


СЪЮЗ НА ФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ
МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
Фондация „Еврика“, Международна фондация „Св. Св. Кирил и
Методий“, Община Пловдив, Пловдивски университет „Паисий
Хилендарски“, Технически университет – филиал Пловдив

**53-та НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО
ВЪПРОСИТЕ НА ОБУЧЕНИЕТО ПО
ФИЗИКА**

**Изучаване на квантова физика за
устойчиво бъдеще: от учебната
зала до индустрията**

10 – 13 април 2025 г., град Пловдив

Медийни партньори: Българска телеграфна агенция ,
сп. Светът на физиката, Национално издателство **АЗБУКИ**,



Национален организационен комитет:

Почетни председатели: акад. Александър Драйшу, акад. Николай Витанов

Председател: проф. д-р Желязка Райкова

Зам.-председатели:

проф. д.ф.н. Евгения Вълчева

проф. д.ф.н. Ана Георгиева

доц. д-р Мая Гайдарова

Секретар: Милка Джиджова

Членове: проф. д.ф.н. Иван Лалов, проф. д.т.н. Сашка Александрова,

проф. д-р Митко Гайдаров, проф. д.ф.н. Хассан Шамати

доц. д-р Нели Димитрова, доц. д-р Екатерина Писанова,

доц. д-р Мария Коларова, гл. ас. д-р Лилия Атанасова,

гл. ас. д-р Мая Жекова, Пенка Лазарова, Силвия Стойчева

Нина Герева, Милена Гошева

Организационен комитет – Пловдив:

Почетни председатели: проф. д-р Румен Младенов, проф. д-р Теменужка

Йовчева, проф. д-р Невена Милева, доц. д-р Силвия

Стоянова-Петрова

Председател: доц. д-р Иван Бодуров

Зам.-председатели:

доц. д-р Анелия Дакова-Моллова

доц. д-р Гинка Екснер

Членове: гл. ас. д-р Мариана Шопова, гл. ас. д-р Мариета Атанасова

гл. ас. д-р Стефан Николов, гл. ас. д-р Цветелина Иванова,

гл. ас. д-р Меги Дакова, гл. ас. д-р София Миленкова,

д-р Костадина Кацарова, д-р Красимир Витларов,

Георги Танковски, Стоянка Костадинова, Иван Тимонов, Елена

Иванова, Христина Атанасова

Сборникът е съставен под редакцията на:

проф. д-р Желязка Райкова

доц. д-р Иван Бодуров

53-та Национална конференция по въпросите на обучението по физика
„Изучаване на квантова физика за устойчиво бъдеще: от учебната зала до
индустрията“

Издание: © СФБ

ISBN 978-619-931111-1-0

ISBN 978-619-931111-2-7 (e-book PDF)

Всички права са запазени

Съдържание

ПОКАНЕНИ ПЛЕНАРНИ ДОКЛАДИ	5
<i>Сашка Александрова</i> , Квантовата механика и физиката на полупроводниците.....	6
ДОКЛАДИ	14
<i>Силвана Василева</i> , Един възможен подход за преподаване на квантова физика.....	15
<i>Даниела Иванова</i> , Квантови компютри и технологии чрез класически експерименти в обучението по физика в 11 клас	23
<i>Росица Манолова-Иванова, Християна Петрова</i> , Флаш карти с мнемонични техники и елементи на ейдетика в обучението по физика и астрономия.....	29
<i>Милена Славкова</i> , Интердисциплинарен урок на тема „Квантови ефекти във фотосинтезата, миграцията на птиците и ДНК мутациите“	35
<i>Иван П. Бодуров, Спаска Й. Николова, Таня Г. Хрискова</i> , Аналогии и модели – един метод за преподаване на квантова физика в средното училище	42
<i>Марияна Филипова</i> , Образованието по квантови технологии – стратегически приоритет за бъдещето. Как да изградим устойчива образователна екосистема, която да подготви учениците и студентите за квантовата ера?.....	48
<i>Цветелина Иванова-Варадинова, Марио Усков</i> , Интеграция на интерактивни образователни технологии при изучаването на „Атоми и атомни ядра“ в 7 клас, в училищния курс по физика.....	56
<i>Мая Гайдарова, Фабиен Кунис, Ивелина Коцева</i> , Квантовата и вълнова оптика в задължителния курс по физика – модели и представяния.....	62
<i>Стефан Николов</i> , Педагогически функции на лабораторните упражнения по физика във физическото и инженерното образование във висшите училища	68
<i>Фабиен Кунис, Мая Гайдарова, Ивелина Коцева</i> , Дигитални ресурси в обучението по квантова физика в средния курс на обучение	73

<i>Нина Герева, Желязка Райкова, Екатерина Писанова, Трудности и погрешни схващания на учениците при изучаване на елементи от квантовата физика в десети клас</i>	78
<i>Христина Петрова, Графично моделиране при изучаване на фотоелектричен ефект в средното училище</i>	84
<i>Екатерина Писанова, Фотоефектът: преобладаващи погрешни представи (мисконцепции) и дизайн на концептуална карта</i>	90
<i>Пенка Василева, Физиката в приказките</i>	96
<i>Александра Умленска, Вера Гледачева, Валери Славчев, Разпределение на температурата в биологични тъкани под действието на лазерно лъчение – сравнение на математически модели</i>	101

Фигурите в статиите са цветни в електронната версия на сборника, който можете да намерите на страницата на конференцията:

<http://upb.phys.uni-sofia.bg/conference/NK/53NK.html>

ПОКАНЕНИ
ПЛЕНАРНИ ДОКЛАДИ

Квантовата механика и физиката на полупроводниците

Саика Александрова

Катедра по приложна физика, Факултет по приложна математика и информатика, Технически университет - София

Абстракт: Представен е кратък преглед на приложението на квантово-механичните представи за описание на свойствата на полупроводниковите вещества. Развитие на физика на полупроводниците и на полупроводниковите елементи в съвременната електроника е модел на практически приложение на една теоретична наука – квантовата механика, с огромно значение за развитието на човешката цивилизация.

1. Увод

На 7 юни 2024 г. Генералната асамблея на ООН официално обяви 2025 за „Международна година на квантовите науки и технологии“ (International Year of Quantum Science & Technology (IYQ2025)). Тази година отбелязва старта на десетилетие, посветено на усилено научно развитие. Квантовите науки се очаква да ни предоставят новаторски технологии – от квантови компютри до ултрапрецизни измервателни устройства и материали от следващо поколение, които ще трансформират много области на индустрията, медицинската практика и екологичната ситуация. Симбиозата на квантовата механика и физиката на полупроводниците играе и ще играе съществена роля в развитието на много от споменатите области.

2. Възникването на квантовата механика

Квантовата наука се е зародила в резултат на изследвания на най-малките обекти в природата. Методите на класическата физика се оказват недостатъчни за описание на техните свойства. Необходим е нов подход. И той е намерен. През юли 1925 г. се появява статия със заглавие „Върху квантово-механичната преформулировка на кинематичните и механичните съотношения“ [1] с автор Вернер Хайзенберг. Статията е публикувана през юли 1925 г. на немски език в списание *Zeitschrift für Physik* и се явява основополагаща за възникването на квантовата механика. На **Фиг. 1** е показана част от заглавната страница на статията. IYQ2025 стартира през 2025 г. в чест на стогодишнината от тази статия. Хайзенберг обявява като водещ принцип на квантовата механика, че само наблюдаеми величини са позволени в теоретичното описание на атомите. Новите идеи бързо се възприемат и още през ноември 1925 г. се появява подробна статия в 2 части (*Zur Quantenmechanik*) като следваща стъпка на формализирането на теорията на Хайзенберг на езика на матриците [2, 3]. Втората част на статията с автори Хайзенберг, Борн и Йордан е известна сред учените като „Статията на тримата“. С тази публикация квантовата механика започва да изглежда все по-разпознаваема за съвременния читател и е известна като “матрична квантовата механика” [3].

Малко по-късно, през зимата на 1925/1926 г., Шрьодингер развива своята вълнова механика. През пролетта на 1926 г. квантовите физици разполагат с два теоретични модела, които им позволяват да предскажат едно и също поведение за квантовите системи. Всъщност през 1932 г. Джон фон Нойман (*John von Neumann*)

дава първото солидно доказателство за еквивалентността между двата формализма, матричната и вълновата механика, в известната си книга „Математични основи на квантовата механика“ [4]. Така са положени основите на квантовата механика. Често това се отбелязва като „първа квантова революция“.

**Über quantentheoretische Umdeutung
kinematischer und mechanischer Beziehungen.**

Von **W. Heisenberg** in Göttingen.

(Eingegangen am 29. Juli 1925.)

In der Arbeit soll versucht werden, Grundlagen zu gewinnen für eine quantentheoretische Mechanik, die ausschließlich auf Beziehungen zwischen prinzipiell beobachtbaren Größen basiert ist.

