подбора.

Първо, нито едно от двете изследвания не обхваща ученици в последните години от гимназиалния етап (с изключение на "TIMSS Advanced", което в сравнение включва далеч по-малко страни). TIMSS работи с резултати на ученици от 8-ми клас, а PISA - предимно с 9-ти/10-ти клас (за България: 9-ти). Поради тази причина не може да се твърди, че високи резултати от тези изследвания задължително означават добри постижения в атомната/субатомната физика в гимназиален етап. От друга страна има смисъл да се разгледат програмите на добре представилите се държави (PISA/TIMSS) и в по-горните класове, тъй като образованието в една държава все пак включва елементи на последователност, надграждане, национални цели/приоритети и т.н. Също така аспекти като финансиране, методи на преподаване и други вероятно се пренасят и в късния гимназиален етап. Доколко това се дължи на учители, преподаващи едновременно в няколко образователни етапа (например в 7-ми, 10-ти, 11-12 клас и т.н.), на хомогенно финансово разпределение от 1-ви до 12-ти/13-ти клас или на други фактори, излиза от рамките на настоящето проучване.

Освен това фигурират редица държави, които са участвали само в едно от двете гореспоменати мащабни изследвания. В допълнение въпросните проучвания обхващат резултати на държави, които оттогава са претърпели реформа в учебните програми (например България).

Както бе споменато, PISA и TIMSS тестват учениците по различен начин. Въпросът кой от двата списъка с добре представили се държави да бъде приоритизиран обаче не е нужно да се дискутира, тъй като тук са разгледани страни на челни места и в двете проучвания поотделно.

Така подбраните списъци с държави бяха съкратени по следния начин. Избира се част от добре представилите се държави в PISA 2018 и/или в TIMSS 2019 и/или в TIMSS Advanced 2015, които също така:

- са с изключително високи национални резултати и/или
- са сравними с България по географско положение и/или
- са сравними с България по население и/или

- са икономически сравними с България (по БВП на глава от населението) и/или
- се намират в друг континент (с цел разнообразяване и увеличаване на географския мащаб на сравнението).

Други възможни стратегии, които в крайна сметка не бяха приложени в подбора включват разглеждането на националността на кандидат-студенти по физика в определени университети по света, годишния брой патенти в областта на технологиите и др.

Страните, които ще бъдат сравнени в следващия раздел са България, Словения, Полша, Естония, Сингапур, Литва, Норвегия, Канада (Алберта), Австралия (Куинсланд), Япония. Таблица 2 съдържа информация за средните резултати на ученици от тези държави (OECD, 2019, IEA, 2019, Mullis et al., 2016). Удебелено са представени тези PISA резултати, които са значително по-високи от средните за държавите членки на ОИСР (средният резултат е 489 точки). По този начин са представени и резултатите от изследването TIMSS/TIMSS Advanced, в което средата се равнява на 500 точки.

| Държава | Резултат (Mean score: Science) PISA (2018) | Резултат (Average scale score (Science 8th grade):TIMSS 2019) | Резултат (TIMSS Advanced 2015: Physics Overall scale) |
|-----------|--|--|---|
| Австралия | 503 | 528 | - |
| България | 424 | - | - |
| Канада | 518 | 537 (Квебек); 522 (Онтарио) | - |
| Естония | 530 | - | - |
| Япония | 529 | 570 | - |
| Литва | 482 | 534 | - |
| Норвегия | 490 | 495 | 507 |
| Полша | 511 | - | - |
| Сингапур | 551 | 608 | - |
| Словения | 507 | - 551 (Science 8th grade: TIMSS 2015) | 531 |

Таблица 2. Средни резултати в PISA, TIMSS и TIMSS Advanced

I.4.3 Резултати

I.4.3.1 Образователни структури

Прави впечатление разнообразната терминология по отношение на отделните образователни етапи. Международната класификация ISCED (International Standard

Classification of Education) (Eurostat, 2023) цели да облекчи организацията на образователни програми. Училищното образование включва етапите ISCED 1, ISCED 2 и ISCED 3. В нашата образователна система например ISCED 1 съответства на началното училище (1-4 клас), ISCED 2 обхваща прогимназията (5-7 клас), а ISCED 3 - двата гимназиални етапа (European Commission, 2023). Различните страни се отличават по продължителност както на гимназиалния етап, така и на задължителното образование. В България част от гимназиалния етап (първи) е задължителен (8-10 клас). Именно атомната физика в този етап ще бъде сравнявана със съответните чуждестранни учебни програми. До каква възраст образованието е задължително и кога започва гимназиалният етап в другите подбрани държави е описано в дисертацията.

Следва, че в много от случаите гимназиалният етап не е задължителен. Тогава възниква следният въпрос. Каква част от завършилите пред-гимназиален етап (ISCED 2) продължава образованието си (ISCED 3)? Да се отговори на този конкретен въпрос чрез публично достъпните образователни индикатори на статистическите структури на ЮНЕСКО и Световната банка се оказва изненадващо обстоятелствено. За целите на настоящото сравнение е достатъчно да се разгледа каква част от населението в конкретния възрастов диапазон (съобразно началото и продължителността на ISCED 3 в съответната страна) официално се обучава по ISCED 3. Този въпрос се анализира с цел приблизителното (или поне ориентировъчно) определяне на дяла ученици, които всъщност следват учебните програми по физика (ISCED 3). По този начин анализът обхваща както наличието (или отсъствието) на конкретен съдържателен индикатор от атомната/субатомната физика в програмата на дадена държава, така и приблизителния дял ученици в тази възрастова група, които въобще учат по тази програма.

Втората колона на Таблица 3 разкрива, че над 80% (най-често над 90%) от учениците в съответната възрастова група се обучават в етап ISCED 3. Третата колона посочва дяла ученици, които се обучават в “общии” гимназии. Данните са взети от сайта на Статистическия институт на Юнеско (UIS, n.d.).

| Държава | Total net enrolment rate, upper secondary (ISCED 3), both sexes (%);(2020 г.) | Share of all students in upper secondary education enrolled in general programmes (%);(2020 г.) |
|------------------------|---|---|
| Австралия (национално) | 92.8 | 48.6 |
| България | 81.6 | 48.5 |
| Канада (национално) | 89.8 | 91.5 |
| Естония | 95.6 | 60.1 |
| Япония | 98.0 | 78.0 |
| Литва | 98.3 | 75.2 |
| Норвегия | 91.8 | 48.7 |
| Полша | 97.9 | 46.9 |
| Сингапур | 98.9 | 100 |
| Словения | 98.6 | 29.2 |

Таблица 3. Дял ученици в образователен етап ISCED 3 и дял ученици в общи гимназии

I.4.3.2 Разновидност на учебните планове

Третата колона на Таблица 3 напомня, че в ISCED 3 принципно фигурират няколко вида гимназии, в зависимост от конкретната образователна структура. Атомната и субатомната физика на ниво ISCED 3 преобладаващо фигурира в програмите на “общите гимназии”. Прави впечатление по-академичният стил на съответните програми (спрямо професионалните гимназии), тъй като основната им функция включва подготовката и на ученици, които ще преследват по-нататъшното университетско образование. Професионалните програми в дадена държава (включително България) обикновено са много на брой, тъй като съществува подготовка за редица професии. Основно поради тези две причини тук представеното сравнение се ограничава до учебни програми по физика в “общ” гимназиален етап (ISCED 3) и не включва преглед на професионалните (или други по вид) програми.

Следва, че програмите могат да се отличават значително по обхват както на учебното съдържание, така и на дяла ученици, които всъщност се обучават по тях. Някои програми по физика (като например българската) се изучават от всички ученици, посещаващи общи гимназии. Други са специализирани - изучават се предимно в по-горните класове на общите гимназии и целенасочено покриват голям брой съдържателни елементи, т.е. представляват подготовка за зрелостен изпит по физика (или природни науки) в края на средното образование. В нашата общообразователна структура такъв вид програма се среща и в профилираната подготовка. В някои други страни голяма част от атомната/субатомната физика се срещат единствено в тези специализирани (и изборни) програми. Това ще бъде коментирано по-долу.

За учениците, обучаващи се в подбраните държави, и които са избрали общи гимназии (в етап ISCED 3), съществуват два варианта да изучават физиката, в зависимост от конкретната образователна система. Единият вариант я включва като задължителен предмет. Други учебни планове съдържат физиката като избираем предмет. В някои случаи (например в Япония) трябва задължително да се покрият определен брой предмети от областта “Природни науки”. По този начин могат да се изучават физика и биология, физика и химия и т.н. (Web Solutions LLC, 2023). Разновидност на този вид избираемост се среща в провинцията Алберта (Канада). Там обучението задължително включва интегриран предмет “Природни науки” в 10-ти клас (Government of Alberta, n.d.). Тези ученици, които желаят диплома за завършено средно образование в Алберта трябва в 11-ти клас да покрият определен брой “кредити” в категорията “Природни науки” (Government of Alberta, 2023). Именно там могат да изберат физиката. Изцяло избираема е физиката в 12-ти клас, където всъщност се срещат (почти) всички от гореспоменатите индикатори в контекста атомна/субатомна физика.

В други страни (например в Сингапур) физиката в гимназиален етап ISCED 3 е изцяло избираема с цел подготовка за краен изпит по физика.

I.4.3.3 Сравнение по съдържателни индикатори

Следва сравнение на нашата общогимназиална (ООП) програма по физика със съответните програми в други страни. Тук ще бъде представено и коментирано наличието на съдържателни индикатори от атомната и субатомната физика, които обикновено се изучават в образователен етап ISCED 3. В дисертацията, за всяка страна (или провинция) е формулиран кратък текст, който да контекстуализира представената в Таблица 4 информация.

Колоните на Таблица 4 се отнасят за конкретна държава и са подредени приблизително по следния начин. Държави, които имат прилика с България или по

население, или икономически (БВП на глава от населението) или по географско положение са разположени по-вляво. Поради тази причина първите шест държави са европейски, след което са разположени държави от други континенти. Най-вдясно е поставена страната Сингапур, чиято специфична образователна система ще бъде описана по-долу. Поради силната децентрализация Канада и Австралия не са разгледани в национален мащаб. Вместо това таблицата включва информация за провинцията Алберта в Канада и Куинсланд в Австралия.

Сравнено с България, всяка от държавите в таблицата има значително по-висок резултат в изследването PISA 2018 (Science). Под наименованието на държавата е изписан и приблизителният дял ученици, които имат допир с разгледаната учебната програма/и по физика. Този дял съответства на гореспомнатия дял участници в общогимназиални (не професионални или други) програми, етап ISCED 3.

Ако даден съдържателен елемент не се съдържа в разгледаната учебна програма за конкретна страна, тогава съответната клетка в таблицата е запълнена с **черен цвят**. Ако съдържателният индикатор фигурира в програмата, тогава като число се изписва в кой клас (най-вероятно) се изучава. Само някои програми изрично споменават за кой клас е предназначена дадена тема. Характерът на тук разглежданата област от училищната физика обаче е такъв, че обикновено се покрива (и така е подредена в самите програми) накрая на документа. Все пак трябва да се внимава, защото в няколко страни например елементи от ядрената физика се изучават доста преди атомната физика. Това усложнение налага работата и с учебни планове, които понякога трудно се намират. Ако клетката в таблицата е запълнена с цвят (зелен/жълт), тогава съответният индикатор не се изучава задължително. Тоест, фигурира в програма по физика като избран предмет. Ако съществуват няколко нива на изборни курсове (най-често “основен” и “напреднал”), тогава зеленият цвят се използва за по-основния, а жълтото/оранжево за по-напредналите курсове.

Към индикаторите E1-E19 в Таблица 1 са добавени още четири (E20-E23) - принципи на неопределеност, модели на атома (исторически), електронни микроскопи и елементи от квантовата физика.

| Индикатор | Описание | България (дял ученици ≈ 50%) | Полша (дял ученици ≈ 50%) | Словения (дял ученици ≈ 30%) | Литва (дял ученици ≈ 75%) | Естония (дял ученици ≈ 60%) | Норвегия (дял ученици ≈ 50%) | Канада (Алберта) (дял ученици ≈ 90% средно за страната) | Австралия (Куинсланд) (дял ученици ≈ 50% средно за страната) | Япония (дял ученици ≈ 80%) | Сингапур (дял ученици ≈ 100%) |
|-----------|--|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|---|--|-------------------------------------|--|
| E1 | Хипотеза на Планк (обяснение на топлинното излъчване) | | | | | 11/12 (изборен) | | 12 (изборен - “Физика”) | 12 (изборен - “Физика”) | | |
| E2 | Фотоелектричен ефект | 10 | 11 | 12 | 12 (изборен) | 11/12 | 12/13? (изборен - “Физика 2”) | 12 (изборен - “Физика”) | 12 (изборен - “Физика”) | 11/12 (изборен - “Физика”) | 12 (A2) |
| E3 | Вълни на дьо Бройл (количествено) | 10 | 12 (изборен) | | | 11/12 | | 12 (изборен - “Физика”) | | | 12 (A2) |
| E4 | Корпускуларно-вълнов дуализъм | 10 | 12 (изборен) | | 12 (изборен) | 11/12 | 12/13? (изборен - “Физика 2”) | 12 (изборен - “Физика”) | 12 (изборен - “Физика”) | 11/12 (изборен - “Физика”) | 12 (A2) |
| E5 | Квантувани енергийни нива (спектри) | 10 | 11 | 12 | 12 (изборен) | 11/12 | 11/12? (изборен - “Физика 1”) | 12 (изборен - “Физика”) | 12 (изборен - “Физика”) | 11/12 (изборен - “Физика”) | 12 (A2) |
| E6 | Взаимодействие между светлина и материя | 10 | 11 | 12 | 12 (изборен - напреднал курс) | 11/12 (изборен) | 11/12? (изборен - “Физика 1”) | 12 (изборен - “Физика”) | 12 (изборен - “Физика”) | 11/12 (изборен - “Физика”) | 12 (A2) |
| E7 | Технически приложения | 10 | 12 (изборен) | 12 (изборен) | 12 (изборен - напреднал курс) | 11/12 (изборен) | 12/13? (изборен - “Физика 2”) | 12 (изборен - “Физика”) | 12 (изборен - “Физика”) | 11/12 (изборен - “Физика”) | 12 (A2) |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|--|----|----|--------------|--------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-----------|
| E8 | Основни характеристики на ядрата/ядрените сили | 10 | 11 | 12 | 12 (изборен) | 11/12 | 11 | 12 (изборен - "Физика") | 11 (изборен - "Физика") | 10/11 (изборен - "Основна физика") | 10/11 (O) |
| E9 | Енергия на връзката и масов дефект | 10 | 11 | 12 | 12 (изборен) | 11/12 | | 12 (изборен - "Природни науки") | 11 (изборен - "Физика") | 11/12 (изборен - "Физика") | 12 (A1) |
| E10 | Период на полуразпадане (без формули) | 10 | 11 | 12 | 12 (изборен) | 11/12 | | 11 (изборен - "Природни науки") | 11 (изборен - "Физика") | 10/11 (изборен - "Основна физика") | 10/11 (O) |
| E11 | Биологично действие на йонизиращите лъчения | 10 | 11 | | 12 (изборен) | 11/12 | 11 | 12 (изборен - "Физика") | | | 12 (A1) |
| E12 | Видове радиоактивност | 10 | 11 | 12 | 12 (изборен) | 11/12 | 11 | 12 (изборен - "Природни науки") | 11 (изборен - "Физика") | 10/11 (изборен - "Основна физика") | 10/11 (O) |
| E13 | Приложения на радиоактивни изотопи (радиовъглеродно датиране, медицина, ...) | 10 | 11 | 12 (изборен) | 12 (изборен) | 11/12 | | 11 (изборен - "Природни науки") | 11 (изборен - "Физика") | 10/11 (изборен - "Основна физика") | 10/11 (O) |
| E14 | Ядрени реакции (делене, синтез) | 10 | 11 | 12 | 12 (изборен) | 11/12 | 11/12? (изборен - "Физика 1") | 12 (изборен - "Природни науки") | 11 (изборен - "Физика") | 10/11 (изборен - "Основна физика") | 12 (A1) |
| E15 | Ядрен реактор (принцип на действие, защита) | 10 | 11 | 12 | 12 (изборен) | 11/12 | | 12 (изборен - "Природни науки") | 11 (изборен - "Физика") | 10/11 (изборен - "Основна физика") | |
| E16 | Термоядрен реактор (принцип, управляемост, перспективи) | 10 | | 12 (изборен) | 12 (изборен) | 11/12 (изборен) | | 12 (изборен - | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----|---|----|--|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| | | | | | | | “Природни науки” | | |
| E17 | Елементарни частици (лептони, кварки) и античастици | 10 | | 12 (изборен - напреднал курс) | 11/12 (изборен) | 12/13? (изборен - “Физика 2”) | 12 (изборен - “Физика”) | 12 (изборен - “Физика”) | 11/12 (изборен - “Физика”) |
| E18 | Адрони (бариони и мезони) | 10 | | 12 (изборен - напреднал курс) | 11/12 (изборен) | 12/13? (изборен - “Физика 2”) | 12 (изборен - “Физика”) | 12 (изборен - “Физика”) | 11/12 (изборен - “Физика”) |
| E19 | Фундаментални взаимодействия (сравнение; носители) | 10 | | | | 12/13? (изборен - “Физика 2”) | | 12 (изборен - “Физика”) | |
| E20 | Принципи на неопределеност | | | | 11/12 | 12/13? (изборен - “Физика 2”) | | | 12 (A2) |
| E21 | Модели на атома (исторически) | | | 12 (изборен - напреднал курс) | 11/12 | | 10 (Природни науки) | 12 (изборен - “Физика”) | |
| E22 | Електронни микроскопи | | | | 11/12 (изборен) | | 12 (изборен - “Физика”) | | |
| E23 | Елементи от квантовата физика | | | | 11/12 | 12/13? (изборен - “Физика 2”) | 12 (изборен - “Физика”) | 12 (изборен - “Физика”) | |

Таблица 4. Сравнителен анализ на учебни програми по съдържателни индикатори

I.4.3.4 Изводи

Учебно съдържание (атомна/субатомна физика)

Таблица 4 онагледява кои съдържателни индикатори фигурират в програмите по физика на всяка от избраните държави (вкл. изборни/задълбочени курсове): фотоелектричен ефект (E2), квантувани енергийни нива/спектри (E5), взаимодействие светлина-материя (E6), технически приложения (на атомната физика) (E7), основни характеристики на ядрата/ядрени сили (E8), видове радиоактивност (E12) и ядрени реакции (E14). Следва, че 7 от 18-те индикатори (не броим E1) в нашата програма по физика (ООП) се срещат и при всяка от другите анализирани държави.