Bekanntlich läßt sich gegen die formalen Regeln, die allgemein in der Quantentheorie zur Berechnung beobachtbarer Größen (z. B. der Energie im Wasserstoffatom) benutzt werden, der schwerwiegende Einwand erheben, daß jene Rechenregeln als wesentlichen Bestandteil Beziehungen enthalten zwischen Größen, die scheinbar prinzipiell nicht beobachtet werden können (wie z. B. Ort, Umlaufzeit des Elektrons), daß also jenen Regeln offenbar jedes anschauliche physikalische Fundament mangelt, wenn man nicht immer noch an der Hoffnung festhalten will, daß jene bis jetzt unbeobachtbaren Größen später vielleicht experimentell zugänglich gemacht werden könnten. Diese Hoffnung könnte

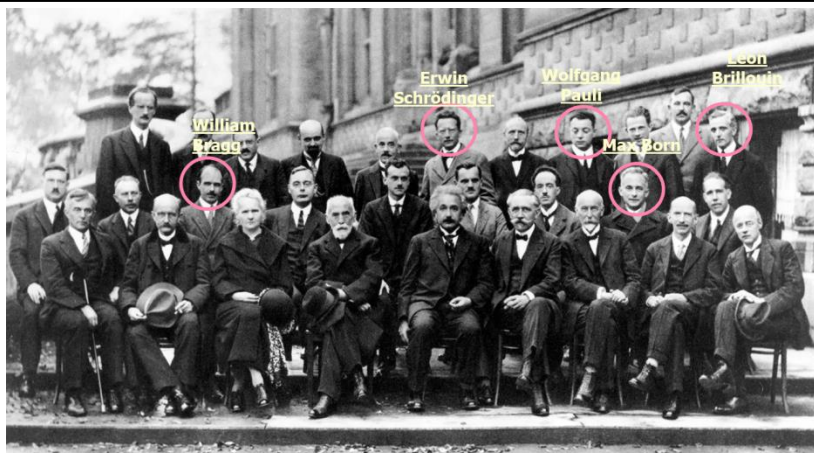
Фиг. 1 Част от първата страница на основополагащата статия на Вернер Хайзенберг.

И както често се казва, останалото е история. Всъщност историята продължава с в тясна връзка с физиката на полупроводниците и се дава тласък на развитието на полупроводниковите технологии, за да стигнем днес до навливането на квантовите науки и технологии практически в всички области на индустриалното развитие.

3. Квантовата механика и физиката на полупроводниците

Десетилетието 1925 – 1935 след първата статия на Хайзенберг е времето на Втората промишлена революция, когато в обществото настъпват съществени промени, като навливане на фабричната система и масовото производство, технологични промени, които включват използването на нови основни материали, главно желязо и стомана и нарастващо приложение на науката към промишлеността и масовото производство.

По отношение на свойствата на материалите тогава физиката разполага с обърквачи факти. Класическата теория няма обяснение на определени свойства на металите, както и за съществуването на полупроводниците. Дори през 1931 г. Волфганг Паули пише в известното си писмо до Рудолф Пайерлс: „Няма смисъл да се работи върху полупроводници, това е някаква бъркотия; кой знае дали наистина те изобщо съществуват! (*Über Halbleiter sollte man nicht arbeiten, das ist eine Schweinerei, wer weiss, ob es überhaupt Halbleiter gibt*)“.



Участниците в Петата Солвеевска конференция по физика.

Историята продължава със много успешното приложение на квантовата механика към твърдите тела, в частност за обясняване на електричната проводимост в полупроводниковите вещества. По тези проблеми работят много физици от това време по цял свят. На снимката по-горе от известната Петата Солвеевска конференция по физика, проведена от 24 до 29 октомври 1927 г. на тема „Електрони и фотони“, са означени учените с най-голям принос в тази област. Първите, които обясняват как вълновите свойства определят проводимостта на материалите (да провеждат или не електричен ток), са Юджийн Вигнер (*Eugene Wigner*) и Фредерик Зайц (*Frederick Seitz*) [5].

Постиженията на физиците в областта на твърдите тела в това десетилетие се базират на главно на идеите на Луи де Бройл, че може би частици като електроните понякога могат да се държат като вълни и на квантово-механичното им описание чрез прилагането на уравнението на Ервин Шрьодингер – уравнение, което може да опише най-точно поведението на електроните и другите субатомни частици.

За да се разбере как работи физиката на твърдото тяло, е необходимо да се намери отговор на следните два основни въпроса:

1. Какви са (приблизителните) решения на уравненията на Шрьодингер за единичен атом от даден вид?
2. Как се променят тези решения, ако въпросният атом е част от правилна решетка от идентични атоми, какво е влиянието на взаимодействията на най-близките съседи в кристалната решетка върху външните електронни обвивки на атомите на въпросната решетка?

Отговорът на тези въпроси дава зонната теория, която идва като резултат от изследванията на редица учени. За описание на движението на електроните като квазичастици в подредена кристална решетка се търсят решения на уравненията на Шрьодингер в периодичен потенциал (**Фиг. 2а**). Видът на вълновата функция на електрона в този случай, повлияна от кристалния потенциал, в сравнение тази на свободния електрон е показана на **Фиг. 2б**.

Движение на електроните в кристала

- Electron is a quasi-particle that behaves as a “wave” due to quantum mechanical effects.
- The electron “wavelength” is perturbed by the crystals periodic potential.

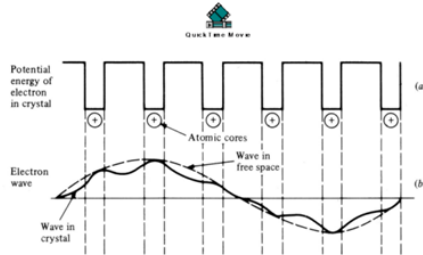
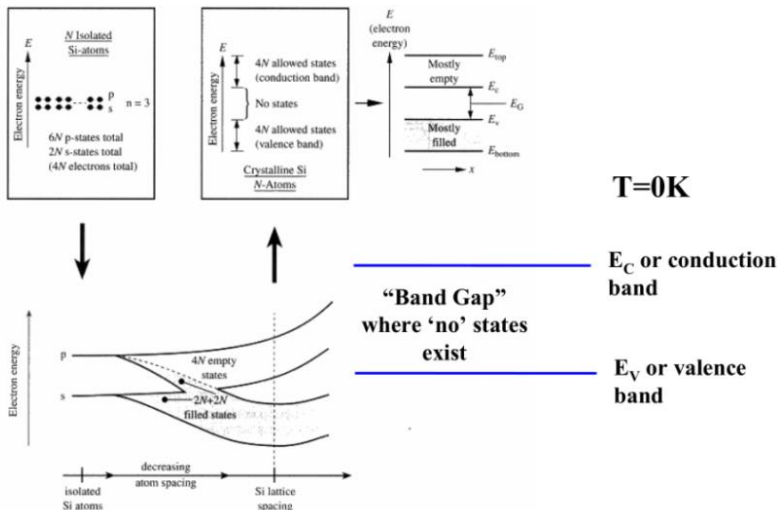


FIGURE 1-11 Representation of motion of electron wave in crystal potential. (After Wolfendale [3].)

Фиг. 2 Движение на електроните в кристала.

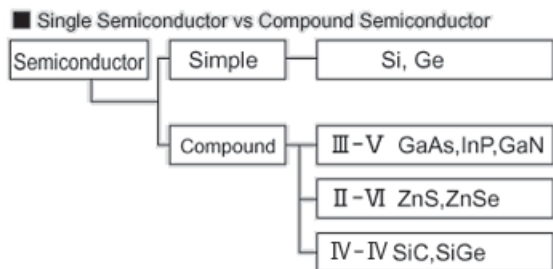
На Фиг. 3 е представена илюстрация на възникването на редуващи се енергетични зони, когато атомите се приближават един към друг и започват да се свързват, образувайки решетка. Тогава съгласно принципа на изключването на Паули, при който два електрона, заемащи едно и също пространство, не могат да имат еднаква енергия и енергетичните им нива от различните атоми се разцепват на области (зони) от дискретни нива, толкова близо разположени по енергия, че могат да се считат за континуум от разрешена енергия.



Фиг. 3 Илюстрация на развитие на зонния модел за N атома Si, формиращи кристална решетка.

Според зонната теория материалите се класифицират на изолатори, полупроводници или метали според ширината на забранената им зона за постигане на термична заселеност на проводимата зона. Така се поставя основата за изследванията, които ще бъдат направени десетилетие по-късно в Bell Labs, превръщайки един полупроводников кристал в транзистор.

На **Фиг. 4** е дадена класификация на най-често използваните полупроводникови елементи и съединения.



Фиг. 4 Класификация на полупроводниковите материали.

4. Приложения на полупроводниците

Терминът „полупроводник“ автоматично се свързва с електрониката, тъй като се използва в производството на транзистори, диоди и интегрални схеми. Нито един компютър не може да функционира без полупроводникови елементи в него.

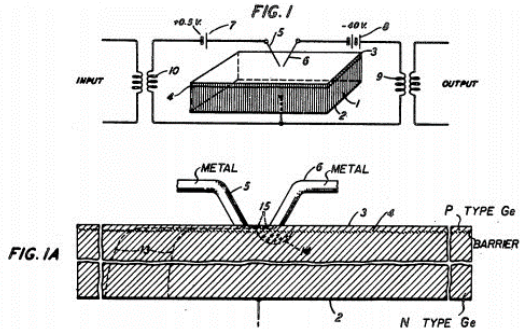
Едно от първите открития, които отварят полупроводниковата ера, е транзисторът. Ето как започва историята на това малко откритие, но с огромно значение за развитието на човешката цивилизация.

През 1945 г. по предложение на Мервин Кели (Mervin Kelly), тогавашният директор на изследователския отдел на Bell Labs, Уилям Шокли започва да търси начини да създаде твърдотелно устройство, на базата на ефекта на полето. Идеята е това устройство да замени нестабилните и ненадеждни лампови превключватели и усилватели, използвани в телефонното оборудване. След първите неуспешни опити, Шокли поставя задачата на Джон Бардийн (*John Bardeen*) и Уолтър Братейн (*Walter Brattain*). В хода на техните изследвания, които отнемат почти две години, те откриват биполярен транзисторен ефект, за който по-късно техният шеф Шокли разработва подробна теория. Така е построен първият работещ точков транзистор на базата на германий (**Фиг. 5а**). За своето изобретение Бардийн и Братейн получават патент. Чертеж на полупроводниковата структура от патента е показан на **Фиг. 5б**.