Останалите 11 индикатори могат да се подредят, започвайки с темите, които са най-малко застъпени в другите програми:

| | |
|---|-------------------|
| E19 - Фундаментални взаимодействия вкл. носители - само 2 от 9 държави; | |
| E16 - Термоядрена енергетика | - 4 от 9 държави; |
| E3 - Вълни на дьо Бройл (количествено) | - 4 от 9 държави; |
| E11 - Биологично действие на йонизиращите лъчения | - 6 от 9 държави; |
| E17 - Елементарни частици и античастици | - 6 от 9 държави; |
| E18 - Адрони (бариони и мезони) | - 6 от 9 държави; |
| E15 - Ядрен реактор (принцип на действие, защита) | - 7 от 9 държави; |
| E4 - Корпускулярно-вълнов дуализъм | - 8 от 9 държави; |
| E9 - Енергия на връзката и масов дефект | - 8 от 9 държави; |
| E10 - Период на полуразпадане (без формули) | - 8 от 9 държави; |
| E13 - Приложения на радиоактивни изотопи | - 8 от 9 държави. |

В България се покриват както основни, така и по-специфични концепции от атомната/субатомната физика още в 10-ти клас (ООП). Това не се наблюдава при нито една от другите 9 държави (Таблица 4). Според програмите в някои страни 10-ти клас може да съдържа основни елементи от ядрената физика или проследяване/изброяване на различните атомни модели, но това са изключения.

В общите гимназии на Полша, Словения и Естония физиката задължително се изучава, но и в трите държави атомната/субатомната физика се покрива в по-горни класове, сравнено с България. Програмите на тези страни по-скоро наподобяват миналата ни (“старата”) учебна програма по физика.

Гимназиалната програма (по физика) в Полша най-вече се доближава до нашата. Отчитайки и програмите на изборните предмети “физика”, може да се направи следното наблюдение: по отношение на обхват на темите Естония, Литва и провинцията Алберта (Канада) почти изцяло съдържат индикаторите, застъпени в нашата учебна програма (с изключение само на E19 или E19/E3).

Като цяло индикаторите E2-E19 по-често се намират в програмите по физика като изборен предмет, включително и в напреднали курсове в края на гимназиалния етап, които се явяват подготвителни за матурата по физика.

Тези наблюдения могат да се допълнят от анализа на Stadermann, van den Berg и Goedhart (2019), които също сравняват наличието на дадени теми (от квантовата физика) в чуждестранни гимназиални учебни програми по физика. 7 от техните индикатори (Q1-Q7) съвпадат с някои от тук споменатите. Според тяхното проучване (което обхваща много учебни програми от 15 различни държави) елементи от атомната физика задължително се изучават още в 10-ти клас единствено в провинцията Бавария (Германия).

Учебни програми (обща наблюдения)

Следват коментари относно определени характеристики на учебните програми по физика. Българската програма (ООП) ясно дефинира за кой клас е предназначена, включва кратък увод, очаквани резултати, годишен брой часове вкл. процентно разпределение на вида уроци и форми за оценяване, препоръчителни уроци за лабораторни работи, компактно формулирани съвети относно методи на обучение, междупредметни връзки. Очертава се компактният формат на програмата, включително и на учебното съдържание - изброени са очакваните компетентности и нови понятия за всяка от темите.

Следните впечатления възникнаха по време на разглеждането на чуждестранни учебни програми по физика. Словения изброява поименно членовете на авторския колектив/комисия, който е изработил/одобрил учебната програма по физика. Освен наличието на университетски представители (направления математика/физика и методика) в този списък прави впечатление и големият брой учители. Изброени са членовете и на екипите, отговорни за по-нататъшни промени в програмата. Наличието на този тип информация се наблюдава и при български учебни програми (по професионална подготовка).

В учебното съдържание по физика понякога се назовават конкретни практическо-ориентирани действия във връзка с дадена тема. Желаните резултати от общогимназиалното обучение в Словения включват следния пример (Slovenian Ministry of Education, n.d.):

Очаква се учениците да познават структурата на атома, да знаят как да намерят данни за заряда и масата на електрона, както и да определят масата на атомното ядро, използвайки периодичната таблица.

Това са конкретни умения, които по-прецизно ориентират учителите кои насоки/източници да включат в преподаването, какви по вид упражнения да фигурират в плана им за съответния урок и т.н. Този пример също демонстрира ориентацията към умения, свързани с намиране на информация и прилагане на знания в определен контекст. Програмата на Естония (Estonian Ministry of Education and Science, 2014) включва като очакван резултат от обучението следния пример:

да анализира корелацията между специфичната енергия на връзката и масовото число по графика.

Редно е да се подчертае, че (макар и по-рядко) нашата учебна програма (за 10-ти клас) също включва подобни примери (Министерство на образованието и науката, 2018):

*Разграничава радиоактивните ядра по техния период на полуразпадане и определя стойността му от **графиката** на процеса (без формулата на закона за радиоактивното разпадане).*

Прави впечатление наличието на разнообразни изборни теми в учебните програми по физика. Словения категоризира елементите в учебното съдържание - фигурират понятия и концепции, които се считат за основни. С курсивен шрифт се изписва надграждащо съдържание, което е изборно и се включва по преценка на учителя. Изрично се споменава, че този избор зависи от групата ученици в класа, материалната база в училището и професионалната насоченост/компетентност на самия учител. Изцяло изборният материал се изписва с курсивен шрифт и се маркира по определен начин "(I)". Този материал излиза от рамките на задължителния и се изучава в зависимост от насочеността на училището. Покрива се само при наличието на достатъчно време за по-задълбочено изучаване, а не по чисто "информативен" начин. Освен в рамките на учебен час, тези теми се препоръчват и за клубове по природни науки, специални училищни проекти или изцяло изборния предмет "физика". В учебната програма на Естония също се намира избираемо съдържание, част от което

поставя сериозен акцент върху междупредметните връзки. Пример за интегриран курс от този тип е “Наука, технология и общество”, в който се разглеждат конкретни проблеми (климат, озонови дупки, вируси, хранителни добавки, материали в ежедневието, електромагнитно лъчение от устройства, алтернативни източници на енергия, устойчива енергия по домовете и т.н.) с цел дискутирането и решаването на проблеми, които са важни за учениците. Споменават се интегрирани курсове, в които се разглежда роботиката, 3D-моделирането и други направления, които учениците могат да преследват след завършено училищно образование.

Програмата по физика на провинцията Куинсланд (Австралия) е организирана по начин, който позволява във всеки раздел да се стимулират редица когнитивни процеси - от описанието, разбирането и приложението до тълкуването на научни наблюдения и резултати, анализ на научни процеси и твърдения, както и комуникиране на научни резултати, аргументи и заключения (QCAA, 2022). Освен това програмата включва препоръчителен брой часове за покриване на всяка тема поотделно, както и ключови въпроси в някои от разделите. Те могат да се дискутират с учениците като уводна/мотивационна част и са особено полезни за начинаещи учители. Програмата завършва с терминологичен речник и цитирани източници.

Разгледаната полска учебна програма по физика (изборен/задълбочен вариант, съставена от Maria Kallas и Karol Jagielski) (Polish Ministry of Education, n.d.) започва с увод, който разкрива как и защо авторите са поставили нейните основи. Става въпрос за взаимната комуникация и подкрепа между двама учители. По отношение на преподаването по физика се споменава и колко е ценна обратната връзка от учениците. Авторите са си поставили за цел да съставят програма, която да позволява ефективно преподаване и същевременно да грабва интереса на учениците. Споменава се колко е важно учителят да владее импровизацията, в дискусиите да бъде партньор на учениците - да не критикува идеите им, а по-скоро да мотивира задаването на следващия въпрос. По отношение на конкретни методически насоки за учители, авторите споделят как според тях един от най-добрите начини за усвояване на материала и усъвършенстване на редица умения е физичният експеримент. Насърчават учителите да провеждат такива упражнения дори и тогава, когато не са налични много материали в училищните лаборатории. Обръща се внимание на факта, че с подръчни материали може да се постигне много. Креативността на самите ученици може да се ползва с цел обогатяване на материалната база в училище. Предлага се някои от демонстрациите да бъдат провеждани от избрани ученици (с помощ от учителя). Като цяло авторите защитават идеята, че учениците трябва да са активните участници в обучителния процес. Основната ролята на учителя е посредством експертизата си да организира смислени занятия и да насочва/съпътства учениците с цел те самите да обогатят собствените знания и умения.

I.5 Заключение

Атомната, ядрената физика и физиката на елементарните частици са широко застъпени в българската учебна програма по физика за 10-ти клас. Макар и в по-опростен вариант (сравнено с материала от профилирана подготовка), редица теми от тези области все пак фигурират в общообразователната подготовка на голям брой български ученици. Без съмнение целта на така организирана програма е да обогати общата култура на учениците преди (тези, които продължат образованието) да се профилират. Проведеният анализ обаче разкрива значителни различия спрямо учебните програми (и стратегии) на редица други държави.

Прави впечатление, че нашата програма покрива централни теми като фотоелектричен ефект, атоми и връзката им с линейни спектри, както и технически приложения, радиоактивност и ядрени реакции - съдържание, което се намира в

програмите и на другите държави. От друга страна нашите ученици още в 10-ти клас изучават голям брой допълнителни теми, много от които не фигурират в други учебни програми дори до края на гимназиалния етап и дори в рамките на изборни или задълбочаващи варианти на предмета “Физика”. Като пример за по-рядко срещан съдържателен елемент могат да послужат носителите на (всяко от) фундаменталните взаимодействия в природата, които по програма се очаква учениците да могат да изброяват. Въобще елементарните частици рядко се дискутират в рамките на задължителен природонаучен предмет в училище. Друг пример се явява термоядрената енергетика, която в нито една от другите държави не фигурира като тема от задължителен курс по физика. По-скоро може да се срещне като смислена задълбочаваща тема (например в Естония), за която са предназначени допълнителни учебни часове. Количественото описание на вълните на дьо Бройл също не е включено в повечето от разгледаните програми, въпреки че само в една държава не се говори за по-общата концепция “корпускулярно-вълнов дуализъм”.

Следва, че други държави поставят тежестта или върху покриването на теми от други раздели и/или върху покриването на по-малко теми с цел да се задълбочат/надградят дадени концепции, да се остави повече време за упражнение или да се затвърди материалът. В този контекст прави впечатление как определени държави формулират очакваните резултати от обучението. В някои програми (вкл. българската) се назовават конкретни действия, които учениците трябва да упражняват в час - намирането на определен вид информация, работа по графика в даден контекст, работа със специфична таблица и т.н. Този тип информация не само разкрива приоритетите във връзка с конкретни умения на учениците, но и се оказва полезен за съставянето на план на конкретния урок. Друга характеристика на учебните програми се явява наличието на изборни теми. Вероятно си струва да се разглеждат варианти, в които определена част от материала не се покрива задължително, а според характеристики на училището, конкретната учебна година, конфигурация в класа и професионална компетентност/възможности на самия учител.

Включването на ключови (примерни) въпроси към някои от темите от програмата би могло да улесни работата на учителите, особено на начинаещите.

На базата на тези резултати и наблюдения има смисъл да бъдат преразгледани форматът и съдържанието на учебната програма по физика (ООП), т.е. постоянно да се търси балансът между броя различни теми в 10-ти клас, нивото на тяхното задълбочаване и възрастта на учениците. Надеждата е тук проведенният анализ да подпомогне този процес конкретно чрез идентифицирането на теми, които са най-силно или най-слабо застъпени в други държави, както и с допълнителна информация, която евентуално може да бъде включена в програмата или да подпомогне разглеждането на други възможни конфигурации в учебния план по физика (изборни теми/предмети и т.н.). Ако така проведенният сравнителен анализ на тема атомна/субатомна физика се окаже полезен за вземането на национални образователни решения, тогава вероятно си струва да бъде проведен в контекста на всеки друг предмет, включително и на физиката като цяло.

Глава II

Проучване на учебни методи в атомната и субатомната физика в гимназиален етап

II.1 (Съкратен) Увод/мотивация

Физиката в гимназиален етап обхваща някои трудни концепции, особено във връзка с микроскопични явления. Там заложените принципи често противоречат на предишните ученически схващания. Освен това явленията рядко са видими с просто

око. Учениците трябва да разработят подходящ ментален модел и да го съотнесат към законите на природата.

Няколко статии документират и анализират погрешни схващания на учениците в областта на атомната, ядрената физика и физика на елементарните частици. Tuzón и Solbes (2016) например съобщават, че някои ученици може и да са чували за термини като ускорители на частици или Хигс бозон, но понякога бъркат модерните концепции с идеи от класическата физика. Авторите емпирично показват, че учениците често не разграничават фундаменталните взаимодействия - примерно когато се наложи да идентифицират силата на привличане между електрона и атомното ядро. Други докладвани трудности са свързани с въпроса как взаимно отблъскващите се протони могат да образуват стабилни ядра и кой вид взаимодействие фигурира при ядрените реакции. Наблюдава се как ученици бъркат йерархията на микроскопичните частици. Срещат се твърдения, че ядрата са съставени от атоми и т.н. Очертава се необходимостта от учебни занятия, които да изграждат систематични познания и по този начин да позволяват на учениците идентифицирането на частици/порядък, както и правилната контекстуализация на фундаменталните взаимодействия.

Съществуват погрешни схващания, които са свързани с моделите на атома и на електромагнитното лъчение (фотони). Savall-Aleman et al. (2016) докладват множество трудности във връзка с атомните спектри и тяхното тълкуване. Учениците не отчитат квантуването на енергетичните нива, възприемат всеки един попадащ фотон като абсорбиран от атома, бъркат енергията на основното състояние, погрешно предполагат правопрпорционална връзка между интензитета и честотата/енергията на лъчението. Други погрешни схващания могат да бъдат намерени в дисертацията.