За своето откритие Джон Бардийн, Уолтър Братейн и Уилям Шокли (**Фиг. 6**) получават Нобелова награда по физика за 1956 г. Формулировката на Нобеловия комитет е, че наградата се дава „за изследванията им върху полупроводниците и откриването на транзисторния ефект“.



Фиг. 5а Първият точков транзистор на базата на Ge.



Фиг. 5б Схема на транзистора от патента на Бардийн и Братейн.

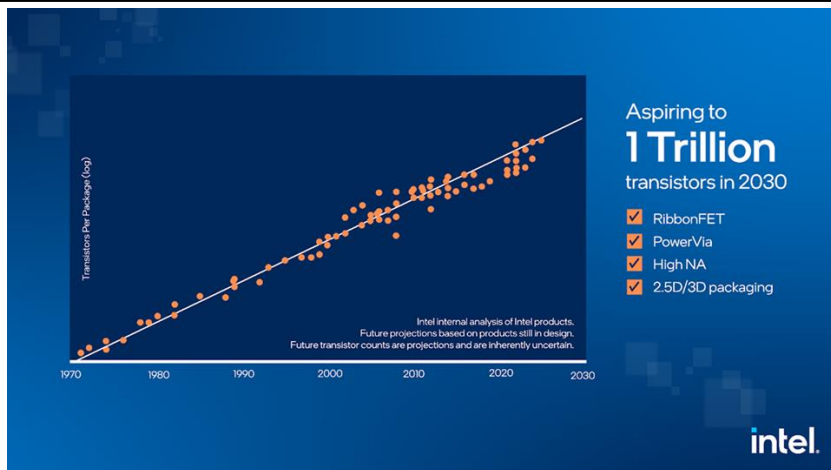
Наградата се споделя от трима физици за пръв път от 1903 г., когато е получена от Анри Бекерел и Пиер и Мария Кюри.



Фиг. 6 Тримата Нобелови лауреати (от ляво на дясно) Джон Бардийн, Уилям Шокли и Уолтър Братейн.

В интерес на историческата истина, следва да се отбележи, че транзисторът, получен в резултат на изследователския проект на Bell Labs, не е първият транзистор в света. Първият патент за елемент, който обаче може да се счита за полевия транзистор, е подаден през 1926 г. от австро-унгарско-американския физик Юлиус Лилиенфелд (*Julius Lilienfeld*). През януари 1930 г. на Лилиенфелд е издаден американски патент „Метод и апарат за управление на електрически токове“. През 1934 г. немският физик д-р Оскар Хайл (*Oskar Heil*) патентова друг полевия транзистор. В патента на Bell Labs е отбелязано, че миналите опити за създаване на устройства за усилване на ток не са били търговски успешни.

С откритието на транзистора започва навлизането на полупроводниковите материали и технологии и се поставя началото на полупроводниковата ера. Развитието следва дефинирания през 1960 г. закон на Мур (*Moore's Law*) за увеличаване на броя елементите на чип (**Фиг. 7**).



Фиг. 7 Закон на Мур увеличаване на броя на елементите на чип.

С изобретяването на микрочиповете през 1958 г. полупроводниковите устройства навлизат във всички области на индустрията и имат съществено влияние във всички сфери на човешката дейност.

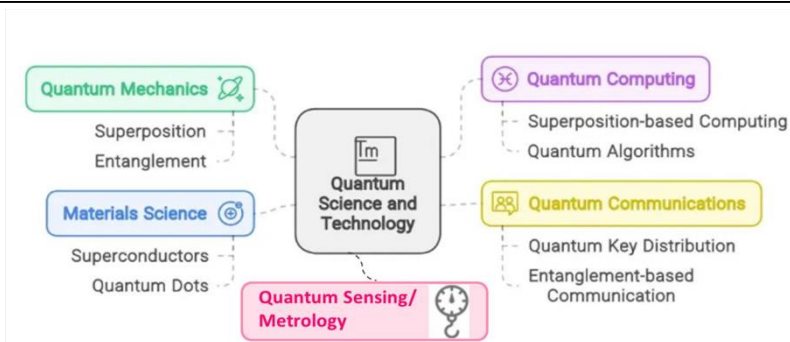
Силицийт заслужено се смята за един от ключовите материали, залегнали в основата на съвременните електронни устройства и компютърни технологии. Съществена е ролята му и в областта на квантовите компютри. Съвсем наскоро в публикация в списание *Communications materials* на Nature беше съобщено пробив в производство на свръхчист силиций, което позволява изграждането на високопроизводителни кубити за мощни квантови компютри, използвайки стандартна силициева технология [5].

Квантовите ефекти играят и ще играят решителна роля при разработването на нови полупроводникови материали – наноразмерни 3D, 1D, 2D структури за постигане на нови свойства и нови функционалности.

Развитието на науката физика на полупроводниците е модел на приложение на една теоретична наука – квантовата механика. В следващото десетилетие съгласно IYQ2025 се предвижда осигуряване на възможности, които да дадат тласък на развитие в различни области, от самата квантова механика до приложения в квантовите изчисления, квантовите комуникации, разработването и приложението на материали с необичайни свойства и на прецизни измервателни техники за специални приложения (Фиг. 8).

5. За Нобеловите лауреати

След напускането си на Bell Labs Уилям Шокли основава фирма Shockley Semiconductor Laboratory в Пало Алто, Калифорния, която така става първата лаборатория от Silicon Valley. След фалита на фирмата Шокли преподава в Stanford University. Още през 1939 г. той публикува обширна статия „The Quantum Physics Of Solids, I. The Energies of Electrons in Crystals“ [7], а по-късно и книга през 1950 г. “Electrons and Holes in Semiconductors”, където отделна глава е посветена на теорията на полупроводниците на базата на квантовомеханичните представи.



Фиг. 8 Възможности и приложения на квантовите науки и технологии.

Джон Бардийн напуска Bell Labs през 1951 и става професор в University of Illinois. Той единствен е лауреат на Нобелова награда по физика два пъти. Втората Нобелова награда получава през 1972 г. заедно с Леон Купър (*Leon Cooper*) и Джон Шрифър (*John Schrieffer*) „за разработена теория на свръхпроводимостта, известна като BCS-теория“. Бардийн е и единственият двоен Нобелов лауреат в една и съща област.

Уолтър Братейн работи в Bell Labs до пенсионирането си, след което заема поста „гост-професор“ в колежа Whitman, който той самият е завършил.

Литература

- [1] W. Heisenberg, *Zeitschrift für Physik*, vol. 33, pp. 879-893 (1925).
- [2] M. Born and P. Jordan, *Zeitschrift für Physik*, vol. 34, pp. 858-888 (1925).
- [3] M. Born, W. Heisenberg and P. Jordan, *Zeitschrift für Physik*, vol. 35, pp. 557-616 (1925).
- [4] J. Von Neumann, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Springer, Berlin (1932).
- [5] E. Wigner, F. Seitz, *Physical Review*, vol. 43, pp. 804-810 (1933).
- [6] <https://www.unimelb.edu.au/newsroom/news/2024/may/new-super-pure-silicon-chip-opens-path-to-powerful-quantum-computers>
- [7] W. Shockley, *Bell System Technical Journal*, vol. 18, pp. 645-723 (1939).

ДОКЛАДИ

Един възможен подход за преподаване на квантова физика

*Силвана Василева
ПГТЕ „Хенри Форд“*

Абстракт: По дефиниция квантовата физика изучава законите, на които се подчиняват микрообектите или с други думи обектите, които принадлежат на т. нар. микросвят. Към момента в X клас, съгласно ДООИ и действащите учебни планове [1, 2], няма раздел „Квантова физика“. Отделни елементи все пак се изучават, но в други раздели. Например: „Квантови свойства на светлината“, „Закон на Стефан“, „Енергия на кванти (фотони)“, „Закон на Вин“, „Излъчване на абсолютно черно тяло“, „Вълна на Дьо Бройл“.

В настоящата работа са посочени допълнително учебно съдържание и задачи, които може да се преподават в средното училище и, които имат връзка с раздел „Квантова физика“. Започваме изучаването на квантова физика с излъчване на АЧТ, поради две съществени причини: 1. т. нар. „ултравиолетова катастрофа“; 2. В много държави и институции АЧТ е пряко свързано със споменатия раздел от физиката [3, 4]. Например е важно да се знае как се охлажда една сграда; от средния курс знаем, че: “Всяко тяло, примерно сграда през зимата, губи енергия поради няколко причини: топлопроводност, конвекция и излъчване. За намаляване на топлинните разходи, по възможност всички загуби трябва да се намалят. Теплопроводността се намалява с подходящи изолационни материали, което от своя страна води до намаляване и на загубите поради конвекция. За намаляване на загубите от излъчване може да се използват покрития с голяма отражателна способност. В работата е коментирано също защо не виждаме зелени звезди.

Общи понятия и хипотеза за квантите

Думите „вълна“ и „частица“ се употребяват както в разговорния език, така и във физиката. Поради това е необходимо да уточним смисъла, който ще вложим в тях при физичните разглеждания.

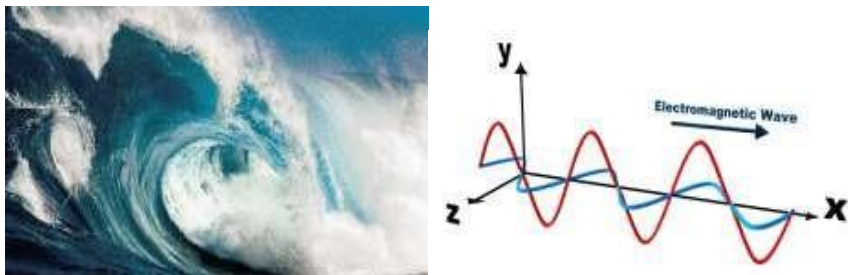
Частички и вълни

Когато говорим за частица, ние подразбираме малко късче от веществото, което във всеки момент заема точно определено положение в пространството и притежава точно определена скорост. Частицата се движи по траектории. Когато две частици се срещнат, те се удрят и се разлитат в различни посоки (Съществуват зависимости от вида удар и импулсите им). За макрочастиците тези свойства са очевидни и даже не се формулират специално. Ние не можем да си представим късче от веществото, което се намира едновременно на няколко места в пространството, или което в един и същ момент притежава няколко различни скорости!

Когато започнем да разделяме на части едно късче от веществото, например едно камъче, ще получаваме все по-малки частици, които имат описаните по-горе свойства. При този процес на делене обаче, скоро ще достигнем до обекти, които са съставени от отделни атоми. Поради това може да ни си стори, че атомите и техните съставни части могат да се разглеждат като „малки топчета“, и че те притежават

всички свойства на обикновените частици. Но това съвсем не е така! Законите, на които те се подчиняват са различни и предстои да ги изучаваме.

Друго, често употребявано, понятие е вълна (**Фиг. 1**). Вълната представлява процес на разпространение на трептене, процес който се простира в цялото пространство или в достатъчно голяма област от него, с течение на времето. В зависимост от това каква е физичната величина, която се изменя при разпространението на трептенията, наблюдаваме вълни с различна природа. На **Фиг. 1** са показани водна и електромагнитни вълни. (Водната не е най-типичния представител.)

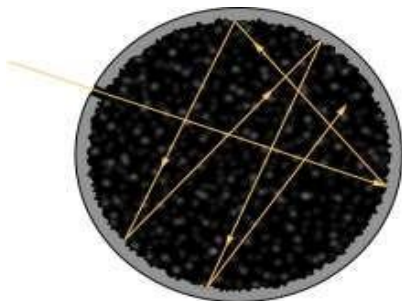


Фиг. 1

Вълните се характеризират с величини като дължина на вълната λ , честота f или ν , (евентуално кръгова честота ω , която не се изучава в училище), период T и скорост на разпространение u . Техните най-характерни свойства са, че могат да заобикалят срещнатите по пътя си прегради (да *дифрактират*), при определени условия и да се наслагват (да *интерферира*т), когато са кохерентни; *Вълната* се разпространява в някаква достатъчно голяма област на пространството.

Излъчване на абсолютно черното тяло

Революционните изменения във физиката, които са настъпили в началото на 20-ти век водят началото си от изучаването на едно явление, което изглежда твърде елементарно. Това е излъчването на т. нар. *абсолютно черно тяло*. *Абсолютно черно* се нарича тялото, което поглъща цялото паднало върху него електромагнитно лъчение. На **Фиг. 2а** и **Фиг. 2б** е показано а – модел на АЧТ, б – нашето Слънце.



Фиг. 2а Модел на АЧТ.



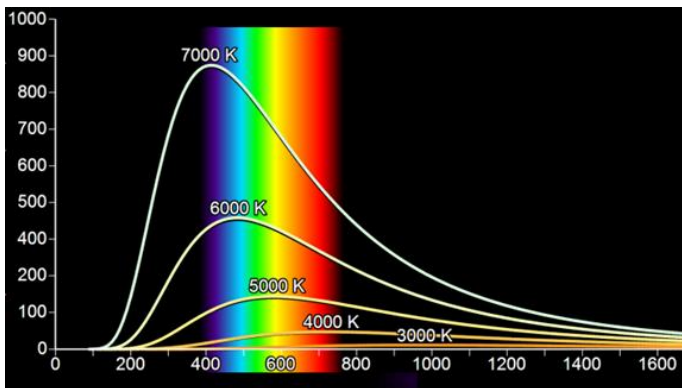
Фиг. 2б Нашето Слънце.

Не бива да се мисли, че *абсолютно черното тяло* (АЧТ) изглежда наистина „черно“. Нашето Слънце може да се разглежда като абсолютно черно тяло – всяко попаднало върху него лъчение се поглъща напълно, без дори една нищожна част да се отрази от неговата повърхност. Слънцето обаче свети, при това извънредно ярко. Няма ли тук някакво противоречие? Противоречие няма. Работата е в това, че абсолютно черното тяло, не само поглъща лъчението, но е способно и да излъчва, като излъчената от него енергия зависи от температурата му. То не отразява!

Интересът към излъчването на АЧТ възниква още в средата на 19-ти век и той се дължи на обстоятелството, че всяко тяло поглъща (макар и само частично) попадналото върху него лъчение. Същевременно това тяло е способно и да излъчва електромагнитна енергия. Оказва се, че отношението на излъчвателната към поглъщателната способност на произволно тяло е равна на излъчвателната способност на АЧТ (Закон на Кирхоф). Това прави изучаването на излъчването на абсолютно черното тяло важно за редица клонове на светотехниката. Опитно излъчването на АЧТ може да се изучи сравнително лесно, тъй като сравнително лесно може да се изработи модел на такова (виж **Фиг. 2а**). С подобни модели свойствата на лъчението на АЧТ са били изучени отдавна.

Няколко интересни въпроса

От известната на всички фигура (**Фиг. 3**), илюстрираща излъчването на АЧТ при различни температури се вижда, че енергията излъчена за единица време достига максимум при някаква определена дължина на светлинната вълна. С увеличаване на температурата на АЧТ този максимум се премества към областта на по-късите светлинни вълни. (Опит за теоретично обяснение на спектъра на излъчване на абсолютно черно тяло прави лорд Рейли). Той прилага електромагнитната теория (според формулите на класическата физика се оказва, че пълната мощност на топлинното излъчване на всяко нагрятото тяло става безкрайна при големи честоти (малки дължини на вълната)). Получените резултати, обаче показват, че според тази теория, с намаляване на дължината на вълната интензитетът на излъчване трябва много силно да нараства. Последното е в противоречие с опитните данни и е получило името „ултравиолетова катастрофа“.)



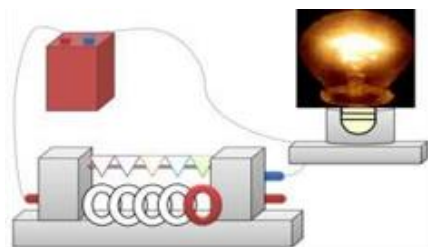
Фиг. 3 Излъчване на АЧТ.

През последната четвърт на 19 век учените започват да се интересуват може ли енергията на светлината да се преобразува в друг вид енергия. Това дава тласък на изследванията в тази област. През 1879 Йозеф Стефан, австрийски учен формулира следния експериментално установен закон за излъчването на абсолютно черно тяло. Този закон гласи: Мощността на излъчване е пропорционална на излъчващата повърхност на тялото и на четвъртата степен на абсолютната му температура:

$$P = \varepsilon \sigma T_{\text{eff}}^4, \quad (1)$$

където σ е константата на Стефан, която има стойност $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$. В зависимост от вида на излъчващата повърхност ε може да заема стойности от 0 до 1.

През 1893 г., германският учен В. Вин установява, че произведението от абсолютната температура на абсолютно черно тяло и дължината на вълната, при която излъчването е максимално, е константа $\lambda_m T = \text{const} \approx 2,897 \cdot 10^{-3}$.



Ако свържем електрическа крушка през реостат, с увеличаване на тока през нея се изменя яркостта, но и цветът, с който тя свети. При по-малък ток, крушката свети червено, при по-силен – жълто.



Възможността на едно тяло да излъчва и съответно да поглъща енергията, пренесена от електромагнитните вълни се наричат *излъчвателна* и *поглъщателна* способност. Тя е различна за различните тела.

Фиг. 4



Фиг. 5

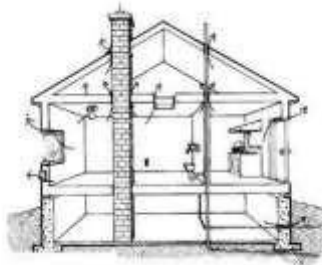
Как се охлажда една къща [5]. Всяко едно тяло, което е поставено в среда с температура, различна от неговата, след известно време изравнява своята температура с тази на околната среда. Да разгледаме една затоплена къща при зимни условия. Вътре гори печката за да бъде топло, но през цялото време къщата отдава топлинна енергия наоколо. Поради какви причини се охлажда къщата? Те са няколко – лъчизпускане, конвекция и топлообмен.



Фиг. 6 Обикновена и инфрачервена снимки на къща.

Лъчеизпускане. Къщата излъчва топлинна енергия като изпуска лъчи, които са невидими за нас – т. нар. инфрачервени лъчи. Ние не ги виждаме, но може да ги усетим – обърнете дланта си към печката – дланта се затопля. Има начини да се определи какво е лъчеизпускането на една къща – с подходящи устройства се правят снимки в инфрачервената област (от времето на първата петролна криза – 1973 г.), които показват кои части излъчват повече.

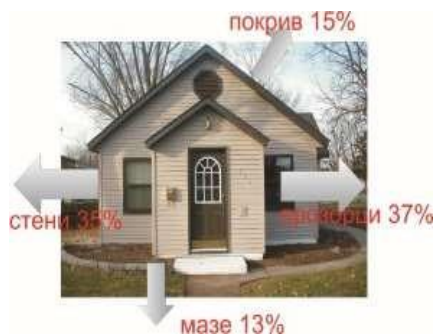
Как да намалим топлинните загуби, дължащи се на лъчеизпускането? Съществуват материали, които отразяват инфрачервените лъчи. Пример за такъв е домакинското алуминиево фолио. То е обработено така, че от едната си страна да отразява повече, отколкото от другата. В строителството се използват подобни фолиа. Съществуват и стъкла, които отразяват част от инфрачервените лъчи, попаднали върху тях.