Всяка една учебна дейност в рамките на ядрената физика в гимназиален етап неизбежно се сблъсква с "радиофобията" (Tsuruta et al., 2009) на някои ученици, вероятно предизвикана от медиите или от минали исторически събития. Липсата на знания пречи на учениците да схванат ползите от радиоактивността за обществото, както и да открият междупредметни връзки, например с геологията, химията и биологията (De Cicco et al., 2017).

Напоследък образованието в областта на STEM придобива популярност в научните изследвания. То цели да подготви учениците за реални, сложни проблеми, като повиши активността им в класната стая. Идеята е да задълбочи мисленето на учениците, като по този начин ги насочи към по-високи когнитивни равнища. В този контекст се очертава и въпросът дали разнообразяването на приложените методи помага на учениците да се справят с по-трудни проблеми.

Статистически значима връзка от този тип бе намерена сред данните от TIMSS Advanced 2015. Анализът на данни от TIMSS също разкри положителна връзка между разнообразяването на методи и минутите, отделени седмично за физика извън час (което вероятно е свързано с мотивацията на учениците).

II.2 Изследователски въпроси

С оглед на гореспоменатите констатации възникват следните въпроси:

- 1) Кой **учебни методи** се предлагат в статиите по атомна и субатомна физика в гимназиален етап?
- 2) Конкретно **как се ангажират** учениците в предложените дейности?
- 3) За кои от разгледаните методи има **количествени сведения**, че са "ефективни"?

II.3 Метод на изследване

Бяха избрани базите данни *Scopus*, *ERIC* (*и Google Scholar*) с целта да се състави преглед на статии, свързани с изследователските въпроси. Този раздел описва (много съкратено) стъпките, довели до набор от 32 включени публикации.

Първо, статиите бяха филтрирани посредством следната комбинация:

("secondary education" OR "high schools") AND (instruction OR teaching) AND (atom* OR nuclear OR particle)

Проверено беше дали съществуват актуални прегледи, които са свързани с проучването и вследствие беше взето решение да не се включва ключовият термин "quantum". Scopus обхвана **312** попадения, а ERIC - **364**.

II.3.1 Критерии за включване

След това бяха избрани следните критерии за включване на публикации:

Документите трябва да ...

- C1) ...са написани на английски език;
- C2) ...са статии или прегледи на статии;
- C3) ...са публикувани след 2002 г;
- C4) ...покриват методи/дейности в гимназиален етап;
- C5) ...включват описание на метода;
- C6) ...покриват поне една тема от атомната или субатомната физика и не бива да се ограничават с преподаването на квантова физика.

Критерии 1-3 са лесно приложими, защото както Scopus, така и ERIC дават възможност за филтриране по език, дата на публикуване и тип документ. Scopus обхвана **33 публикации** (след ограничаване на статии до "Физика и астрономия"), а ERIC - **53 статии** (след ограничаване до "Физика").

Критерии 4-6 обаче изискват подробно разглеждане на абстракта (и обикновено – на целия текст) на останалите статии. Някои от статиите бяха изключени, поради причини, които са описани в дисертацията.

Общо включени бяха 10 (+2 допълнителни) = 12 статии от Scopus и 16 документа от ERIC. Бяха добавени 4 статии от Google Scholar, което доведе до общо **32 статии за анализ**.

Важно е да се подчертае, че двете допълнителни статии от Scopus са открити по време на предишно търсене, включващо ключовата дума "quantum". Беше взето решението все пак да бъдат добавени защото едната е свързана с експериментална дейност (фотоелектричен ефект), а другата описва интересна изследователска задача за учениците (нанотехнологии). Включени бяха и 4 статии от Google Scholar, което наистина добавя субективност при подбирането (т.нар. *selection bias*). Предвид изследователските въпроси, тези публикации бяха добавени защото те или допълнително разнообразяват предложените дейности, или предоставят повече количествени сведения за ефективност. Включените статии са посочени в Таблица 5 и могат да бъдат намерени в цитираната литература накрая на настоящия труд.

II.3.2 Ключови признаци

След подбирането на статии бе взето следното решение относно анализа: документите ще бъдат внимателно проверени за описание на учебни методи/подготовка на дейност, количествена оценка и конкретна ангажираност на учениците. Под "конкретна ангажираност" се имат предвид отделни начини, по които учениците могат

да участват в учебния процес. Една от възможностите е учебните практики да се класифицират: моделиране, проблемно-базирано обучение, дизайн и т.н. Друга възможност е да се приложи идея, подчертана от Geis още през 1984 г. Авторът предлага вместо категоризирането на методи ("лекция" или "компютърно-базирано обучение" ...), да се търсят "ключовите признаци" на дадена дейност – характеристики, които водят до успех и могат да бъдат включени в различни методи (Geis, 1984). Признаците "връзки с ежедневието" или "получаване на обратна връзка" например могат да бъдат или могат да не бъдат включени в лекция, проблемно-базирано обучение, съвместно учене и др.

В настоящия преглед беше взето решение да се търсят 17 отделни начина, по които учениците могат да се включат по време на дадено упражнение. Тези признаци бяха извлечени от анкетите на TIMSS Advanced 2015 и 2019. Също така беше проверявано дали дадена статия предлага описание на дейностите (план на урока) и дали включва количествена оценка. Повече информация за вида на предоставената количествена оценка може да бъде намерена в дисертацията.

II.4 Резултати и дискусия

Резултатите от анализа са обобщени в Таблица 5, която е подредена хронологично (атомна, ядрена, ФЕЧ, комбинирани). Тук е важно да се подчертае, че идентифицирането на даден ключов признак в статия (маркирано с "X" в таблицата) означава, че той е или изрично споменат от авторите, или се подразбира от контекста.

II.4.1 Ключови признаци на предложените дейности

Таблица 5 може да се ползва по два начина. От една страна могат бързо да се намерят статии, които описват търсеното конкретно участие на учениците. Например може да се търсят групови дейности по ядрена физика или да се подбират идеи за експерименти. Не се препоръчва сравняването на статии (т.е., на редовете), защото някои публикации съвсем естествено са по-дълги от други. Едните могат да описват дългосрочни проекти, които ангажират учениците по най-различни начини. Други се съсредоточават само върху конкретни аспекти на дадена дейност, като по този начин предоставят по-подробно описание. От друга страна могат да се сравнят колоните на Таблица 6. Таблица 6 показва колко често даден признак се среща сред всички статии. Дори и да е включен елемент на субективност, Таблица 6 все пак разкрива тенденции. Дисертацията включва **още един начин** да се категоризират дейностите.

| Статия (год.)/ описание | Кол. анализ? | Описание/план на урока? | Дискусия | Връзка с ежедневие | Връзка с предходни знания | Обясняват отговори | Изразяват идеи | Групова работа | Работят с компютър | План експ./създаване | Провеждат експ. | Тълкуват данни | Презентират данни | Наблюдават явление | Използват факти, за да докажат | Гледат демонстрация експ. | Работят на терен | Трудни/нетипични задачи | Обратна връзка |
|---|--------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|----------------------|-----------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------|-------------------------|----------------|
| АТОМНА: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Savall-Alemany, F. et al. (2019) PBL atomic spectr. | Y | Y | X | X | X | X | X | X | | X | X | X | | X | X | X | | | X |
| Rodriguez, L. V. et al. (2020) Inquiry quantum. | Y | Y | X | X | X | X | X | X | X | | | X | X | X | X | X | | | X |
| Kontomaris, S. V. et al. (2020) Ionizing vs. non-ion. rad. | N | N | | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| Cziprok, C. et al. (2016) Vee heuristic, photoel. eff. | N | Y | | X | X | | | X | X | | X | X | X | | X | | | | |
| Cai, S. et al. (2020) AR, photoel. eff. | Y | Y | | | | | | X | X | | X | X | | X | | | | | X |
| Woo, Y. et al. (2019) Constr. spectrometer | N | N | | | | | | | X | X | | | X | | | | | | |
| Maftei, G. et al. (2011) Mosaic method, atom. spectra | N | Y | X | | X | X | | X | | | | X | X | X | X | | | | X |
| Salazar, R. et al. (2019) Modeling | Y | Y | X | X | X | X | X | X | X | | | | X | | | | | | X |

| Статия (год.)/ описание | Кол ич. анал из? | Описа ние/п лан на урока? | Диску сия | Връз ка с еже днев ие | Връзка с предхо дни знания | Обяс нява т отго вори | Изра зят идеи | Груп ва работ а | Работ ят с комп ютър | План експ. /съз дава не | Провеж дат експ. | Тълку ват данни | Презен тират дании | Наблю дават явление | Използв ат факти, за да докажат | Гледа т демо на експ. | Рабо та на тере н | Трудни /нетип ични задачи | Обра тна връз ка |
|---|---------------------------|------------------------------------|--------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| ЯДРЕНА: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bastos, R. O. et al. (2016) Experiments, low-cost. | N | N | | X | | | | | | | X | X | | | | | | X | |
| Tsuruta, T. et al. (2009) Exp., track detection | N | N | | X | | | | | | | | X | | X | | X | X | | |
| De Cicco, F. et al. (2017) Radon exp., School-uni collab. | N | Y | | X | X | X | | X | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | X |
| Schibuk, E. (2015) Activities (Manhattan project) | N | Y | X | X | X | X | X | X | X | | | | | | | | | | X |
| Sengdala, P. et al. (2014) NOS teaching, Nucl./peace. | N | Y | X | X | X | X | X | X | | | | | X | | | | | | X |
| Shastri, A. (2007) Constr. Slide-rule comp., nuclear eff. | N | Y | X | X | X | X | X | | X | X | | X | X | | X | | | X | |
| Brown, T. (2014) Exp., radioactive dating | N | Y | | X | X | | | | X | X | X | X | | X | | | | | X |
| Kapon, S. | N | Y | X | X | X | X | X | X | | | | | | | X | | | X | X |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|---|---|
| (2013) Scientific text for students (Einst. $E=mc^2$) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KRIŠŤÁK, L. et al. (2013) Multimedia/ DVD activity | Y | Y | X | X | X | X | | X | X | | X | X | | | X | X | | | X |
| Elbanowska-Ci emuchowska, S. et al. (2011) <i>Many activities</i> | N | Y | X | X | X | | X | X | X | | X | X | X | | X | | X | X | X |

| Статия (год.)/ описание | Кол ич. анал из? | Описа ние/п лан на урока? | Диску сия | Връз ка с еже днев ие | Връзка с предхо дни знания | Обяс нява т отго вори | Изра зят идеи | Груп ва работ а | Работ ят с комп ютър | План експ. /съз дава не | Провеж дат експ. | Тълку ват данни | Презен тират дании | Наблюд ават явление | Използв ат факти, за да докажат | Гледа т демо на експ. | Рабо та на тере н | Трудни /нетип ични задачи | Обра тна връз ка |
|---|---------------------------|------------------------------------|--------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| ЕЛЕМ.ЧАСТ.: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schramek, A. et al. (2019) Research-based teaching, Uni-school. Detectors | N | Y | | X | X | X | X | X | | X | X | X | X | | X | X | X | X | X |
| Bressan, E. (2011) Research-based teaching, Uni-school, CR detection | N | Y | | X | | | | | X | X | X | X | | | X | | X | X | X |
| Bardeen, M. et al. (2018) Online tools, QuarkNet | Y | Y | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | X | X |
| van den Berg, E. et al. (2006) Fast | N | Y | X | | X | X | | X | | | | | | | | | | X | X |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|
| feedback, symmetries etc. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kourkoumelis, C. et al. (2014) Online tool, HYPATIA | N | Y | X | | X | | | | X | | | X | X | X | X | | | X | X |
| Goldader, J. D. et al. (2010) Constr. cheap CR detec. | N | N | | | | | | | X | X | X | | X | | | | | X | |
| Brouwer, W. et al. (2009) Research-based, ALTA proj. | N | Y | | X | X | X | X | X | X | | X | X | X | | X | | X | X | |
| de Souza, V. et al. (2013) (re-) Constr. CR Impact point | N | Y | | | X | | | | | X | | X | X | | X | | | X | X |
| Badalà, A. et al. (2007) Data analysis, Simul. CR data | N | Y | X | | X | | | X | X | | | X | X | | | | | X | |

| Статия (год.) / описание | Кол. анализ? | Описание/план на урока? | Дискусия | Връзка с ежедневие | Връзка с предходни знания | Обясняват отговори | Изразяват идеи | Групова работа | Работят с компютър | План експ. / създаване | Провеждат експ. | Тълкуват данни | Презентират данни | Наблюдават явление | Използват факти, за да докажат | Гледат демо на експ. | Работят на терен | Трудни / нетипични задачи | Обратна връзка |
|---|--------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|------------------------|-----------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------|------------------|---------------------------|----------------|
| КОМБИНИРАНИ/ДРУГИ: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bussani, A. (2020) Dice game, microsc. sys. | N | Y | X | | X | | | X | X | | | X | | | X | | | X | |
| Kvita, J. et al. (2018) Particle camera for exp. | N | Y | | X | X | | | | X | | X | X | X | X | | X | X | X | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|--|---|---|--|---|---|
| Keegans, J. D. et al. (2021), Outreach , Python , Nucleosynth. | Y | Y | | | X | | | X | X | | | X | X | | X | | | X | X |
| Planinšič, G. et al. (2008), Constr. AF microscope model , Nano. | N | Y | | X | X | | | X | | X | X | X | X | | X | X | | X | |
| Laubach, T. A. et al. (2010), Quided inquiry , Nano. | N | Y | | X | X | X | | | X | | X | X | X | | X | | | X | |

Таблица 5. Ключови признаци в статиите

II.4.2 Тенденции

Според Таблица 6, повечето статии (84%) включват план на урока. Представените дейности насърчават учениците да свързват концепциите от атомна и субатомна физика с предишни знания по физика, както и с ежедневието. Много от статиите (63%) акцентират върху групова работа и презентиране на информация (66%). Повече от половината (59%) автори споменават обратна връзка. Интересно е, че 11 от статиите не включват работа с компютър. Въпреки съвременната тенденция да се използват симулации, много автори илюстрират конкретни учебни дейности, които визуализират микроскопични явления по други начини. Също така, ползването на компютри не играе централна роля в упражненията, описани в някои от другите статии. 50% от статиите обхващат експериментални дейности, а 31% описват проектиране/конструиране на уреди. По-малко от половината статии описват дискусии между ученици, аргументиране на отговори и изразяване на мнение. Най-рядко се споменават работа на терен (което е разбираемо, тъй като тези статии обикновено описват дългосрочни или международни проекти) и количествени оценки.

| Признак | Честота (общо:32 статии) | Признак | Честота (общо:32 статии) |
|--|--------------------------------|---|--------------------------------|
| Описание/План на урока | 84% | Провеждане на експеримент | 50% |
| Връзка с предходни знания | 81% | Дискусия, Обясняване на отговори | 47% |
| Тълкуване на данни | 75% | Изразяване на идеи | 34% |
| Връзка с ежедневието | 69% | Планиране на експеримент/създаване на устройство, Наблюдаване на явление | 31% |
| Презентиране на данни, Работа с компютър | 66% | Гледане на демо. на експеримент | 25% |
| Групова работа | 63% | Количествен анализ, Работа на терен | 22% |
| Трудни/нетипични задачи, Обратна връзка, Използване на факти, за да докажат | 59% | | |

Таблица 6. Тенденции

II.5 Заключение

Scopus, Eric и Google Scholar обхващат статии, които покриват разнообразни учебни дейности. Прегледът на статии позволява както идентифицирането (и бързото откриване) на конкретно ученическо участие (Таблица 5), така и разкриването на тенденции (Таблица 6). Като цяло представените методи целят да съотнесат темата към ежедневието и да обогатят/систематизират знанията на учениците. Някои автори поставят акцент върху научната грамотност, етиката и обществото. Статиите предоставят оригинални идеи за конструиране и използване на устройства в класната стая, образователни игри, работа с научни текстове, изследователски задачи, сътрудничество с ученици и учени от други градове/държави, включително участие в

дългосрочни научни проекти. Само някои от практиките изискват работа с компютър. Статиите по принцип описват как да се приложи конкретния метод в класната стая, но авторите рядко (по-малко от 25%) оценяват количествено предложения метод. В съответните публикации се представят количествени сведения за постиженията на учениците, отношението/нагласите, научната грамотност, идентифицират се и погрешни схващания. Резултатът от оценените методи е предимно положителен (виж дисертацията).