Фиг. 7

Конвекция. Всяка топла сграда затопля и въздуха около себе си – той се издига, поради по-малката си плътност отива нагоре, а на негово място приижда по-студен. Освен това понякога се отварят прозорци и врати и това допринася за охлаждането поради конвекция. Още неприятности се получават, когато има неуплътнена дограма или фуги. Не може да се откажем от проветряване, но може да уплътним добре къщата.

Топлообмен. Когато допрем едно топло и едно студено тяло, след време те изравняват температурите си – топлото тяло е отдало *количество топлина* на студеното. Същият ефект се наблюдава и тогава, когато поставим топло тяло в течност или във въздух. Загрято метално купче бързо се охлажда, но ако върху стените му поставим тънък слой стиропор, то температурата му ще спадне значително по-бавно. В случая е много важна *топлопроводността* на материалите. При строеж на сгради се използват разнообразни топлоизолиращи покрития.



Фиг. 8 Откъде се охлажда къщата.

Хипотеза за квантите. През 1900 година немският учен Макс Планк, изучавайки законите за топлинното излъчване на телата, подобно на други физици преди него, стига до извода, че тези закони не могат да бъдат обяснени с представите на т. нар. *класическа физика*, която обяснява свойствата на макросвета. За да обясни топлинното излъчване на телата, Планк изказва хипотезата, че *електромагнитното лъчение*, което притежава всички свойства на *вълните*, може да се излъчва само на определени порции, които той нарича *кванти*.

Енергията E , която притежава квантът на електромагнитното лъчение е:

$$E = \hbar\omega = h\nu \quad \omega = 2\pi\nu \quad \hbar = h / 2\pi$$

където \hbar е константа, наречена константа на Планк. Нейната числена стойност е $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$ J.s ($h \approx 6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s).

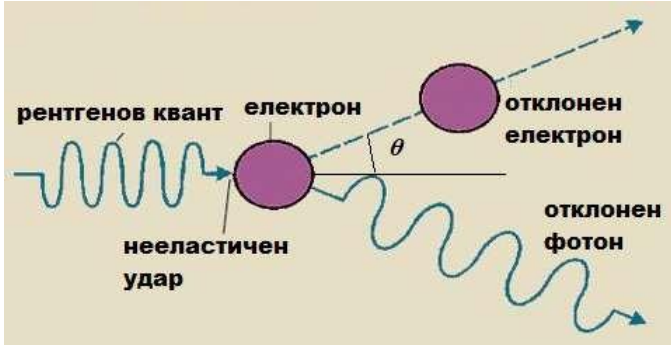
Огромнен брой опити, извършени с микрообектите са показали, че хипотезата на Планк е вярна. Нещо повече, по-късно е установено, че енергията на *всички микрообекти* се изменя с определени *порции* (т. е на „скокове“). Освен това (!!!) *микрообектите в някои случаи приличат на вълни, а в други – на частици*. Законите, на които се подчиняват микрообектите са наречени *квантови закони*, а този дял на физиката, който се занимава с тяхното изучаване е известен като *квантова физика*.

Запомнете: квантовите закони не са съвместими с класическите представи!

Няколко опита. За начало ще разгледаме един от тях – т. нар. *външен фотоефект*. Експерименти, свързани с него са били провеждани от Х. Херц, Халвакс, Ълстер и Хайдел, Столетов и др. Състои се в следното – с ултравиолетова светлина се облъчва повърхността на цинкова пластина, поставена във вакуумирана тръба, при което от повърхността ѝ се отделят електрони.

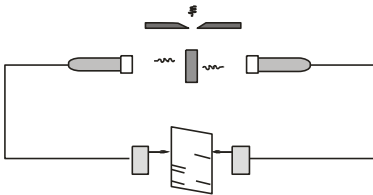
През 1905 г. Алберт Айнщайн предположил (за което и получил нобелова награда през 1921 г.), че квантови свойства са присъщи и на светлината; въобще – светлината се състои от *кванти* (или *фотони*), всеки от които притежава енергия $E = \hbar\omega = h\nu$.

Ефект на Комптън. Макар и да е открит по-късно (1922 г.), този ефект също потвърждава квантовия характер на лъчението.



Фиг. 9

Опит на Боте. За обясняване на излъчването и АЧТ е достатъчно да предположим, че светлината се излъчва във вид на кванти с енергия $\varepsilon = \hbar\omega$. За външния фотоэффект – че светлината също се поглъща на такива порции. Светлината има двойствена природа: тя се излъчва и поглъща като дискретни кванти (фотони), което показва квантовата ѝ природа, а в същото време се разпространява като електромагнитна вълна, което е класическата вълнова характеристика. Тази двойственост е основен аспект на квантовата механика и е описана чрез квантовата теория на светлината. Потвърждение на тази хипотеза дава опитът, проведен от немския физик Валтер Боте. Опитът се състои в следното. Тънко метално фолио е поставено между два гайгерови брояча (такива, които са чувствителни към рентгенови лъчи) и бива облъчвано с рентгеново лъчи. По този начин то самото става източник на такива лъчи (рентгенова флуоресценция). Когато рентгенов квант попадне в някой от броячите, с помощта на специален механизъм с прави отметка върху движеща се лента. При положение, че разпространяващите се рентгенови лъчи представляват вълна, то двата брояча би трябвало да отчитат едновременно и отметките върху лентата да са една срещу друга. Но тези отметки са били разположени по различен начин.



Фиг. 10 Схема на опитната постановка

Вълнови свойства на микрообектите. Теория на дьо Бройл. През 1925 г. дьо Бройл изказва хипотезата, че свойствата, присъщи на фотоните са присъщи на материята като цяло. Според него, на всяка една частица веществото може да припишем вълна (по същият начин, както при фотона). Връзката е: $\lambda = h/mv = h/p$, където λ е дължината на вълната, $p = mv$ – импулсът на частица с маса m и скорост v . Всяка такава частица представлява нещо ново и нещо особено – в едни случаи се проявява

като обикновена макрочастица, а в други – като вълна. Тези частици не могат да въздействат непосредствено на нашите сетива – те не приличат на познатите ни тела. Като казва Р. Файнман „... не приличат на нито едно от нещата, които сме виждали ...“. В крайна сметка – няма как да си създадем ясен образ за процесите и явленията в микросвета. Всичко казано ни дава основание да говорим за *корпускуларно-вълнов дуализъм*.

Веднага възниква въпросът дали въпросната хипотеза (за вълновия характер) може да бъде проверена експериментално. Отговорът е положителен.

Първият отговор е даден отново от Айнщайн – определени състояния на електроните в метал могат да бъдат обяснени по този начин. По-късно (1927 г.) Дейвисон и Джермер изследват *отражението на сноп електронни лъчи от повърхността на никелови кристали* – наблюдават типична дифракционна картина. По-нататък Щерн и сътрудници наблюдават дифракция на молекули от повърхността на кристали.

Засегнатите в настоящия доклад въпроси са много интересни, но няма време и място да засегнем всички. (А не сме говорили още за принципите на Хайзенберг – *Произведението на две канонично спрегнати величини не може да бъде по малко от планковата константа*. Енергията и времето са канонично спрегнати. Затова може да запишем $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$ или още – $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar/2$.)

Ще се спрем на няколко въпроса, които може да бъдат зададени:

1. Може ли един обект да бъде едновременно и вълна и частица?

Отг.: Ако обектът принадлежи към макрокосмоса това не е възможно. Молекулите, атомите и съставящите ги частици се наричат микрочастици. Микрочастиците се отличават от макрочастиците! Те проявяват свойства присъщи и на макрочастиците и на макровълните. Свойствата на микрочастиците се описват от особени закони, наречени квантови закони.

2. Ако искаме да установим, колко енергия ще погълне или ще излъчи едно тяло с температура T за единица време (1 s), когато се намира в среда с температура T_0 , използваме зависимостта: $P - P_0 = \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4)$.

Телата излъчват енергия. Колко енергия ще погълнат за единица време зависи от температурата на околната среда. Законът за поглъщане има същият вид, както закона за излъчване.

Накрая – на учениците може да се предложи да потърсят в Интернет и да напишат доклади на теми, свързани с биографии на учени или с уреди, работещи на принципите на АЧТ и квантовата физика [3, 4, 7].

Литература

[1] <https://www.mon.bg/>, посетен на 15.02.2025

[2] <https://teacher.bg/>, посетен на 15.02.2025

[3] How Quantum Technology is used in Everyday Life-Caltech Science Exchange.html, посетен на 15.05.2025 г.

[4] <https://magazine.caltech.edu/post/quantum-physics-toaster>, посетен на 15.05.2025г

[5] Стефан Манев et al *Задачи и упражнения по природните науки*, Просвета, София

[6] <https://www.leifiphysik.de>, посетен на 15.05.2025 г.

[7] <https://www.wikipedia.org/>

Квантови компютри и технологии чрез класически експерименти в обучението по физика в 11 клас

Даниела Иванова

Математическа гимназия „Баба Тонка“ - Русе

Абстракт: В статия от 1982 г. Ричард Файнман разглежда въпроса за компютрите, които би трябвало да използваме, за да симулираме физичните закони. Според него природата не е класическа и ако искаме да създадем нейна симулация, то най-добре е тя да е квантово механична. През последните стотина години квантовата механика не спира да предизвиква човешкото въображение, откривайки все по-странни и загадъчни страни на реалността. Основни идеи на квантовата механика като двойствената природа на светлината и частиците се разглеждат в задължителната програма за 10 клас, в профилираната подготовка в 12 клас се задълбочават тези знания, дава се и квантовомеханична представа за атома, принципа за неопределеност и вълновата функция. Това е основа за формиране на квантова научна грамотност на учениците, противодействие на псевдонаучната информация и дезинформация. Квантовата физика в средното училище има многогодишни традиции, докато квантовите компютри все още не са част от учебните програми. Така навлизането на квантовите технологии в ежедневието ни, тяхното все по-голямо значение за науката и обществото е предизвикателство за обучението по физика. В настоящия доклад се разглежда приложение на някои класически физични експерименти и тяхната връзка с квантовите изчисления. Експериментът с двата процепи се разглежда във връзка с принципа на суперпозицията, и вероятността на квантовите състояния и състоянието на квантов кубит. Експерименти с поляризирана светлина се използват за представяне на квантови състояния, дават възможност и за разбиране на същността на квантовото криптиране. Определяне на интензитета на различни ъгли демонстрира как вероятността се променя вследствие на „измерване“. Експерименти с жирокоп показват аналогия между класически и квантов спин, дават идея за решаващата роля на намаляване на грешките при квантовите компютри.

Ключови думи: квантови компютри. квантова физика, класически физични експерименти

1. Въведение

Константата на Планк има стойност $h \approx 14,4 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ Така от няколко години четиринадесети април се чества в целия свят като световен квантов ден чрез мотото „Бъдещето е квантово“. Квантовата механика е навлязла практически отдавна в нашето ежедневие чрез квантовата оптика и лазерите. Но в последните година все повече се говори за идеите, законите и разликата им с нашия ежедневен опит, все повече се превръща от странна теория, понятна за малцина физици в интересна тема за разговор за неспециалисти. За това принос имат учени, които са и популяризатори на науката като Мъри Гел-Ман [10] или Джим Ал Халили [9]. За

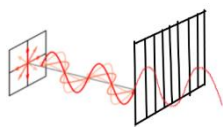
сжаление в популярността на идеите на квантовата механика често се намесва псевдонауката. В резултат ролята на училището за изграждане на научна култура и природонаучна грамотност е изключително важна. Навлизането на квантовите технологии в ежедневието ни, тяхното все по-голямо значение за науката и обществото е предизвикателство за обучението по физика в средното училище. Квантовата физика в средното училище има многогодишни традиции, докато квантовите компютри и технологии все още не са част от учебните програми. В рамките на десет годишната програма EU Quantum Technologies Flagship (2018 – 2028 г.) много европейски университети предлагат програми и разработват модули за средните училища. Води се дискусия дали квантовите технологии да бъдат използвани за въвеждане на идеите на квантовата механика или да се върви по класическия път - квантовата механика да се разглежда в последните класове и запознаването с квантовите технологии да следва след часовете по физика [6, 7]. При всички случаи това са интегрирани знания и трябва да са свързани и с часовете по информатика и ИТ. В този доклад се споделя опит от приложение на някои от идеите, предложени в различни модули за въвеждане на квантова информатика в средното училище от университетите във Уотърлу, Канада и Павиа, Италия [1, 3, 6].

2. Преосмисляне на класическите понятия и преминаване към квантово мислене

2.1. Поляризация на светлината

През 1981 г. на конференция в МТИ за проблемите при проектирането на все по-мощни и ефективни методи за работа с компютри Ричард Файнман изнася лекция за възможността да се симулират физични процеси с компютри [8]. В тази лекция се разглежда поляризация на фотони като система с две състояния при преминаване на фотони през калцит. Идеята, че светлина с дадена честота и вълнов вектор има две независими поляризационни състояния се разглежда още през 30-те години от Пол Дирак. През 1984 Чарлз Бенет и други използват поляризационните състояния на фотоните за кодиране на двоична квантова информация [5].

Някои класически експерименти могат да бъдат използвани като мост между лабораторната работа и квантовата информатика, имат приложение и в намирането на квантова версия на класическите понятия и процеси. В модул 2 от профилираната подготовка в 11 клас са предвидени семинарни занятия за изучаване на поляризация на светлината. В часовете за разширен подготовка в 11 и 12 клас се предоставя повече свобода за разглеждане на тези явления. Навлизането в темата може да бъде направено чрез демонстрация на поляризация на механични вълни (Фиг. 1). При трептене на въже се разпространява напречна вълна, която при преминаване през решетка (поляризатор – Фиг. 1б) става линейно поляризирана (Фиг. 1а).



а)

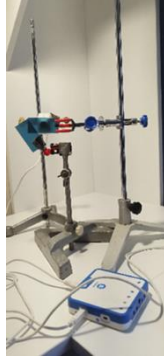


б)

Фиг. 1 Поляризация на механични вълни. а) линейно поляризирана механична вълна; б) поляризатор на механични вълни.

При преминаване на светлина през поляризиращи пластинки се изяснява вълновата природа на светлината, чрез система от поляризиращи пластинки се определя експериментално отношението на интензитета на падащата към преминалата светлина като се променя ъгълът между двете пластинки (**Фиг. 2**). Експериментално се изследва законът на Малюс:

$$\frac{I}{I_0} = \cos^2 \theta .$$



Фиг. 2 Експериментална установка за изследване на закона на Малюс.

Сензор за осветеност измерва интензитета на падащата светлина I_0 и на преминалата светлина – I . Ъгъл θ е ъгълът между двете пластинки.

Тази зависимост е в съгласие с вълновата природа на светлината. Светлината, чиито вектор на интензитета трепти в посока на поляризатора – преминава.

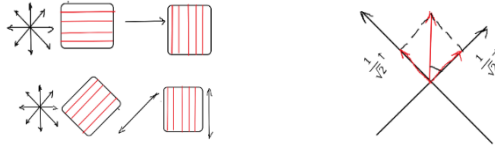
В речта и статията от 1982 г. Р. Файнман [8] разглежда възможността да се симулират квантови явления чрез класическите компютри. При разглеждане на квантовата природа на светлината върху поляризатора пада поток от фотони и законът на Малюс е в сила. Ако върху поляризатора попада единичен фотон: $P_1 = \cos^2 \theta$, а вероятността за преминаване на фотона е $P_2 = 1 - \cos^2 \theta = \sin^2 \theta$ вероятността за поглъщане.

Двата взаимноперпендикулярни поляризатора са пример за взаимно изключващи се състояния. Могат да бъдат дадени и други примери за такива - ези или тура на монета, празна или пълна бутилка, включена или изключена лампа. Двата поляризатора се разглеждат като база за измерване, поставени по различен начин (**Фиг. 3**).



Фиг. 3 Бази за измерване: а) хоризонтално-вертикална база (V – H); б) база под ъгъл 45° ($(+45^\circ) - (-45^\circ)$).

Поляризацията на светлината във всяка посока може да се опише чрез разлагане по компоненти (**Фиг. 4**).



Фиг. 4 Представяне на преминалия фотон като суперпозиция от две състояния.

Така, че можем да представим фотонът, поляризиран, например на $+45^\circ$ по следния начин:

$$\nearrow = 1/\sqrt{2} \rightarrow 1/\sqrt{2} \uparrow$$

Вероятността $+45^\circ$ поляризиран фотон да премине през вертикален поляризатор е 50 %. Фотон, поляризиран на $+45^\circ$ може да се разглежда като суперпозиция от хоризонтално и вертикално ориентиран фотон (суперпозиция от две състояния). Така плавно може да се направи преход към идеята, че състоянието на квантовите обекти е суперпозиция от множество състояния в едно (например състоянието на електрона в атома). Преминаването през поляризатора се разглежда като аналог на измерването на една величина [3]. Фотон, поляризиран на $+45^\circ$ след като бъде „измерен“, тоест премине през вертикален поляризатор, става вертикално поляризиран. Така може да бъде въведена една от най- трудните за разбиране идеи в квантовата механика - актът на наблюдение води до колапс на състоянието, все едно фотонът си избира в кое състояние да застане. Наблюдението разрушава неопределеността и обектът има точно определено състояние. Ако включваме и изключваме крушка, намираща се в различна стая от ключа - има две възможни позиции на ключа [11]. Поглеждането в стаята еднозначно определя състоянието на крушката. Интересният резултат е когато не наблюдаваме крушката. Ако това е квантова крушка, има две ясни позиции – включено и изключено. Във всяка друга позиция може да е включена или изключена, когато проверим. Различната позиция върху сферата на ключа определя различна вероятност за всяко от двете състояния (**Фиг. 5а**). Квантовото състояние на един кубит се визуализира по подобен начин чрез сферата на Блох (**Фиг. 5б**). Състоянието на квантов обект е комбинация от различни възможни състояния с определена вероятност.

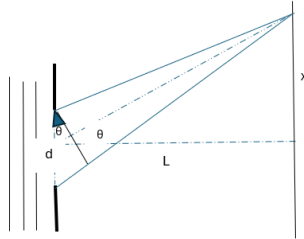


Фиг. 5 Квантов ключ и сфера на Блох: а) квантов ключ за управление; б) сфера на Блох, визуализираща квантов бит информация.

2. 2. Суперпозиция на вълни

Класическите експерименти по дифракция на светлината – дифрак-

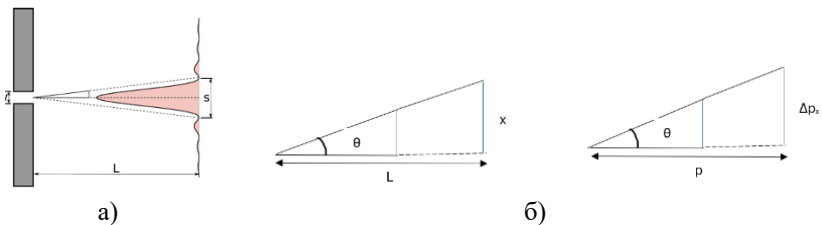
ция от процепа или тънка нишка могат да се използват за илюстриране на понятието суперпозиция и в квантовата информатика. От експеримента за определяне на дебелината на косъм или ширина на процеп (**Фиг. 6**) може да се премине към осмисляне на принципа за неопределеност.