Глава III

Значение на разнообразяването на учебни методи за усвояването на концепции от ядрената и атомната физика в гимназиален етап

III.1 Увод/мотивация

Вторичният анализ на данни от TIMSS Advanced 2015 разкрива статистически значими връзки между успеха на ученици в края на гимназиален етап и редица фактори. Оказва се, че има значима положителна връзка между успеха по физика и разнообразието на приложените в час методи (Илчев, 2021).

Вследствие на този анализ през 2021 година беше проведен гореописаният преглед на статии (глава II), които описват методи на обучение по атомна и субатомна физика в гимназиален етап (Ilchev&Kotseva, 2022). На базата на наблюдаваните тенденции се стигна до извода, че най-рядко се срещат статии, които включват количествен анализ на въздействието (успех, нагласи и т.н.) на предложените дейности (Ilchev&Kotseva, 2022).

По този начин се развива идеята през 2022 година да бъде проведено проучване с български ученици, които *не* изучават физика на второ равнище (ПП), за разлика от участниците в гореспоменатото изследване TIMSS 2015. Целта беше да се събере информация на терен, а след това да се проведе количествен анализ на надграждането на ученическите знания като резултат от разнообразяване на използваните в час методи. Някои от избраните учебни дейности в това изследване бяха открити именно по време на прегледа на статии от глава II. Следва компактно описание на целите на проучването - под формата на въпроси, на които ще бъде даден отговор в раздел III.6.

III.2 Изследователски въпроси

Въпросите, които мотивираха настоящето проучване, са следните:

- В1)** Разнообразяването на методи в час до каква степен помага на нашите ученици да усвоят основни концепции в атомната и ядрената физика?
- В2)** Наблюдава ли се устойчивост на придобитите знания (в срок 1-1,5 месец)?
- В3)** Помагат ли разнообразните методи на тези ученици, които за предния срок са изкарвали оценка равна на или по-ниска от “Добър (4)”?
- В4)** Кои концепции продължават да затрудняват учениците, дори след провеждането на разнообразни уроци? Различават ли учениците отделните физични явления?
- В5)** Разумно ли е учител да сравнява, на базата на количествен анализ, входните и изходните знания в часовете по физика?
- В6)** Кои са ключовите признаци на предложените методи (конкретно как се ангажират учениците)?
- В7)** Какви основни изводи се очертават?

Въпросите В1)-В3) са формулирани с цел установяване на ефекта от разнообразяване на приложените в час методи както от методическа, така и от

практическа (учителска) гледна точка. Проследява се не само как методите въздействат на учениците непосредствено след всеки урок, но и дали тези знания са устойчиви в краткосрочен план и дали дейностите помагат на затрудняващи се в миналото ученици.

Въпросът В4) поставя за цел идентифицирането на проблемни за учениците концепции, в контекста на вече установени от други автори затруднения (раздел II.1).

Въпросът В5) е насочен към изясняването на предимствата и недостатъците на входните/изходни тестове като учителски инструмент, а въпросът В6) представлява пример за това как учител/ка може сам/а да придобие представа доколко и по какъв начин ангажира учениците (самооценка), както и база за сравнение с методите, анализирани в Глава II.

Последният въпрос е поставен с цел извличането на общи заключения относно прилагането на разнообразни методи в час по атомна/субатомна физика в 10-ти клас.

III.3 Общо описание на изследването

Изследването бе проведено самостоятелно и включва подготовка (III.2, III.4), преподаване и набор на данни (III.4), статистически анализ (III.5) и заключение (III.6, III.7). Проучването обхваща ученици от четири паралелки 10-ти клас в частна английска гимназия (2 часа седмично, ООП). С изключение на урока на тема „Ядрена енергетика“, в час се използваше английски език. Учениците и учителят се познават от две години. Общият брой участници в началото на изследването беше 74. Не фигурира контролна група поради следните причини:

- Избегната е стратегията, контролната група да бъде подложена на “традиционен” подход, при който активният участник в часа е предимно учителят. Това решение е в интерес на учениците, тъй като все пак целта е да се използва всяка възможност за повишаване на тяхната ангажираност и по този начин те да развият уменията си.
- Идеята е да се наблюдава ежеседмичното надграждане на *всички* участници, т.е. впоследствие да се анализира как разнообразяването на методи въздейства на възможно най-голям брой ученици (максимален *размер* на извадката). Това решение води до съвкупност от ученически резултати, чието разпределение е приблизително Гаусово/нормално (III.5).

Вместо сравнението с контролна група, резултатите от настоящето проучване ще бъдат количествено съотнесени към изводи от по-мощни изследвания (в раздел III.6.1.1). Този тип контекстуализация и сравнение на резултатите се среща и в други изследвания (Choudhary et al., 2018) в областта на обучението по физика, отново в контекста на прилагане на разнообразни интерактивни методи.

Проучването се дели на две основни части. Първата част се състои от провеждането на четири урока. Важно е да се подчертае, че за дадена тема е използвана *една и съща комбинация* от методи и за четирите паралелки (Таблица 7). За всеки урок са разработени шест тестови въпроса с по **5** възможни отговора (с цел намаляване броя на случайни попадения). Участниците попълват тестовете (на хартиен носител) преди урока и веднага след края на урока. Това позволява *количественото сравнение* на входните и изходните им знания. Учениците знаеха, че целта е да се провери дали методът ще им помогне и участваха активно. Този етап *не се оценяваше*. Въпросите за конкретна тема бяха еднакви и за четирите класа.

Втората част се състои от краен тест, обхващащ материала от предните четири урока, *с оценка*. Бяха съставени **4 различни** версии с по 18 въпроса, отново с по 5 избираеми отговора. От страна на учителя бяха положени усилия да няма преписване, да се дава обратна връзка в час и извън час, както и да се насърчава груповата работа.

Целта беше самите ученици да поемат голяма част от отговорността за собствените знания.

Към края на изследването общият брой на участниците намаля и достигна 48. Това се дължи на големия брой отсъстващи ученици към края на срока (поради боледуване, външни оценявания по 2 задължителни предмета и 2 предмета по желание).

III.4 Описание на учебните методи

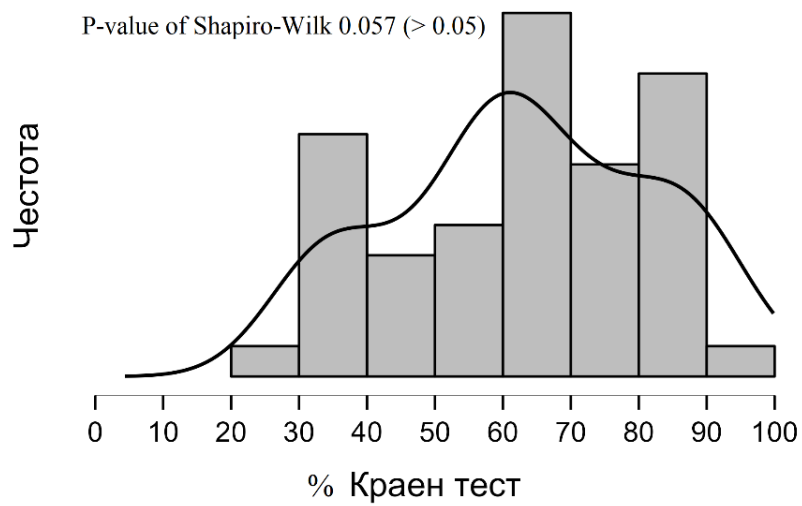
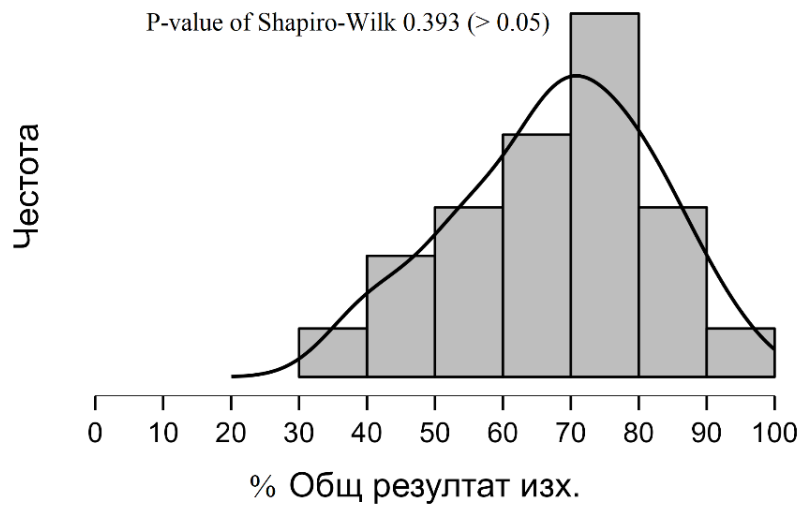
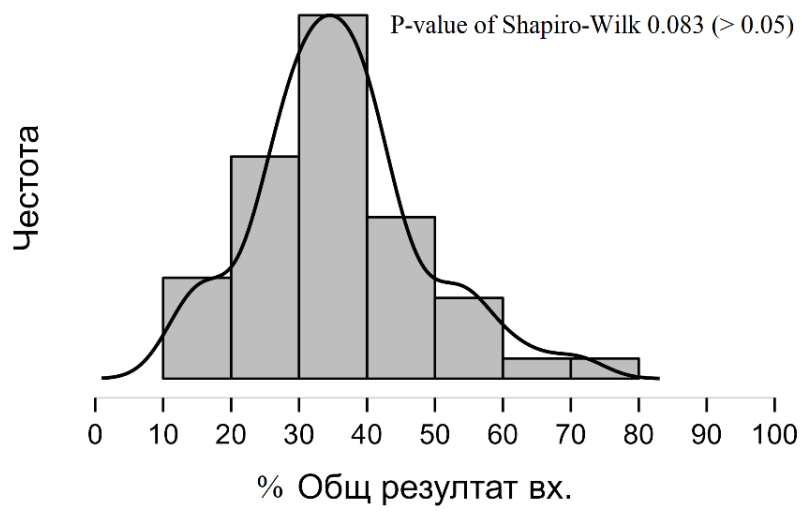
(Към читателите: Подробно изложение на използваните методи, наред с практични коментари относно тяхното въздействие за съжаление не може да бъде вписано тук, но може да бъде намерено в дисертацията. Там са подробно коментирани и анализирани редица важни специфики на зададените въпроси, включително и кои от концепциите остават проблемни за учениците - дори след разнообразяване и онагледяване на темите.) Въздействието върху надграждането на знания е разгледано количествено в раздел III.5.

III.5 Анализ на данните

Много от подробностите във връзка със статистическия анализ не са споменати тук, но са коментирани подробно в дисертацията. Това включва качеството на входните/изходните тестове като инструмент за измерване на знания, вида на разпределението на тестови резултати (дискретно вместо непрекъснато), коментари относно прилагането на параметрични тестове в този случай и т.н.

Нормално разпределение на данните

Как са разпределени резултатите? Въпреки малкия размер на извадката не се наблюдават значими отклонения от нормалното разпределение - стойности на P (Shapiro-Wilk) съответно равни на 0,083; 0,393; 0,057 за сумарните резултати от всички входни/изходни тестове и за крайния тест, визуализирано на Фигура 1. Условието $P > 0,05$ е необходимо, например за провеждането на т.нар. *parametric paired samples t-test* с цел изчисляването на коефициента d на Кохен по-долу. На Фигура 1 е представена честотата на резултати **от 0 до 100 процента**. Максималният брой точки за сумарните входни/изходни тестове е 24, а на крайния тест учениците могат да изкарат най-много 18 точки. Фигурите (разпределения, хистограми и таблици със статистически данни) са компилирани в рамките на софтуера JASP (n.d.).



Фигура 1. Разпределение на резултатите

Descriptive Statistics

| Descriptive Statistics | | | |
|-------------------------|--------|--------|--------|
| | pre | post | final |
| Valid | 48 | 48 | 48 |
| Missing | 0 | 0 | 0 |
| Mean | 8.583 | 16.250 | 11.354 |
| Std. Deviation | 2.960 | 3.473 | 3.411 |
| Skewness | 0.524 | -0.302 | -0.082 |
| Std. Error of Skewness | 0.343 | 0.343 | 0.343 |
| Kurtosis | 0.728 | -0.488 | -0.886 |
| Std. Error of Kurtosis | 0.674 | 0.674 | 0.674 |
| Shapiro-Wilk | 0.958 | 0.975 | 0.954 |
| P-value of Shapiro-Wilk | 0.083 | 0.393 | 0.057 |
| Minimum | 3.000 | 9.000 | 5.000 |
| Maximum | 17.000 | 23.000 | 18.000 |

Фигура 2. Допълнителна информация за разпределенията

Интересно е да се разгледа по какъв начин разпределенията се отклоняват от нормалното. Фигура 2 дава допълнителна информация, включително и за това дали разпределението е изтеглено по-вляво или по-вдясно спряма нормалното (*Skewness*). От фигурата следва, че резултатите от *входните тестове* на учениците, които са присъствали и през 4-те седмици (48 на брой) са изтеглени вляво (със стойност 0,524). Сумарните резултати от *изходните тестове* пък са изтеглени вдясно (-0,302). Това се тълкува в дисертацията.

Количествена оценка на придобитите знания

Следва количествена оценка на надграждането на ученическите знания по време на отделните часове, както и общото надграждане посредством сравнение на сумарните резултати вход-изход. В дисертацията тази оценка е добита по два основни начина, които в литературата често се конкурират, поради различни причини (Nissen et al., 2018, Coletta&Steinert, 2020). Двете стратегии са изчисляването на определен коефициент, въведен от Ричард Хейк (Hake, 1998) и прилагането на (два вида) статистически тестове (параметричен и непараметричен). В настоящето проучване те всъщност водят до еднакви резултати. Тук ще бъдат представени само анализ чрез коефициента на Хейк и непараметричният тест.

Коефициент на Хейк g

Първият от тук приложените методи за получаване на количествена оценка на надграждането на ученически знания се състои в изчисляването на коефициента g на Хейк (Hake's gain score) (Hake, 1998) по формулата

$$g = \frac{posttest\% - pretest\%}{100\% - pretest\%} \quad (1)$$

, при което $posttest\%$ и $pretest\%$ са съответно изходният и входният осреднен резултат на даден клас за дадена тема. Хейк подчертава, че формула (1) представлява съотношение между реализираното средно надграждане (числител) и максималното възможно надграждане (знаменател).

Значението на формула (1) става по-ясно, когато се направи примерно сравнение между два различни класа А и Б с еднакво реализирано надграждане $posttest\% - pretest\% = 30\%$, но различни входни резултати ($pretest\%$), равни на 20% и 50% съответно за клас А и клас Б. Следва, че клас А е имал повече възможности да подобри резултата си. Това е отразено в коефициентите по формула (1), които се равняват съответно на $g_A = 0,38$ и $g_B = 0,6$. Коефициентът за клас Б е по-висок, защото

въпреки наличните предходни знания, учениците са успели да ги надградят значително по време на урока.

За стойности $g < 0,3$ се приема надграждането да е малко, а резултат $g > 0,7$ се тълкува като особено голямо надграждане (Hake, 1998). Стойности, които се намират около $g = 0,5$ се причисляват към диапазона на интерактивните методи (interactive engagement-methods range), както показва Хейк (Hake, 1998).

По формула (1) могат за дадена тема (например за фотоелектричния ефект) да се изчислят g_1, \dots, g_4 , при което g_1 представлява коефициентът за първия от четирите класа. Средноаритметичните стойности \bar{g} на g_1, \dots, g_4 за всяка от отделните комбинации тема-методи са нанесени в Таблица 7 от раздел III.6.1. Общото надграждане за 4-те седмици ще бъде изведено като средна аритметична стойност на резултатите \bar{g} за отделните уроци.

Коефициентът на Хейк (1) може също така да се изчисли, използвайки *индивидуалните* отговори (проценти) на всеки от 48-те участници. По този начин аналогично се генерира оценка за индивидуалното надграждане (Hake, 2002, Coletta&Steinert, 2020):

$$g_{ind} = \frac{posttest\% - pretest\%}{100\% - pretest\%} \quad (2)$$

Средната стойност на g_{ind} за цялата извадка се отличава от g с по-малко от 5% (Hake, 2002, Coletta&Steinert, 2020). g_{ind} позволява да се проследи прогресът на отделни (например затрудняващи се) ученици за по-дълъг период от време.

Други автори (Salazar et al., 2019) пък изчисляват коефициент на Хейк не за индивидуални ученици, а за отделните въпроси на входните/изходните тестове:

$$g_q = \frac{posttest\% - pretest\%}{100\% - pretest\%} \quad (3)$$

Процентите във формула (3) се формират на базата на всички отговори на даден въпрос. По този начин сравнително бързо могат да се идентифицират концепции, които все още затрудняват учениците. В горния раздел (III.4) са разгледани всички въпроси с $g_q < 0,3$ по отношение на заложените физични концепции, тенденции в избирането на конкретни дистрактори (грешни отговори) и по този начин могат да се извлекат заключения за самия ход на урока, както и в кое направление да се търси подобрене.

Непараметричен тест на Уилкоксън

Като следваща стъпка бе проведен *непараметричен paired samples test* (Goss-Sampson, 2019), по-конкретно - тест на Уилкоксън (Wilcoxon's signed rank test), *без отстраняване* на участници от извадката, чийто сумарни тестови резултати показват значими отклонения (както се препоръчва в (Bakker&Wicherts, 2014)). Резултатите са представени на Фигура 3.

Paired Samples T-Test

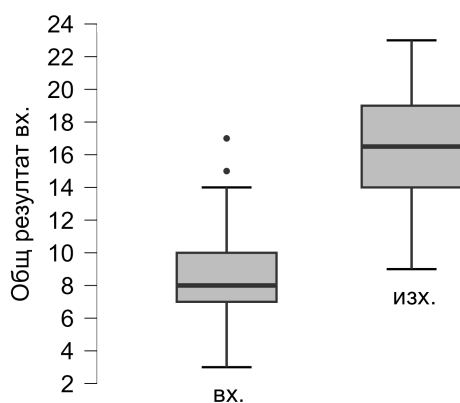
Paired Samples T-Test

| Measure 1 | Measure 2 | W | z | df | p | Hodges-Lehmann Estimate | Rank-Biserial Correlation |
|-----------|-----------|----------|-------|----|--------|-------------------------|---------------------------|
| post | - pre | 1176.000 | 6.031 | | < .001 | 7.500 | 1.000 |

Note. Wilcoxon signed-rank test.

Descriptive Statistics

| | pre | post |
|----------------|-------|--------|
| Valid | 48 | 48 |
| Missing | 0 | 0 |
| Median | 8.000 | 16.500 |
| Std. Deviation | 2.960 | 3.473 |
| MAD | 1.500 | 2.500 |



Фигура 3. Непараметричен тест (сумарни резултати - общо за всички теми)

Сравнени са входните с изходните резултати за цялата извадка (48). W-статистиката на Уилкоксън е значима ($p < 0,001$), със стойност равна на $W = 1176$ (Фигура 3). Оценката на Ходжес-Леман (*Hodges-Lehmann estimate*), която съответства на средната разлика между резултатите (Goss-Sampson, 2019), се равнява на 7,5 точки. Ранг-бисериалната корелация може да се тълкува като размер на промяната (Goss-Sampson, 2019) и за настоящите данни заема стойност $r_b = 1,00$. Това се тълкува като голяма промяна ($> 0,5$) (Goss-Sampson, 2019).

Корелации

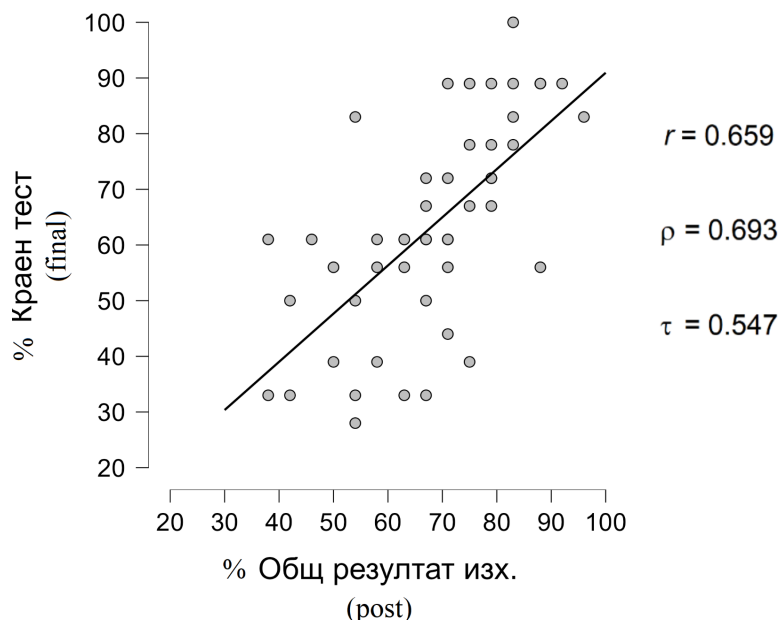
Могат да се анализират и връзките между резултатите от Фигура 1. Отново съществува анализ на корелации между непрекъснати данни (който предоставя коефициент r на Пийърсън). За анализ на корелация между прекъснати (но подредени) данни се прилагат методи, които рангират данните и по този начин се изчисляват коефициенти ρ на Спирмън и τ на Кендъл (Goss-Sampson, 2019). Разгледани са три двойки корелации, най-тясно свързани от които са сумарният резултат от изходните тестове и резултатът от крайния тест (Pearson's $r = 0,659$, $\rho = 0,693$, $\tau = 0,547$; $p < 0,001$). Това се тълкува като силна (Goss-Sampson, 2019) и статистически значима корелация - изобразена на Фигура 4. Дали информацията от тази корелация дава отговор на изследователския въпрос В2) ще бъде коментирано в следващия раздел.

| Correlation Table | | | | | | | |
|-------------------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|
| | | Pearson | | Spearman | | Kendall | |
| | | n | r | p | rho | p | tau B |
| post | - final | 48 | 0.659*** | < .001 | 0.693*** | < .001 | 0.547*** |

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

| Shapiro-Wilk Test for Bivariate Normality | | | |
|---|---------|--------------|-------|
| | | Shapiro-Wilk | p |
| post | - final | 0.975 | 0.405 |

Scatter plots



Фигура 4. Връзка между резултатите на изходните тестове и на крайния тест

III.6 Дискусия на резултатите

В този раздел ще бъдат дискутирани изследователските въпроси (B1)-(B6), на базата на обработените данни, представени в предния раздел (III.5).

III.6.1 Надграждане на знания (B1)

Таблица 7 показва коефициента на Хейк за четирите теми. Наблюдава се **значително надграждане** на резултатите след всеки от уроците (средната стойност за 4-те седмици се равнява на **0,51**), с изключение на урока за атома/спектри ($\bar{g} = 0,28$). Най-голямото надграждане (урокът ядро/радиоактивност: $\bar{g} = 0,71$) се получава при **комбинирането** на интерактивни и визуализиращи методи със систематично обобщаване на дъската. Стойността на **Cohen's $d > 2$** (виж дисертацията) потвърждава доброто въздействие на избраните разнообразни методи. Средният резултат от крайния тест е 63%, което може да бъде прието за успешен среден резултат на извадката предвид наличието на пет избираеми отговора вместо четири. Един ученик/чка е изкарал/а максимален брой точки (18).

| Урок | Комбинация от методи (едни и същи за всеки клас) | Hake's \bar{g} |
|----------------------|---|------------------|
| Фотоелектричен ефект | Виртуална симулация, "Peer instruction" (ученици обясняват на връстници); Визуализация (с ученици-актьори) на уравнението на Айнщайн. | 0,51 |

| | | |
|--------------------------------|---|----------------|
| Атом на водорода. Спектри | Работни и експертни групи (упражнение тип “мозайка”) | 0,28 |
| Атомно ядро. Радиоактивност | Построяване и дискусия на леки ядра (виртуална симулация); Ученическа визуализация на ядрените сили и масовия дефект; Групово упражнение (разпадане на уран-235). | 0,71 |
| Ядрени реакции и енергетика | Четене и дискусия по отбори; Дискусия между отделните отбори. | 0,53 |
| Краен тест | 40 минути за 18 въпроса [от А) до Д)] | Средно: 63% |

Таблица 7. Урок-методи-степен на надграждане

Възниква въпросът какво е било надграждането на тези ученици (26 на брой), които не са включени в тук анализирания крайна извадка (48 на брой) поради поне едно отсъствие през 4-седмичния период на проучването. Техният среден коефициент на Хейк (изчислен посредством осредняване на средните индивидуални стойности g_{ind} по формула (2) за тези уроци, в които съответният ученик/чка е присъствал/а) се равнява на 0,56. На крайния тест тези ученици изкарват средно 51%, измежду които се намира един максимален резултат (18 точки) въпреки отсъствие.

Тези два резултата навеждат на мисълта, че изключването на отсъстващи ученици от извадката вероятно не е допринесло за значителна промяна в крайните резултати в настоящето проучване, тъй като осредненият коефициент на Хейк за въпросните участници (0,56) е сравнима с горе представената стойност (0,51). От друга страна фактът, че ученици отсъствали между една и три седмици (от общо четири) получават средно по-ниски резултати на крайния тест не е изненадващ.

III.6.1.1 Сравнение с анализа на Хейк (1998)

Проведеният още през 1998-ма година мащабен анализ ($N = 6542$) на Хейк (Наке, 1998) цели да сравни “традиционните” и “интерактивните” методи в областта на механиката, на базата на средни стойности на съответното надграждане. Осредняването се извършва едновременно спрямо различни учебни заведения и спрямо различните етапи в образованието (ученици в гимназиален етап, студенти). Във връзка с училищата Хейк стига до извода (Наке, 1998, Fig.3(a)), че училищата с “традиционно” преподаване, при което учениците са по-скоро пасивни (Наке, 1998), достигат стойности на g по-малки от 0,3, т.е. надграждането е малко. Училищата, които често прилагат “интерактивни” методи достигат средна стойност $g = 0,55$. Съответната средна стойност на g за университетите е малко по-ниска, но сравнима. Хейк отбелязва, че за училищата с по-напреднали курсове (*honors classes*) се отчитат по-високи стойности на g , сравнено с редовните курсове (*regular classes*). Българските ученици от настоящето проучване се причисляват по-скоро към втората категория “редовни” курсове, тъй като 10-тите класове не са профилирани и повечето от тях нямат желание да профилират с физика. Също така гимназията е езикова (в 8-ми клас включва една година езикова подготовка **без** природни науки).

От анализа на Хейк следва, че средното надграждане по механика на редовни ученици, чиито преподаватели използват интерактивни методи е от порядъка на $g = 0,5$. Това съответства на резултатите, които се очертават в настоящето проучване (въпреки че темите са различни). Средно учениците демонстрират надграждане далеч над типичното (според Хейк) за “традиционните методи”.

Хейк още през 1998-ма година обобщава (Hake, 1998), че за да се осъществи мащабно обучение по физика посредством ангажиращи и интерактивни методи, е нужна както съвместна работа между всички участници в управлението на образователните дейности (преподаватели в училище/университети, катедри, институции, професионални организации и т.н.), така и дългогодишното прилагане, научно изследване (обратна връзка, анализ на надграждането и т.н.) и модифициране/усъвършенстване на въпросните методи. В този контекст има смисъл да се провеждат проучвания на тема разнообразни методи, с български ученици.

III.6.2 Устойчивост на знанията (B2)

Във връзка с предстоящата дискусия в този раздел е важно да се подчертае, че преди крайния тест (положен 30-40 дена след първия урок от проучването) учениците получиха допълнителни упражнения, преговор (и консултация *по желание*) - особено за проблемния урок "Атоми".

Фигура 4 онагледява връзката между сумарните резултати от изходните тестове и представянето на крайния тест. В дясната част на тази графика се наблюдава по-малка вариация отколкото в лявата част, тоест съществува тенденцията ученици с по-високи резултати непосредствено след уроците също да изкарват по-високи резултати на краен тест. От учителска гледна точка това не е изненадващо. Вляво се наблюдава по-широко разпределение на резултатите от крайния тест за даден брой точки от изходните тестове. Възниква въпросът какво точно гласи Фигура 4 в настоящия контекст.

Графиката обобщава връзката между две разпределения на резултати, положени от едни и същи ученици, но по различни времена. Коефициентът на Пийърсън r посочва, че има значителна корелация. Тя не зависи само от конкретните действия, които учениците са предприели в час (тоест от разнообразните задания, възложени от учителя). Тук са заложени и редица "скрити променливи" (Hake, 2002), които характеризират както уменията на учениците да изчисляват, да моделират и т.н., така и отговорността/мотивацията да учат след часовете/преди крайния тест.

От гледна точка на преподавателя възниква предположението, че устойчивостта на знания по атомна/ядрена физика зависи в голяма степен от личните качества на отделните ученици, например от:

- *отговорността* да *преговарят качествено* преди крайния тест - самостоятелно или със съученици;
- *желанието* да присъстват на групова консултация с цел усвояването на трудни за тях концепции и затвърждаването на учебния материал;
- *способността* да попълнят успешно тест *с оценка и ограничено време*.

От гледна точка на някои автори в областта на обучението по физика, включително и на самия Хейк (Hake, 2002), се споменават и анализират следните фактори (но във връзка с висшето образование):

- *умения/знания по математика*;
- *умението да визуализират* концепции - пространствено, модели и т.н.;

Хейк открива скромни, но значими корелации между тези фактори и надграждането на ученици g_{ind} в неговото проучване, както и значими различия (по отношение на надграждане) между момичета и момчета.

Следва, че Фигура 4 принципно показва наличието на краткотрайна устойчивост на знанията за тези ученици, които изкарват сравнително високи резултати след всеки от уроците. Степента на устойчивост намалява значително за другите участници, предвид вариацията на резултатите им от крайния тест. Това наблюдение води до извода, че в настоящето проучване вероятно други лични фактори (отвъд обхвата на изследването) на учениците играят по-голяма роля отколкото конкретният избор на

методи по време на часовете по физика. Все пак, учениците като цяло повишиха мотивацията си да *участват в часа*. Това вероятно се дължи на разнообразяването на методи.

Какви действия могат да се предприемат с цел повишаването на устойчивостта на знания на *всички* ученици, включително и на затрудняващите се? По-конкретно възниква въпросът по какъв начин може да се подсили положителният ефект от диверсификация на методи за тази група ученици, която се затруднява с учебния материал и със самоподготовката.

III.6.3 Затрудняващи се ученици (B3)

Коефициентите g_{ind} по формула (3) могат да се изчислят за всяка от темите, след което да се осреднят по теми. Така полученият коефициент $\langle g_{ind} \rangle$ онагледява цялостното надграждане на отделни ученици. Следва, че от 13-те най-затрудняващи се в миналото участници, 4 са получили стойности $\langle g_{ind} \rangle$ над средната за цялата извадка (0,51).

Средната стойност на $\langle g_{ind} \rangle$ за тук разгледаната част от извадката (13) се равнява на 0,39. Следователно тя е по-малка от средната стойност 0,51 за цялата извадка (48). Тоест, *като цяло* съвкупността от ученици с тенденциозно по-ниски оценки все още срещат трудности с усвояването на материала в час, въпреки разнообразяването на методи. Разликата между двата резултата е по-малка от 25%.

Разпределението на резултатите на тези ученици, както и допълнителни статистически изводи могат да бъдат намерени в дисертацията.

III.6.4 Затрудняващи учениците концепции. Различаване на отделните физични явления (B4)

В рамките на настоящото проучване се очертават въпроси/концепции, които остават проблемни за учениците след първата фаза от изследването (т.е. непосредствено след учебните часове). Във връзка с тези въпроси бяха коментирани често избиранияте дистрактори и други фактори в раздела за съответния урок (виж дисертацията). От 24-те входни/изходни въпроса тук ще бъдат разгледани 4-те най-проблемни въпроса - тези, за които се очертават както най-малък коефициент на надграждане ($g_q < 0,3$), така и сравнително малък дял правилни отговори на изхода на урока ($< 50\%$). Това са въпросите **Ф4** и **A3, A4, A5**.

Въпросът **Ф4** проверява до каква степен учениците са разбрали ролята на интензитета във фотоелектричния ефект. 48% правилно определят, че увеличаването на интензитета ще доведе до увеличаване на броя фотоелектрони (но не и до повишаване на кинетичната им енергия). Въпросите от различните версии краен тест, които са свързани с интензитета на светлината са 4 на брой (ТА4, ТВ3, ТС3, TD3) и 52% от учениците отговарят правилно на тях. Тоест, **подобриеното** въз основа на обобщение, индивидуален преговор (и групова консултация за тези ученици, които пожелаха да я посетят) е **минимално**.