Фиг. 6 Схема на опитната установка за изследване ширината на процеп.

От условието за дифракционен максимум $d \sin \theta = k\lambda$ при $L \ll d$ е използвава приближението $\sin \theta \approx \text{tg} \theta = \frac{x}{L}$ и се получава ширината на процепа $d = \frac{kL\lambda}{X}$. Тази стойност се определя експериментално.

От 10 клас учениците знаят как се въвежда дължина на вълната на дьо Бройл $p = \frac{h}{\lambda}$, както и някои идеи за квантовото поведение на частиците. Червените фотони имат по-голяма дължина на вълната, следователно, по-малък импулс от сините. При преминаване през тесен процеп се променя вида на дифракционната картина. При определена ширина на процепа, преминаването на лазерен сноп определя позицията на фотоните точно. Какво определя ширината на централния максимум (**Фиг. 7**)? Какво може да се каже за импулса на фотоните след преминаване през процепа?



Фиг. 7 Преминаване на светлина през тесен процеп.

а) при по-тесен процеп централният максимум е по-широк; б) разширението на снопа се причинява от X-компонента на импулса.

От подобие на триъгълници на **Фиг. 7б** се определя $\Delta p_x = \frac{xp}{L}$. Ширината

на процепа d определя неопределеността в позицията на фотоните [12]. За различни дължини на вълната и различни по ширина процепи се сравнява произведението $d\Delta p_x$.

$d\Delta p_x \geq 2h$, което изразява принципа за неопределеност.

3. Заключение

Класическите експерименти, свързани с поляризация и дифракция на светлината са подходящи за задълбочаване на знанията, свързани с понятия от квантовата механика. Класическите експерименти спомагат за преход между понятията на класическата и квантовата информатика. Този тип занятия позволяват интердисциплинарни уроци, свързани с информатика и математика и осмислено преминаване от класическо към квантово мислене. Учениците могат лесно да преминат от класическото към квантовото описание като резултат от тяхното собствено изследване. Чрез изследователски задачи, свързани с поляризация и дифракция на светлината с помощта на дифракционни решетки и филтри, учениците получават интуитивна представа за природата на суперпозицията на квантовите състояния и измерването им. Абстрактните квантови понятия се превръщат в наблюдаеми явления, класическите аналогии не само обогатяват разбирането на понятията, но също стимулират ангажираността на учениците. Подобни аналогии позволяват да се преодолее пропастта между класическата интуиция и квантовата реалност.

Литература

- [1] <https://uwaterloo.ca/institute-for-quantum-computing/> (2025).
- [2] <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-024-00287-1> (2025).
- [3] <https://uwaterloo.ca/institute-for-quantum-computing/sites/default/files/uploads/files/01-2gr-activity-answers.pdf> (2025).
- [4] A. Perry et al, Quantum Computing as a High School Module, arXiv:1905.00282v1 [physics.ed-ph] (2019).
- [5] Charles H. Bennett, Quantum cryptography: public key distribution and coin tossing, International Conference on Computers, Systems & Signal Processing Bangalore, India (1984). <https://arxiv.org/pdf/2003.06557> (2025).
- [6] G. Zuccarini et al. Teaching quantum information science to secondary school students with photon polarization and which-path encoding, EPJ Quantum Technology, (2024).
- [7] P. Angara et al. Teaching Quantum Computing to High-School-Aged Youth: A Hands-on Approach, Digital Object Identifier (2022).
- [8] R. Feynman, Simulating Physics with Computers, International Journal of Theoretical Physics, vol. 21, No. 6/7, pp. 467-488 (1982).
- [9] Джим Ал-Халили, Пътеводител в квантовия свят, Дамян Яков (2019).
- [10] Мъри Гел-Ман, Кваркът и ягуара, Прометей – И.Л. (2006).
- [11] Роберт Сагор, Танец с кубити, Питер (2022).
- [12] <https://uwaterloo.ca/institute-for-quantum-computing/sites/default/files/uploads/files/05-uncertainty-activity-answers.pdf>

Флаш карти с мнемонични техники и елементи на ейдетика в обучението по физика и астрономия

Росица Манолова-Иванова¹, Християна Петрова²

¹СПГИ по икономика „Д-р Петър Аладжов“, гр. Велико Търново

²ОУ „Св. Патриарх Евтимий“, гр. Велико Търново

Абстракт: Използването на съвременни техники цели да улесни и обогати преподаването, като се постигнат трайни знания и умения. Флаш картите са техника, при която чрез визуален стимул се постига ефектът на „светкавицата“ т. е. ментално запомняне на важна информация. Настоящият доклад представя комплект от флаш карти, при които иновативният педагогически елемент е тяхното разработване чрез мнемонични техники и елементи на ейдетика, като пример са представени карти, свързани със светлинните явления, изучавани в 7. и 10. клас по предмета „Физика и астрономия“ и визуализират ключови понятия, които трябва да се усвоят. Комплектът е използван във вид на физически картонени карти, съдържащи цветни илюстрации, кратки дефиниции, формули, асоциативни образи, мерена реч и визуални аналогии, които подпомагат разбирането и дългосрочното запаметяване на учебното съдържание.

1. Въведение

В съвременното образование необходимостта от иновативни и ефективни методи на обучение става все по-осезаема [1]. Това е особено валидно за природните науки, където абстрактният характер на някои понятия, изисква не само запаметяване, но и задълбочено концептуално разбиране.

Обучението по предмета „Физика и астрономия“ затруднява учениците, когато се изучават трудни за визуализация явления. Примери могат да се дадат от оптиката, и в частност понятията от светлинните явления на разпространение, отражение, пречупване, интерференция и дифракция на светлината, нейната двойствена природа или идеята за пространствено-времеви континуум. За тяхното разбиране се изискват не само теоретични знания, но и развито пространствено мислене, поради което често се възприемат като абстрактни и далечни от реалността, като бързо се забравят след преминаването към следващите теми. Тези наблюдения върху затрудненията на учениците и необходимостта от по-ангажиращ подход ни мотивираха да разработим комплект от флаш карти.

За повишаване на мотивацията и разбирането в такива ситуации все по-широко приложение намират активните методи на обучение, като експерименти, симулации, проекти и други, между които и флаш карти.

В настоящата разработка се представя комплект от флаш карти в помощ на усвояването на основни понятия и явления, свързани със светлината. Иновативният елемент при създаването им е включването на мнемонични техники и елементи на ейдетика. Важен акцент в разработването на комплекта е активното участие на учениците, което повишава мотивацията за учене чрез изявяване на талантите им.

2. Флаш карти – мнемонични техники и ейдетика

Флаш картите са доказано ефективен метод за обучение в широк кръг учебни дисциплини – от чужди езици до биология и математика [2]. Те ангажират учениците на няколко равнища: визуално, логическо и емоционално ниво, насърчават активното участие в учебния процес, улесняват запаметяването и подпомагат разбирането.

Човешкият мозък обработва визуалната информация много по-бързо и ефективно от текстовата. Учени от Масачузетския технологичен институт установяват, че мозъкът може да разпознае и обработи визуални образи само за 13 милисекунди [3]. Когато комбинираме визуални елементи с мнемонични техники, може да се създаде мощен инструмент за учене, който подпомага както запомнянето, така и извличането на знания.

Историята на мнемониката или изкуството да запомняш чрез образи, асоциации и пространствени връзки датира от древногръцката епоха, като често се приписва на Симонид от Кеос [4], който забелязал, че може да си спомни точното местоположение на хора по време на пиршество. В по-новото време, около 1911 г. немският психолог Е. Р. Йенш [5] започва да изследва феномена на ейдетичната памет или способността да се „виждат в ума“ ясни и трайни образи, дори след като вече не ги наблюдаваме.

Думата „мнемоника“ произлиза от името на древногръцката богиня на паметта *Мнемозина*. Мнемониката представлява техника за запаметяване чрез изкуствени асоциации. Според теорията за асоциативността, ако се създаде комбинация от два елемента и се представят едновременно, те ще бъдат възприети заедно. При всяка следваща среща само на единия елемент неминуемо възниква образа и на другия.

Мнемониката използва асоциации, акроними, абривиатури, рими, стихове, истории, метафори, аналогии и образи, които служат за подобряване на паметта чрез създаване на връзки между нова информация и вече познати знания. Във физиката, мнемоничните техники могат да се използват за запаметяване на ключови понятия и явления.

В нашите карти последователността на цветовете в дъгата - червено, оранжево, жълто, зелено, синьо, индиго, виолетово - се представя чрез изречение създаващо абривиатура, като всяка дума започва с буквата на цвета: „Човек Обича Жълто, Защото Създава Истинско Вълнение“. Пречупването и забавянето на светлината при преминаване към оптично по-плътна среда е илюстрирано чрез аналогията за намаляването на скоростта на човек, който преминава от движение по асфалт върху пясък. Дисперсията на светлината е обяснена с римувано изречение: „Нютон с призма си играе, а светлината вътре дъгата чертае“, което подчертава разлагането на бялата светлина на съставните ѝ цветове при преминаване през призма.

Чрез мнемоника се ангажира логическото и образно мислене, което се явява ключов фактор за по-добро усвояване на материала.