Въпросът **A4** проверява как учениците тълкуват схема, на която са показани атомни преходи (спектрални серии на водорода). 46% от учениците правилно посочват, че за *дадена серия* са показани преходи на електрон от различни възбудени нива към едно и също по-нискоенергетично ниво. Сродните въпроси от версиите краен тест са ТА8 и ТС8, на които 79% от учениците отговарят правилно. Въпросът **A3** се оказва най-труден за учениците (само 12,5% правилни) - предимно заради изискваната последователност в извеждането на отговора. Въпросите ТА9, ТВ9, ТС9 и TD9

проверяват дали учениците са разбрали връзката между дължината/честотата на вълната и енергията на съответния фотон, както и връзката между тази енергия и атомните преходи. Въпросите обхващат цялата извадка и 50% от учениците отговарят правилно на тези въпроси. Като цяло следва, че във връзка с тълкуването на схема с атомни преходи, както и с посочването на правилните енергии на съответния фотон има **значително подобрене** (сравнено с резултатите на изхода на самия урок).

Въпросът **A5** е смесен и включва дистрактори, които са свързани с няколко концепции - дискретността (математически) на енергийните нива на атома, квантовият характер на фотоните (неделими), както и връзката между тяхната енергия и честота/дължина на вълната. 38% от учениците отговарят правилно на изхода на урока. Въпросите от крайния тест, които чрез представянето на конкретни числени стойности проверяват дали учениците са разбрали връзката между енергия и честота или честота и дължина на вълната са първите въпроси от тестовете - TA1, TB1, TC1, TD1 (следователно обхващат цялата извадка). 81% от учениците отговарят правилно на тези въпроси. Въпросите от крайния тест, които правят връзка с дискретността на излъчените от атомарни газове цветове/дължини на вълната/фотони са TA6, TB8 и TD8. 53% от учениците отговарят правилно на тези въпроси. Следва, че има **леко подобрене** на резултатите.

Оказва се, че 72% от 18 ученика отговарят правилно на въпрос TD4, който е свързан с историческата значимост на фотоелектричния ефект. Голяма част от тези ученици са разбрали, че той е разкрил неочаквани свойства на светлината (на фона на изводите от опита на Юнг). Този исторически аспект бе дискутиран веднага след упражнението с виртуалния експеримент.

Последният въпрос на всяка една версия проверява **цялостното разбиране**, тъй като в дистракторите си включва елементи от всички (или почти всички) покрити теми по време на проучването. Става дума за въпросите TA18, TB18, TC18 и TC19, за които учениците трябва или да преценят в кои от вече разгледаните процеси се отделя най-много енергия (TA18) или правилно да разпознаят онагледеното явление (TB18 - фотоелектричен ефект; TC18 - ядрен синтез; TD18 - атомни преходи на базата на показан линеен спектър). Средно учениците отговарят с 52% точност на тези въпроси, при което въпросът TD18 (атоми/спектри) е затруднил най-много съответния клас (11%, тоест 2 правилни отговора от общо 18). Ако не се разглежда тази част от извадката, която е работила върху тестовата версия D, тогава се наблюдават 77% правилни отговора. Трябва да се отбележи фактът, че тази разлика наистина е голяма (въпреки винаги наличните различия между отделните класове/ученици). Отново следва, че учениците сериозно се затрудняват с връзката между атомите и техните спектри. Доброто представяне на другите три въпроса показва, че голяма част от учениците правилно идентифицират явление по картина и определят ядрените реакции като най-енергетични, сравнено с други примери.

III.6.5 Струва ли си учител да анализира входни/изходни тестове по този начин? (B5)

Вероятно си струва учител да анализира резултата от собственото преподаване, но не за абсолютно всеки урок. Този вид дейност отнема време от учебния час, изискват се и усилия за самата подготовка на въпросите. Въпреки това формулата на Хейк (1) е достатъчно проста, за да бъде разбрана и дори приложена от самите ученици. Това може да се окаже полезна междупредметна връзка с математиката. Учителят научава кое помага на учениците, кои въпроси остават проблемни, как се справят отделни ученици. По този начин може периодично да се проследява прогресът на затрудняващи се ученици. Може да се разгледа ефектът от конкретна комбинация методи-тема (особено когато учителят се ангажира да търси алтернативни методи за проблемни уроци, които години наред очевидно затрудняват учениците ако са

преподавани по конкретен начин). Без допълнителна проверка веднага след урока не винаги става ясно как е въздействала новата идея/комбинация от методи.

Прави впечатление, че учениците попълват тестовете с интерес. Във връзка с настоящото проучване възниква подозрението, че това е резултат от възприемането на входните/изходните тестове като упражнение/предизвикателство без наличието на стрес (оценка). Учениците забелязват, че учителят индиректно комуникира желанието да им помогне и по този начин работата се възприема като съвместна.

Учениците знаеха, че ще получат същия тест след урока. Това допълнително насочва вниманието им, защото по време на самия час те по един или друг начин се опитват да извлекат отговорите от случващото се в класната стая.

III.6.6 Ключови признаци на дейностите в отделните уроци (B6)

Както бе споменато в глава II, отделните методи/предложени дейности в статиите могат да се характеризират по ключови признаци, които определят *как точно* учениците са ангажирани по време на часа. В глава II анализът на 32-те подбрани статии бе представен компактно (Таблица 5), с цел да се онагледят кои от тези признаци са директно (или индиректно - от контекста) споменати от авторите. Как изглежда таблицата за тук описаните 4 урока, ако бъдат нанесени на 4 реда? Таблица 8 разкрива, че *всеки един* от четирите урока мотивира:

- груповата работа и дискусиата между учениците;
- установяването на връзка с предишни знания и с ежедневието;
- тълкуването на данни, представени по разнообразни начини;
- търсенето на обяснение на конкретни въпроси.

Таблицата също посочва ключови дейности, които *не са заложили в нито един* от уроците (най-долния ред):

- провеждането/планирането на експеримент или създаването на устройство;
- работа на терен.

| Тема на урока | Колич. анализ? | Описание/план на урока? | Дискусия | Връзка с ежедневието | Връзка с предходни знания | Обясняват отговори | Изразяват идеи | Групова работа | Работят с компютър | План експ./създаване | Провеждат експ. | Тълкуват данни | Презентират данни | Наблюдават явление | Използват факти, за да докажат | Гледат демонстрация експ. | Работа на терен | Трудни/нетипични задачи | Обратна връзка |
|--------------------------------|----------------|-------------------------|----------|----------------------|---------------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|----------------------|-----------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|----------------|
| АТОМНА: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Фотоефект | У | У | Х | Х | Х | Х | Х | Х | Х | | | Х | | Х | | | | | Х |
| Атоми/спектри | У | У | Х | Х | Х | Х | Х | Х | | | | Х | | Х | | | | Х | Х |
| ЯДРЕНА: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ядро/радиоактивност | У | У | Х | Х | Х | Х | Х | Х | | | | Х | | | Х | | | | Х |
| Ядрена енергетика/реакции | У | У | Х | Х | Х | Х | Х | Х | | | | Х | Х | | Х | | | | Х |
| ОБЩО: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 седмици разнообразни подходи | У | У | Х | Х | Х | Х | Х | Х | Х | | | Х | Х | Х | Х | Х | | Х | Х |

Таблица 8. Ключови признаци в проведените часове по физика

Към работата на терен вероятно може да се причисли участието в Майсторския клас, организиран от Церн (в колаборация с Физическия факултет на СУ), който се провежда всяка година и запознава учениците с научния подход посредством реални експериментални данни от детекторите на Големия адронен колайдер (LHC).

Качественото провеждане на експеримент в 10-ти клас не е невъзможно. Нужно е повече време в час, имайки предвид и вида на гимназията (езикова). Като заключение може да се потвърди, че разнообразието на методи успешно води до разнообразяване на конкретните дейности на учениците, при което ползването на компютри е централно

само за един от четирите урока. Урокът за ядрената енергетика мотивира учениците да изразяват мнение и да търсят междупредметни връзки. Работата на терен се предлага на всички ученици и се осъществява *по желание*. Настоящото проучване не включва провеждането и планирането на експеримент, въпреки че експеримент на тема атоми/спектри бе проведен с ученици от друго училище (Kunis et al., 2022).

Следва, че в рамките на няколко седмици (*поне* 5 вместо 4) цялостното запълване на колоните от таблицата е възможно само, ако учителите разполагат с няколко часа за включването на допълнителни упражнения. На базата на данните от проучването аналогично се очертава предположението, че ако самите ученици разполагат с повече време за осмисляне на връзката между атомите и техните спектри, тогава надграждането на техните знания по тази тема ще бъде драстично подобро.

Освен това, някои автори предполагат, че за да се наблюдава значително повишение на мотивацията на учениците, е нужно **дългосрочно** прилагане на интерактивни методи, с цел да се отговори на нуждите на учениците (Azizoglu et al., 2022). Авторите допълват, че е желателно разгледаният от тях метод да бъде практически приложен от учителите още по време на тяхното обучение.

III.7 Изводи от изследването (B7)

Във връзка с проведеното през 2022-ра година проучване с десетокласници (ООП) от частна английска гимназия в България се очертават следните основни заключения:

- **Разнообразяването** на методи помага на учениците да развиват разнообразни умения (III.6.6) и да **надграждат** знанията си по атомна и ядрена физика (III.5, III.6.1). Надграждането попада в категорията на *интерактивните методи* и е сравнимо със средните резултати от по-машабен анализ на училища в друга държава (III.6.1.1);
- Краткотрайна **устойчивост на знанията** се наблюдава само при учениците с коефициенти на по-голямо надграждане/резултати от сумарните изходни тестове (III.5, III.6.2). Резултатите от крайния тест на тези ученици, които още по време на уроците не са успели да усвоят ключови концепции **варира**т повече и като цяло са **по-ниски** от тези на гореспоменатите им връстници. Коментирани са причините за това, на базата на лични предположения и на съждения, формиращи от други автори (III.6.2);
- **Проблемни** остават концепциите за:
 - ролята на интензитета на светлината във фотоелектричния ефект;
 - атомните преходи и връзката им с наблюдаваните линейни спектри, въпреки че учениците показват значително подобрене на крайния тест (след допълнителна работа в час и извън час);
 - квантуването на енергийните нива на атома и квантовия характер на фотоните, въпреки че се наблюдава леко подобрене на крайния тест.Оказва се, че тези проблеми не се срещат само при нашите ученици (III.6.4);
- Учениците **съзнават** историческата значимост на фотоелектричния ефект и успешно **разграничават** покритите явления по картинка, с изключение на спектрите и връзката им с атомните преходи (III.6.4);
- Основният проблем (вкл. с урока “Атоми/спектри”) е свързан с факта, че на практика **липсва време** за прилагането на повече различни методи във връзка с конкретна тема (виж дисертацията). Въпросът (A3) е труден за учениците, защото изисква по-задълбочено мислене и установяването на връзка между няколко концепции. Става дума за когнитивно равнище, което за голям брой ученици се достига само чрез допълнително време за упражнения. **Експерименталният** метод (който не фигурира в настоящето проучване, но е

проведен отделно) показва (виж дисертацията), че съответната група ученици по-успешно усвоява въпросните концепции;

- Сравнението на уроци със съответно най-висок/най-нисък коефициент на надграждане g води до хипотезата, че ползването на **различни интерактивни методи в рамките на един урок**, комбинирано с обобщение и изписване на план на дъската провокира интереса и задържа вниманието на учениците. Фактът, че това води до по-добри крайни резултати не бива да се пренебрегва (въпреки различията в относителната трудност на съответните два урока - за атома и за ядрото).
- Някои от учениците, които са се **затруднявали** в миналото демонстрират надграждане по-високо от средното за цялата извадка. Въпреки това, някои ученици да изкарали слаби оценки на крайния тест. Тоест, разнообразяването на методи в настоящия формат (по отношение на избор на методи, времетраене и т.н.) **не е помогнало на всички ученици** успешно да надградят знанията си по атомна и ядрена физика.
- **Да**, струва си учител да прилага (и анализира посредством коефициентите на Хейк g (1), g_{ind} (2), g_q (3)) **входи/изходни тестове** (особено когато са без оценка) - или периодично с цел проследяването прогреса на учениците и/или във връзка с проблемни за учениците теми с цел прецизното идентифициране на погрешните им схващания, както и за проверка на въздействието на нов учебен метод.

Обобщено следва, че интуитивното предположение на редица учители/родители/ученици/методици се **потвърждава** чрез количествен анализ - разнообразяването на методи помага на българските ученици да развиват знания и умения **ако** съответните задания могат да се покрият в рамките на ограниченото време. Някои теми изискват повече време, сравнено с други теми. Това не става ясно от учебната програма по физика и астрономия за X клас (Министерство на образованието и науката, 2018), но може да се допълни с помощ от учителите.

Върху проблемните концепции може да се работи чрез прилагането на допълнителни методи, за които съществува публично достъпна информация от автори в тази област. Включването на дейности, които по различен начин (и степен) ангажират учениците показва добри резултати. Самият учител може периодично да анализира ефекта от използваните методи, както и да проследява прогреса на затрудняващите се ученици. Те се нуждаят от допълнителна консултация въпреки повишения им интерес по време на часовете. Проблемът вероятно е свързан с умението им да учат периодично и самостоятелно - качество, което ако искат да прилагат успешно в бъдеще, трябва да бъде изградено още в училище - с помощта на учителите, родителите и съучениците.

Заклучение

Разнообразяването на методи в общогимназиалното обучение по атомна/субатомна физика в България води до добри академични постижения на учениците като цяло, включително и на някои от затрудняващите се с предмета обучаеми. При опита да се покрият основните концепции за атомните преходи и връзката им с линейни спектри по интерактивен начин, учителят се сблъсква с трудности, поради ограниченото време в час. Съществуват много възможности за разнообразяване на дейностите. Реализацията на интригуващи методи в часовете по физика може да бъде улеснена, ако част от темите се слоят в задължително-изборно съдържание. От една страна, сравнението на учебни програми в редица други държави разкрива, че в българските общи гимназии атомната и субатомната физика е много добре застъпена. От друга страна, възниква въпросът, дали тази програма не си струва

да бъде преразгледана. Българските ученици изучават някои сравнително абстрактни и отчасти концептуално трудни за разбиране теми още в десети клас, независимо от тяхната насоченост (избор на профил във втори гимназиален етап) и без възможност в рамките на редовните часове част от тези теми да са изборни за тях. До това заключение се стига вследствие на анализ на учебни програми от редица държави по света, всяка от които има значително високи резултати в изследването PISA 2018 (Science), както и на базата на емпирични наблюдения и обработени данни от проучване с български ученици в столична езикова гимназия.

Следва, че съществуват много възможни направления, по които може да се търсят начини за подпомагане на българската училищна физика. Сравнението на учебни програми (по който и да е предмет) отнема време, но разкрива полезна информация и контекстуализира националните решения в дадена област. Учебната програма по физика в някои други държави включва интересни детайли, които са полезни за учителите. Например се изброяват добри насочващи въпроси, които могат да мотивират дискусия с учениците по дадена тема или се определя приблизително колко учебни часа е смислено да се отделят за усвояването на дадена концепция. Настоящият труд (както и редица други статии) ясно разкрива, че някои теми (атом на водорода) отнемат значително повече усилия и време за усвояване. Въпросът за обема на изучавания материал е актуален. Струва си да бъде обмислен национален подход, който приоритизира по-задълбоченото усвояване на по-малко на брой теми. Не е нужно съдържанието да се редуцира значително. На практика се оказва, че годишният брой часове физика 10-ти клас в някои гимназии не достига 72 часа, поради различни причини (национални празници, външно оценяване и други, включително свързани с конкретното училище).

Наличието на изборни междупредметни “модули” в рамките на учебната програма по физика в първи гимназиален етап би насърчило да се приложи интегрираният подход в национален мащаб. Някои групови методи (проблемно-ориентирани задачи, презентации, проекти, експерименти и др.) намират изключително добро приложение именно в рамките на такъв вид интегрирано съдържание и не се ограничават от една конкретна тема (физична, химична, историческа, ...). Например е възможна конфигурация, в която учениците групово разработват продукт или онагледяват актуално/интересно явление. С помощ на учителя те провеждат нужните изследвания/проучвания, научават се да представят и защитават информация/резултати пред жури, осъществяват връзка с предприемачеството и/или историята и т.н.

Проведеният преглед на статии също може да бъде разширен и да се категоризират интересни/полезни за учениците методи в областта на физиката като цяло. Определянето на ключови признаци, които се съдържат в статиите може да бъде доусъвършенствано. От една страна, могат да се подберат допълнителни признаци. От друга страна, анализът на статии може да бъде проведен от няколко учени/учители, които после да сравнят как са попълнили таблици от вида на Таблица 5. Този процес вероятно няма как да се автоматизира в близкото бъдеще и експертната оценка на няколко човека ще доведе до точно и компактно описание на статия в сферата на методите в обучението. Това може да бъде полезно за всички участници в образованието.

Проучването с български ученици позволи да се намерят отговори на няколко изследователски въпроса. Формирането на повече екипи, които целенасочено провеждат такъв тип изследвания със сигурност може да разкрие много за обучаемите, за стила на преподаване на учителите им, както и за резултатите от промени в образователната система. Изглежда по този начин се добива добра представа и за “микро-ефектите” в образованието, тоест - за резултатите след един час/блок преподаване или въз основа на един конкретен метод и т.н. Анализите на резултати от

национални външни оценявания разкриват състоянието на образованието в по-груб, макар и значително по-голям мащаб. Комбинация от двата вида анализ би дала една още по-цялостна представа за състоянието на обучението по физика в България.

Тук описаното проучване с ученици е ограничено, тъй като не включва контролна група. Причините за това са посочени в Глава III. Въпреки това, проучването може да се подобри, ако се проведе с повече участници, за по-дълго време (няколко месеца или цяла година), и с цел идентифицирането на ефективни комбинации метод-теми. По този начин може да се провери изказаното в дисертацията (не в автореферата) предположение, че сливането (в рамките на даден урок за нови знания) на интерактивни методи с обобщение и систематизиране от страна на учителя в общия случай представлява оптималната стратегия за постигане на добри успехи и мотивация.

На базата на резултатите от вторичния анализ (виж дисертацията) възниква още една потенциална тема за дискусия и анализ - кариерното ориентиране. На практика има ученици в общи гимназии, които дори в края на първи гимназиален етап (края на 10-ти клас) не знаят с какво искат да се занимават. Това вероятно затруднява избора на конкретен профил. Кариерното ориентиране може да бъде вдъхновяващо и полезно за учениците (особено, ако в часа гостуват хора с опит в дадена област). Възможност за интегриране на кариерното ориентиране в учебния план има - в часа на класа, в учебните програми по конкретните предмети, дори и под формата на стажове след предварително ориентируващо определяне на интересите на детето.

Приноси на автора

1. Разработка и апробация на методология за сравнителен анализ в рамките на световното обучение по атомна и субатомна (гимназиална) физика, на базата на предварително определени съдържателни индикатори в учебни програми;
2. Създаване и прилагане на методология за характеризирание, посредством ключови признаци, на съдържанието на публикации в областта на методите в обучението;
3. Извличане на редица връзки между фактори в обучението и резултати по физика посредством вторичен анализ, на базата на данни от изследването TIMSS Advanced 2015;
4. Създаване на методология за количествено измерване (по три начина) на надграждането на знания като резултат от обучение чрез разнообразни интерактивни методи в сферата на училищната атомна и субатомна физика, в рамките на проведено практическо проучване с български ученици от езикова гимназия.
5. Разработка на препоръки, на базата на получените резултати.

Публикации на автора и участие в конференции

Публикации

ILCHEV, K. (2022). On the effect of using diverse instructional methods in high-school atomic and nuclear physics. ANNOUNCEMENTS.

Ilchev, K., & Kotseva, I. (2022). Investigation of instructional practices in high-school atomic and subatomic physics. Bulgarian Chemical Communications, 54, 116.

Илчев, К. (2022). Урок на тема „Ядрена енергетика“ в гимназиален етап, включващ групово работно и дискусия. 50-та ЮБИЛЕЙНА НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВЪПРОСИТЕ НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ФИЗИКА, 88.

Kunis, F., Ilchev, K., Stoyanova, M., Dimova, V., Genova, T., Valkov, S., & Andreeva (2022), C. IMPROVING THE STUDENTS' LEARNING OF OPTICS AND ATOMIC AND

MOLECULAR PHYSICS BY COMPUTER-ASSISTED SCHOOL EXPERIMENTS. In International Scientific Conference "UNITECH (Vol. 2, p. 256).

Kotseva, I., Gaydarova, M., Kunis, F., & Ilchev, K. (2022). Analysis of problem-based learning in physics from the perspective of integrated STEM education. BULGARIAN CHEMICAL COMMUNICATIONS, 102.

Илчев, К. (2021). Вторичен анализ на връзката подход-умения и ролята на виртуалния експеримент в обучението по физика. XLIX НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВЪПРОСИТЕ НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ФИЗИКА, 113.

Константин, П., Фабиен, Т., Весела, В., & Христина, А. (2022). ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА АНАЛИЗ НА ЗАТИХВАЩО ТРЕПТЕНЕ ЧРЕЗ ЧАСТИЧНО КОМПЮТЪРНО-БАЗИРАН УЧЕБЕН ЕКСПЕРИМЕНТ ПО ФИЗИКА. ANNOUNCEMENTS, 109.

Илчев, К., Кожухаров, В. (2020). Субядрената физика в университетското образование по физика. XLVIII НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВЪПРОСИТЕ НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ФИЗИКА, 34.

Участие в конференции

48-ма НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВЪПРОСИТЕ НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ФИЗИКА на тема: „Ядрената физика и енергетика в образованието по физика” 2 – 4 октомври 2020 г., София

49-та НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВЪПРОСИТЕ НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ФИЗИКА на тема: „Физиката в STEM образованието в средните и във висшите училища” 4 – 6 юни 2021 г., Видин

Национална конференция с международно участие „ОБРАЗОВАТЕЛНИ ТЕХНОЛОГИИ 2021” 06.09. – 09.09.2021, гр. Каварна

Ninth International Conference “Modern Trends in Science” – FMNS-2021 15 - 19.09.2021, Blagoevgrad, Bulgaria

50-та НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВЪПРОСИТЕ НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ФИЗИКА на тема: „Климатичните промени и образованието по физика” 2 – 5 юни 2022 г., Варна

11th Conference of the Balkan Physical Union (BPU11 Congress) Belgrade, Serbia, from 28 August to 1 September 2022.

EDUCATIONAL TECHNOLOGIES 2022 International Science Conference September 7-8, 2022 Kavarna, Bulgaria

3-ТИ НАЦИОНАЛЕН ФОРУМ ЗА СЪВРЕМЕННИ КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ СОФИЯ ТЕХ ПАРК, 10-12 НОЕМВРИ 2022

Благодарности

Благодаря на доц. д-р Венелин Кожухаров за подкрепата и прецизната обратна връзка, за насочващите дискусии, както и за приятните разговори, които всеки път ме мотивираха. Благодаря на гл. ас. д-р Ивелина Коцева за полезните идеи, включително и за работа с конкретни статии, както и за дискусиите около статистическия анализ на данните. В този контекст отправям благодарности и на доц. д-р Калоян Харалампиев за изключително добре поднесеното въведение в емпиричните изследвания. Благодаря на доц. д-р Мая Гайдарова, защото темата на настоящия труд е измежду предложените от нея (и обстойно дискутирани) опции още от самото начало на докторантурата. Благодаря на гл. ас. д-р Весела Димова, както и на гл. ас. д-р Христина Андреева

Марковска за приятното и изключително полезно за мен сътрудничество в рамките на няколко проекта с ученици, както и по време на редица национални конференции.

Сърдечно благодаря на членовете на Катедра по методика на обучението по физика - както за професионалното, така и за приятелското им отношение!

Литература (пълен списък)

- Бижков, Г., & Попов, Н. (1994). *Сравнително образование*. Университетско издателство Св. Климент Охридски, София.
- Златкова, Е., Дянков, Г., Янакиева, К., Маринова, В. (2019). *Сборник със задачи и тестове по физика и астрономия за 10.клас*. Издателство „КЛЕТ БЪЛГАРИЯ“ ООД.
- Илчев, К. (2021). *Вторичен анализ на връзката подход-умения и ролята на виртуалния експеримент в обучението по физика*. 49 НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВЪПРОСИТЕ НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ФИЗИКА.
- Лалов, И. (2011). *История на физиката от възраждането до наши дни*. Университетско издателство „Св. Климент Охридски“ София.
- Максимов, М., Димитрова, И. (2019). *Физика и астрономия. Учебник за десети клас*. Клет България ООД.
- Министерство на образованието и науката. (2015). *Закон за предучилищното и училищното образование*. https://www.mon.bg/upload/34577/Zkn_PedUchObrazovanie-izm07022023.pdf
- Министерство на образованието и науката. (2022). *Обобщена информация за идентифицирани проблеми в учебните програми*. <https://www.mon.bg/upload/32511/ucheb-programi-predlojeniya-28072022.pdf>
- Министерство на образованието и науката. (2023). *МОН предлага промени в учебните програми*. <https://mon.bg/bg/news/5454>
- Министерство на образованието и науката. (2018). *Учебна програма по физика и астрономия за X клас (общообразователна подготовка)*. https://mon.bg/upload/13871/pril8_UP_10kl_Physics.pdf
- Министерство на образованието и науката. (2018). *ДЪРЖАВЕН ЗРЕЛОСТЕН ИЗПИТ ПО ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ 29 август 2018 г. – Вариант 2*. https://mon.bg/upload/16419/DZI_FIZIKA_variant2%2BKEY.pdf
- Министерство на образованието и науката. (2021). *ДЪРЖАВЕН ЗРЕЛОСТЕН ИЗПИТ ПО ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ 27 август 2021 г. - Вариант 2*. https://mon.bg/upload/27548/2dzi_Fizika_270821.pdf
- Министерство на образованието и науката. (2019). *ДЪРЖАВЕН ЗРЕЛОСТЕН ИЗПИТ ПО ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ 29 август 2019 г. - Вариант 2*. https://mon.bg/upload/20527/DZI-FIZIKA-Variant_2_R.pdf
- Министерство на образованието и науката. (2017). *ДЪРЖАВЕН ЗРЕЛОСТЕН ИЗПИТ ПО ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ 30 май 2017 г. - Вариант 2*. https://mon.bg/upload/3033/dzi2_fizika_30052017.pdf
- Министерство на образованието и науката. (2020). *ДЪРЖАВЕН ЗРЕЛОСТЕН ИЗПИТ ПО ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ 28 август 2020 г. - Вариант 2*. <https://mon.bg/upload/23769/2DZI-FIZIKA-v2-280820.pdf>
- Райчева, А., & Борисова, И. (2003). *Физика и астрономия: тестови задачи за 8.-11. клас*. Издателство „Регалия 6“.
- Съюз на Физиките в България & Министерство на образованието и науката. (2021). *Физиката в STEM образованието в средните и във висшите училища*. <http://upb.phys.uni-sofia.bg/conference/NK/49NK.html>
- Фулър, Х., Фулър Р., Фулър Р. (1988). *Физиката в живота на човека*. Издателство наука и изкуство.
- ACARA (Australian Curriculum Assessment and Reporting Authority). (2023). *The Australian Curriculum*. <https://v9.australiancurriculum.edu.au/>
- ACARA (Australian Curriculum Assessment and Reporting Authority). (n.d.). *Overview of senior secondary Australian Curriculum*. <https://www.australiancurriculum.edu.au/senior-secondary-curriculum/science/overview-of-senior-secondary-australian-curriculum/>
- Adams, W. K., & Wieman, C. E. (2011). Development and validation of instruments to measure learning of expert-like thinking. *International journal of science education*, 33(9), 1289-1312.
- Australian Government. (n.d.). *Education system*. <https://www.studyaustralia.gov.au/english/study/education-system>
- Azizoglu, N., Pekdag, B., Sarioglan, A. B., & Kuzucu, G. (2022). An Inquiry-Based Instruction on the Main Subatomic Particles: Enhancing High-School Students' Achievement and Motivation. *Science Education International*, 33(1), 75-85.
- Badalà, A., Blanco, F., La Rocca, P., Pappalardo, G. S., Pulvirenti, A., & Riggi, F. (2007). Extensive air showers in the classroom. *European journal of physics*, 28(5), 903.
- Bakker, M., & Wicherts, J. M. (2014). Outlier removal, sum scores, and the inflation of the Type I error rate in independent samples t tests: the power of alternatives and recommendations. *Psychological methods*, 19(3), 409.

- Bardeen, M., Wayne, M., & Young, M. J.** (2018). Quarknet: A unique and transformative physics education program. *Education Sciences*, 8(1), 17.
- Bastos, R. O., Boff, C. A., & Melquiades, F. L.** (2016). Nuclear physics experiments with low cost instrumentation. *Physics Education*, 51(6), 065013.
- Bonwell, C. C., & Eison, J. A.** (1991). *Active learning: Creating excitement in the classroom. 1991 ASHE-ERIC higher education reports*. ERIC Clearinghouse on Higher Education, The George Washington University, One Dupont Circle, Suite 630, Washington, DC 20036-1183.
- Bressan, E.** (2011). The Extreme Energy Events Project: Cosmic rays at school. *Il nuovo cimento C*, 34(5), 293-301.
- Brouwer, W., Pinfeld, J., Soluk, R., McDonough, B., Pasek, V., & Bao-shan, Z.** (2009). Student Projects in Cosmic Ray Detection. *The Physics Teacher*, 47(8), 494-498.
- Brown, T.** (2014). A Simple Example of Radioactive Dating. *The Physics Teacher*, 52(2), 115-117.
- Bussani, A.** (2020). Duhdohnum: A dice game to introduce middle and high school students to non-elementary systems. *The Physics Teacher*, 58(3), 167-169.
- Cai, S., Liu, C., Wang, T., Liu, E., & Liang, J. C.** (2021). Effects of learning physics using Augmented Reality on students' self-efficacy and conceptions of learning. *British Journal of Educational Technology*, 52(1), 235-251.
- Chen, L. T., & Liu, L.** (2020). Methods to analyze likert-type data in educational technology research. *Journal of Educational Technology Development and Exchange (JETDE)*, 13(2), 39-60.
- Choudhary, R. K., Foppoli, A., Kaur, T., Blair, D. G., Zadnik, M., & Meagher, R.** (2018). Can a short intervention focused on gravitational waves and quantum physics improve students' understanding and attitude?. *Physics Education*, 53(6), 065020.
- Coletta, V. P., & Steinert, J. J.** (2020). Why normalized gain should continue to be used in analyzing preinstruction and postinstruction scores on concept inventories. *Physical Review Physics Education Research*, 16(1), 010108.
- Cronbach, L. J.** (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *psychometrika*, 16(3), 297-334.
- Crouch, C. H., & Mazur, E.** (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American journal of physics*, 69(9), 970-977.
- Cziprok, C., & Poescu, F. F.** (2016). Using the vee heuristic in laboratory classroom for teaching and learning physics of photonic devices. *Romanian Reports in Physics*, 68(2), 879-890.
- De Cicco, F., Balzano, E., Limata, B. N., Masullo, M. R., Quarto, M., Roca, V., ... & Pugliese, M.** (2017). Radon measurement laboratories. An educational experience based on school and university cooperation. *Physics Education*, 52(6), 065003.
- De Souza, V., Barros, M. A., Marques Filho, E. C., Garbelotti, C. R., & Joao, H. A.** (2013). Cosmic rays in the classroom. *Physics Education*, 48(2), 238.
- De Winter, J. C., & Dodou, D.** (2010). Five-point Likert items: t test versus Mann-Whitney-Wilcoxon. *Practical assessment, research & evaluation*, 15(11), 1-12.
- Elbanowska-Ciemuchowska, S., & Giembicka, M. A.** (2011). How to Stimulate Students' Interest in Nuclear Physics?. *Online Submission*.
- Estonian Ministry of Education and Science.** (2014, August 29). *National Curriculum for Upper Secondary Schools. Subject Field: Natural Science*. <https://www.hm.ee/en/media/1992/download>
- European Commission.** (n.d.). *Eurydice. National Education Systems*. <https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/national-education-systems>
- European Commission.** (2023, April 19). *Eurydice. Bulgaria*. <https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/national-education-systems/bulgaria/overview>
- European Commission.** (n.d.). *Eurydice. National Education Systems. Norway. 6. Upper secondary education and post-secondary tertiary Education. 6.2. Teaching and learning in general upper secondary education*. <https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/national-education-systems/norway/teaching-and-learning-general-upper-secondary-education>
- European Commission.** (n.d.). *Eurydice. National Education Systems. Poland. 6. Upper secondary and post-secondary non-tertiary education. 6.2 Teaching and learning in general upper secondary education*. <https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/national-education-systems/poland/teaching-and-learning-general-upper-secondary-education>
- European Commission.** (n.d.). *Eurydice. National Education Systems. Lithuania. 6. Secondary and post-secondary non-tertiary education. 6.8 Teaching and learning in general upper secondary education*. <https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/national-education-systems/lithuania/teaching-and-learning-general-upper-secondary-education>
- European Commission.** (n.d.). *Eurydice. National Education Systems. Estonia. 6. Upper secondary and post-secondary non-tertiary Education. 6.2 Teaching and learning in general upper secondary education*. <https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/national-education-systems/estonia/teaching-and-learning-general-upper-secondary-education>
- Eurostat (European Commission).** (2023). *International Standard Classification of Education (ISCED)*. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International_Standard_Classification_of_Education_\(ISCED\)#Implementation_of_ISCED_2011_28levels_of_education.29](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International_Standard_Classification_of_Education_(ISCED)#Implementation_of_ISCED_2011_28levels_of_education.29)

- Geis, G. L. (1984). Comparing Instructional Methods: Some Basic Research Problems. *Canadian Journal of Higher Education*, 14(2), 91-98.
- Goldader, J. D., & Choi, S. (2010). An inexpensive cosmic ray detector for the classroom. *The Physics Teacher*, 48(9), 594-597.
- Goss-Sampson, M. (2019). Statistical analysis in JASP: A guide for students.
- Government of Alberta. (n.d.). *High School Career and Life Management Overview*. https://www.learnalberta.ca/content/mychilddlearning/highschool_calm.html
- Government of Alberta. (n.d.). *High School Physics Overview*. https://learnalberta.ca/content/mychilddlearning/highschool_physics.html#2
- Government of Alberta. (2023, August 23). *Alberta High School Diploma: Graduation requirements (English)*. <https://alberta.ca/education-guide-alberta-high-school-diploma-graduation-requirements-english>
- Government of Singapore. (2020). *Educational Classification*. https://www.singstat.gov.sg/-/media/files/standards_and_classifications/educational_classification/ssec2020-report.ashx
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Hake, R. R. (2002, August). Relationship of individual student normalized learning gains in mechanics with gender, high-school physics, and pretest scores on mathematics and spatial visualization. In *Physics education research conference* (Vol. 8, No. 1, pp. 1-14).
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., & Koch, S. M. (2007). *Halliday Physik–Bachelor Edition*. Weinheim: Wiley.
- Ilchev, K., & Kotseva, I. (2022). Investigation of instructional practices in high-school atomic and subatomic physics. *Bulgarian Chemical Communications*, 54, 116.
- International Association for the Evaluation of Educational Achievement. (2023). *IEA*. <https://www.iea.nl/>
- International Association for the Evaluation of Educational Achievement. (2019). *Exhibit 4.1: Average Science Achievement and Scale Score Distributions*. https://timss2019.org/reports/wp-content/uploads/download/achievement/4_1-2_achievement-results-S8.pdf
- International Association for the Evaluation of Educational Achievement. (2019). *TIMSS 2015 International Reports*. <https://timss2015.org/timss-2015/science/student-achievement/distribution-of-science-achievement/>
- International Association for the Evaluation of Educational Achievement (TIMSS&PIRLS). (2019). *TIMSS 2019 Encyclopedia: Education Policy and Curriculum in Mathematics and Science*. <https://timssandpirls.bc.edu/timss2019/encyclopedia/>
- International Association for the Evaluation of Educational Achievement (TIMSS&PIRLS). (2015). *TIMSS 2015 Encyclopedia*. <https://timss2015.org/encyclopedia/>
- International Association for the Evaluation of Educational Achievement (TIMSS&PIRLS). (2015). *TIMSS ADVANCED 2015 INTERNATIONAL REPORTS. Description of Physics Programs and Curriculum: Slovenia*. <https://timssandpirls.bc.edu/timss2015/international-results/advanced/timss-advanced-2015/physics/curriculum/slovenia-description-of-physics-programs-and-curriculum/>
- Kapon, S. (2013). Constructing conceptual meaning from a popular scientific paper—the case of $E=mc^2$. *Physics Education*, 48(1), 90.
- Keegans, J. D., Stancliffe, R. J., Bilton, L. E., Cashmore, C. R., Gibson, B. K., Kristensen, M. T., ... & Chongchitnan, S. (2021). Project ThaiPASS: international outreach blending astronomy and Python. *Physics Education*, 56(3), 035001.
- Kontomaris, S. V., Malamou, A., Balogiannis, G., & Antonopoulou, N. (2019). A simplified approach for presenting the differences between ionising and non-ionising electromagnetic radiation. *Physics Education*, 55(2), 025007.
- Kourkoumelis, C., & Vourakis, S. (2014). HYPATIA—an online tool for ATLAS event visualization. *Physics Education*, 49(1), 21.
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A., & Van Joolingen, W. R. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical review physics education research*, 13(1), 010109.
- Krišťák, L., Stebila, J., & Danihelová, Z. (2013). Experimental Support in Teaching Physics at Lower Secondary Schools. *Scientia in education*, 4(1).
- Kumar, M. (2008). *Quantum: Einstein, Bohr and the great debate about the nature of reality*. Icon Books Ltd.
- Kunis, F., Ilchev, K., Stoyanova, M., Dimova, V., Genova, T., Valkov, S., & Andreeva, C. (2022). IMPROVING THE STUDENTS' LEARNING OF OPTICS AND ATOMIC AND MOLECULAR PHYSICS BY COMPUTER-ASSISTED SCHOOL EXPERIMENTS. In *International Scientific Conference "UNITECH"* (Vol. 2, p. 256).
- Kvita, J., Čermáková, B., Matulová, N., Poštulka, J., & Staník, D. (2019). Particle camera MX-10 in physics education. *Physics Education*, 54(2), 025011.
- Laubach, T. A., Elizondo, L. A., McCann, P. J., & Gilani, S. (2010). Quantum dotting the “i” of Inquiry: A guided inquiry approach to teaching nanotechnology. *The Physics Teacher*, 48(3), 186-188.
- Loveless, T. (2013, January 9). *International Tests Are Not All the Same*. Brookings. <https://www.brookings.edu/articles/international-tests-are-not-all-the-same/>
- Luxembourg : Publications Office of the European Union. (2022). *Compulsory education*

- in Europe 2022/2023. *Eurydice – Facts and Figures*. <https://eurydice.eacea.ec.europa.eu/media/2837/download>
- Maftai, G., & Maftai, M.** (2011). The strengthen knowledge of atomic physics using the “mosaic” method (The Jigsaw method). *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 15, 1605-1610.
- Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology-Japan.** (2018). *High school Curriculum Guidelines (2018)*. (Original: 高等学校 学習指導要領 (平成 30 年告示)). https://www.mext.go.jp/content/20230120-mxt_kvoiku02-100002604_03.pdf
- Ministry of Education of Singapore.** (n.d.). *Ministry of Education*. <https://www.moe.gov.sg>
- Mullis, I. V., & Martin, M. O.** (2014). *TIMMS Advanced 2015 Assessment Frameworks*. International Association for the Evaluation of Educational Achievement. Herengracht 487, Amsterdam, 1017 BT, The Netherlands.
- Mullis, I. V., Martin, M. O., Foy, P., & Hooper, M.** (2016). TIMSS advanced 2015 international results in advanced mathematics and physics. *Boston: Boston College TIMSS & PIRLS International Study Center*.
- National Center for Education Statistics.** (2020). *Program for International Student Assessment (PISA)*. <https://nces.ed.gov/statprog/handbook/pdf/pisa.pdf>
- National Center for Education Statistics.** (n.d.). *Considerations for Analysis of International Activities Program Data*. https://nces.ed.gov/training/datauser/IAPS_05.html
- National Center for Education Statistics.** (n.d.). *International Activities Program (IAP): IDE*. <https://nces.ed.gov/surveys/international/ide/>
- Nissen, J. M., Talbot, R. M., Thompson, A. N., & Van Dusen, B.** (2018). Comparison of normalized gain and Cohen’s d for analyzing gains on concept inventories. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), 010115.
- Norwegian Directorate of Education.** (n.d.). *Naturfag (NAT01-04): Kompetansemål og vurdering* <https://www.udir.no/lk20/nat01-04/kompetansemal-og-vurdering/kv77>
- Penrose, R.** (2005). *The road to reality: A complete guide to the laws of the Universe*. Vintage 2005.
- Planinšič, G., & Kovač, J.** (2008). Nano goes to school: a teaching model of the atomic force microscope. *Physics Education*, 43(1), 37.
- Polish Ministry of Education - Education Development Center.** (n.d.). *Programy nauczania – Podstawa programowa*. <https://www.ore.edu.pl/2015/04/programy-nauczania-3/>
- QCAA (Queensland Curriculum and Assessment Authority).** (2022). *Physics 2019 v1.3. General Senior Syllabus*. https://www.qcaa.qld.edu.au/downloads/senior-qce/syllabuses/snr_physics_19_syll.pdf
- Queensland Government.** (2020, April 9). *Queensland Certificate of Education (QCE)*. <https://www.qld.gov.au/education/career/qualifications/qce>
- Ramaila, S.** (2020, April). A comparative analysis of school physics curriculum content in selected countries. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1512, No. 1, p. 012011). IOP Publishing.
- Rodriguez, L. V., van der Veen, J. T., Anjewierden, A., van den Berg, E., & de Jong, T.** (2020). Designing inquiry-based learning environments for quantum physics education in secondary schools. *Physics Education*, 55(6), 065026.
- Salazar R, E., Obaya V, A. E., Giammatteo, L., & Vargas-Rodríguez, Y.** (2019). Evaluating a Didactic Strategy to Promote Atomic Models Learning in High School Students through Hake's Method. *Online Submission*, 7(5), 293-312.
- Savall-Aleman, F., Domènech-Blanco, J. L., Guisasola, J., & Martínez-Torregrosa, J.** (2016). Identifying student and teacher difficulties in interpreting atomic spectra using a quantum model of emission and absorption of radiation. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010132.
- Savall-Aleman, F., Guisasola, J., Cintas, S. R., & Martínez-Torregrosa, J.** (2019). Problem-based structure for a teaching-learning sequence to overcome students’ difficulties when learning about atomic spectra. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), 020138.
- Schibuk, E.** (2015). Teaching the Manhattan Project. *The Science Teacher*, 82(7), 27.
- Schramek, A., Oláh, M. É., Telek, Z., & Peter, K.** (2020). Based teaching at wigner research centre for physics, Hungary. *Canadian Journal of Physics*, 98(6), 588-592.
- SEAB (Singapore Examinations and Assessments Board).** (2023). *O-level syllabuses examined for school candidates*. <https://www.seab.gov.sg/home/examinations/gce-o-level/o-level-syllabuses-examined-for-school-candidates-2023>
- SEAB (Singapore Examinations and Assessments Board).** (2023). *A-level syllabuses examined for school candidates*. <https://www.seab.gov.sg/home/examinations/gce-a-level/a-level-syllabuses-examined-for-school-candidates-2023>
- Sengdala, P., & Yuenyong, C.** (2014). Enhancing Laos Students' Understanding of Nature of Science in Physics Learning about Atom for Peace. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 119-126.
- Shastri, A.** (2007). Studying the Effects of Nuclear Weapons Using a Slide-Rule Computer. *The Physics Teacher*, 45(9), 559-563.
- Slovenian Ministry of Education.** (n.d.). *UČNI NAČRTI ZA GIMNAZIJE*. http://eportal.mss.edus.si/msswww/programi2022/programi/gimnazija/ucni_nacrti.htm

- Stadermann, H. K. E., van den Berg, E., & Goedhart, M. J.** (2019). Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010130.
- Stephens, M., Landeros, K., Perkins, R., & Tang, J. H.** (2016). Highlights from TIMSS and TIMSS Advanced 2015: Mathematics and Science Achievement of US Students in Grades 4 and 8 and in Advanced Courses at the End of High School in an International Context. NCES 2017-002. *National Center for Education Statistics*.
- Taber, K. S.** (2018). The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in science education*, 48, 1273-1296.
- The King's Centre for Visualization in Science.** (n.d.). *The Photoelectric Effect*.
<https://applets.kcvcs.ca/photoelectricEffect/PhotoElectric.html#>
- The Organization for Economic Cooperation and Development.** (2023). *Programme for International Student Assessment*.
<https://www.oecd.org/pisa/#>
- The Organization for Economic Cooperation and Development.** (2020). *PISA 2018 Results (Volume V) : Effective Policies, Successful Schools*. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/ca768d40-en/index.html?itemId=/content/publication/ca768d40-en>
- The Organization for Economic Cooperation and Development.** (2019). *Chapter 4. PISA 2018 Science Framework*.
https://www.oecd-ilibrary.org/pisa-2018-science-framework_f30da688-en.pdf?itemId=%2Fcontent%2Fcomponent%2F30da688-en&mimeType=pdf
- The Organization for Economic Cooperation and Development.** (2019). *PISA 2018 Results (Volume I): What Students Know and Can Do. Chapter 4: How did countries perform in PISA 2018?*.
https://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa-2018-results-volume-i_28450521-en
- Tsuruta, T., Hohara, S., Nakanishi, Y., & Shimba, H.** (2009). Indigenous approach to nuclear track studies in academics. *Radiation measurements*, 44(9-10), 1036-1039.
- Tuzón, P., & Solbes, J.** (2016). Particle physics in high school: a diagnose study. *PloS one*, 11(6), e0156526.
- UNESCO Institute for Statistics.** (n.d.). *UIS.Stat*. <http://data.uis.unesco.org/>
- University of Colorado Boulder.** (n.d.). *Build an Atom*. https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom_en.html
- van den Berg, E., & Hoekzema, D.** (2006). Teaching conservation laws, symmetries and elementary particles with fast feedback. *Physics Education*, 41(1), 47.
- Web Solutions LLC.** (2023). *Japan: Secondary Education*.
<https://education.stateuniversity.com/pages/740/Japan-SECONDARY-EDUCATION.html>
- Whitley, E., & Ball, J.** (2002). Statistics review 6: Nonparametric methods. *Critical care*, 6, 1-5.
- Woo, Y., & Ju, Y. G.** (2018). Fabrication of a high-resolution smartphone spectrometer for education using a 3D printer. *Physics Education*, 54(1), 015010.

(допълнителни източници на фигури):

- Center for Science Education (UCAR).** (n.d.). *Wavelength of Blue and Red Light*.
<https://scied.ucar.edu/image/wavelength-blue-and-red-light-image>
- Course Hero.** (n.d.). *400 Problem 4. Continuous spectrum 450 Hydrogen Emission spectrum...*
<https://www.coursehero.com/tutors-problems/Chemistry/29709470-Please-refer-to-the-attachment-to-answer-this-question-This-question/>
- David Darling.** (n.d.). *continuous spectrum*. <https://www.daviddarling.info/encyclopedia/C/contspec.html>
- JASP.** (n.d.). *JASP. A Fresh Way to Do Statistics*. <https://jasp-stats.org/>
- Khan Academy.** (n.d.). *Photoelectric effect*. <https://www.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics/photons/a/photoelectric-effect>
- Nave, C.** (Georgia State University). (n.d.). *Absorption and Emission*. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mod5.html#c2>
- Physics Forums.** (2014, April 11). *Absorption line spectrum*. <https://www.physicsforums.com/threads/absorption-line-spectrum.748185/>
- Takada, K.** (Kyushu University). (2004, May 15). *4-2: The Atomic Spectra*.
http://ne.phys.kyushu-u.ac.jp/seminar/MicroWorld1_E/Part4_E/P42_E/atomic_spectra_E.htm