Ейдетика също произлиза от гръцки, но от думата „eidōs“ - „образ“ и е свързана с ейдетичната или фотографската памет. Въпреки че малко хора притежават истинска „фотографска памет“, принципите ѝ могат да бъдат използвани от всеки ученик за подобряване способността за визуализация.

В обобщение, ейдетиката е онази игрова техника, която развива въображението и образната памет. Тя подпомага концентрацията и подобрява паметта чрез

ярки визуални образи, символи и асоциации. Ейдетичните елементи работят не само върху паметта, но и върху въображението, като насърчават създаването на вътрешни „снимки“ на процеси, явления и закономерности.

Съчетанието от ейдетика и мнемоника при разработването на флаш карти чрез подходящи визуални, асоциативни връзки, цветова палитра, илюстрации, текстове в стихотворна форма и други значително повишават ефективността на ученето и го правят по-ангажиращо и трайно. Превръщат трудните и абстрактни понятия и явления в достъпна и обвързана с реалния опит на учениците информация. Активното участие на учениците при разработването на картите е друг изключително важен елемент от обучението. За да приложат мнемонични техники и ейдетика, учениците неусетно усвояват с разбиране нужния учебен материал.

3. Комплект флаш карти за светлинни явления

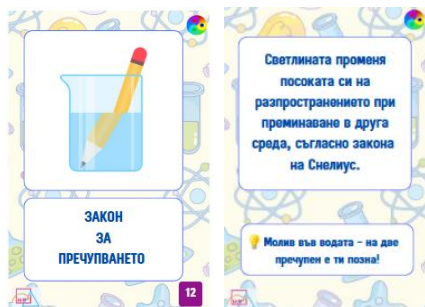
Създаденият от нас комплект включва два вида карти тип „понятие-определение“ и „въпрос – отговор“ и обхващат област на компетентност „Светлина“ в 7. клас и 10. клас, като са адаптирани спрямо възрастовите особености и съдържанието на учебните програми на МОН. С цел да направим ученето по-достъпно и ефективно, флаш картите за 10. клас използват картите от 7. клас, като се надграждат началните или вече усвоени знания.

3.1. Флаш карти тип „понятие – определение“

Картите от тип „понятие-определение“ включват основни физични понятия, кратки и ясни дефиниции, подходящо изображение (ейдетичен елемент) и мнемонична техника, които подпомагат визуалната и асоциативната памет чрез комбинация от текст и образ.

На **Фиг. 1** са показани примерни карти за 7. клас, подходящи за темата „Пречупване на светлината“, като дизайнът и съдържанието на картите е авторска разработка. На едната страна на флаш картата е записано „Закон за пречупване на светлината“. Даден е образът на молив, потопен в чаша с вода (за развиване на фотографска памет, което е елемент от ейдетиката). Фигурата и надписът стават двойка елементи, като се очаква при поява на един от двата елемента, ще възникне асоциация с другия. От другата страна е записано „Светлината променя посоката си на разпространението при преминаване в друга среда, съгласно закона на Снелиус“ и за подпомагане на запомнянето е добавен надписът „Молив във вода - на две пречупен е ти позна!“.

Законът за пречупване на светлината в картите за 10. клас е представен отново с карта, на която едната страна съдържа текста „Закон на Снелиус“. Дадено е изображение с лика на Вилеброрд Снелиус. В горния ъгъл е показан лъч, при преминаване през две среди (въздух-вода). На обратната страна е записан кратък текст „Описва връзката между ъглите на падане и пречупване спрямо показателите на пречупване на двете среди“. Пречупването на светлината е показано чрез закона на Снелиус $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$, под който стои кратка мнемоника „Снелиус закон знае – пътят на светлината правилно чертае!“.



Фиг. 1 Примерна флеш-карта за 7. клас за пречупване на светлината.

3. 2. Флеш карти тип „въпрос – отговор“

Карти тип „въпрос – отговор“ съдържат качествени и количествени въпроси, които са подкрепени с визуални подсказки (изображения), а отговорите са кратки и ясни. Картите имат скрито кодиране, което помага на учителя за бърза проверка. Този вид карти са подходящи за ролеви игри, такива като „Свържи двойките“.

На Фиг. 2 са показани примерни карти за отражение на светлината. Фиг. 2а, б представят въпрос за отражение на светлината. Към въпроса са добавени подходящи изображения за създаване на асоциация между въпроса и образ (използване на фотографска памет). Картата отговор за 7. клас, Фиг. 2в съдържа текста „Ъгълът на падане на светлината е равен на ъгъла на отражение“, а картата отговор за 10. Клас – „Ъгълът на падане и отражение на светлината са равни, като светлинните лъчи и нормалата към повърхността лежат в една равнина.“



Фиг. 2 Карти тип „въпрос-отговор“: въпрос (а, б); отговор (в).

4. Приложение на флеш картите

Флеш картите намират приложение както за работа в клас, така и при самоподготовка. Те могат да се използват при:

- **При въвеждане на нови понятия.** Учителят използва картите „понятие – определение“ в началото на темата, за да въведе нови понятия чрез визуални и мнемонични елементи. Ученикът наблюдава, коментира и прави асоциации. Пример: Учителят показва карта „Закон за отражението“ и обяснява с помощта на изображение и мнемоника „Ъгъл паднал, ъгъл станал - винаги равни остават!“;

○ **По време на урока.** Учителят използва картите „въпрос – отговор“ за проверка на разбирането в реално време. *Пример:* Учителят включва бързи мини-викторини, например игра „Горещ стол“ – ученик отговаря на въпроси от изтеглени карти или игра „Мълчалива дискусия“ – всеки попълва своя отговор на въпроса от карта, след което се сравняват отговорите;

○ **За обобщение.** Учителят раздава карти с въпроси за обобщение в края на урока или раздела. Ученик подрежда картите по логика, отговаря на въпросите или свързва въпроси с отговори. *Пример:* Игра „Свържи двойките“ – ученикът намира съответстващата карта-отговор на изтеглен въпрос или „карта-схема“ – подрежда картите по етапите на явление;

○ **В екипна работа.** Учителят организира групови дейности с карти, в които учениците се състезават или учат чрез сътрудничество. Учениците работят по двойки или в малки екипи. *Примери:* Учениците работят по двама, един задава въпроси, а другият отговаря; „Отборна игра“ – кой ще подреди повече правилни двойки за 5 минути; или „Кръгова ротация“ – ученици преминават между станции с различни карти;

○ **За самоподготовка.** Учителят предоставя картите за самостоятелна употреба у дома или в клас. Ученикът използва картите по няколко начина: тества се сам с карти „въпрос – отговор“; преговаря от карти „понятие – определение“, тегли 5 въпроса, отговаря самостоятелно, а ако не знае – свързва с карта-отговор; подготвя се за контролна работа, като тренира с приятел или прави състезание със себе си – за колко време ще отговори на определен брой въпроси без грешка;

○ **Създаване на собствени флаш карти.** Учителят насърчава учениците сами да създават флаш карти по зададено понятие или въпрос. Ученикът избира тема, съставя въпрос и отговор, добавя изображение или мнемоника. *Примери:* Проект „Моята карта“ – всеки изработва една карта и представя пред класа, домашна работа – комплект от 5 карти по избрана подтема, ученик създава карта за неясно понятие, за да го обясни на съученици.

5. Технология за изработване на флаш картите

Флаш картите създадохме с помощта на CANVA [6] – безплатен онлайн инструмент за графичен дизайн, който предоставя лесен и интуитивен начин за създаване на визуално атрактивни и професионално изглеждащи образователни материали. Canva не изисква специализирани познания по графичен дизайн, което го прави подходящ за учители и ученици, които желаят да създават учебни ресурси с минимални усилия.

Работата с платформата ни даде възможност да координираме съвместната си работа, позволи ни в реално време да обменяме идеи, да създаваме шаблони, да променяме съдържанието с лекота и да оптимизираме дизайна на картите.

Създадохме собствени шаблони, използвайки готови изображения и графики от обширната библиотека на платформата. Всеки шаблон адаптирахме спрямо нуждите на конкретните учебни теми и класове, като се фокусирахме върху визуализирането по начин, който да направи ученето по-лесно и интересно. Картите могат лесно да бъдат актуализирани, като се добавят нови понятия, въпроси и примери, да се променя дизайна, шрифтовете и т. н.

Canva предлага възможности за съхранение и споделяне на проектите, което е особено полезно за групови проекти и сътрудничество между ученици и учители.

6. Предимства и недостатъци на флаш картите

- Помагат за по-лесно запомняне – чрез кратките дефиниции и визуални подсказки;
- Лесни за създаване и адаптиране – може да се направят бързо и да се използват по различни теми и нива.
- Правят ученето по-интересно – учениците участват активно и се забавляват;
- Подходящи са по всяко време на урока – могат да се използват в началото, по време или в края на урока.
- Може да са трудни за някои ученици – особено за тези, които имат затруднения с разпознаването или разбирането на изображения, ако визуалната част не е достатъчно ясна;
- Отнемат време за създаване – за да са полезни, трябва внимателно да се подберат съдържанието и картинките;
- Необходим е учител, който да насочва – без помощ от учителя, учениците може да не ги използват ефективно.

7. Заключение

Предлаганият педагогически ресурс от флаш карти, съчетани с мнемонични и ейдетични техники, се явява ефективен начин за ангажиране и мотивиране на учениците. Той не само стимулира процеса на учене, но и развива креативността, критичното мислене и работата в екип.

Флаш картите, приложени към обучението по физика и астрономия, предоставят възможности за по-добро разбиране и запаметяване. Те насърчават активно участие в учебния процес и могат лесно да бъдат адаптирани към различни нива и потребности на учениците. Методът притежава потенциал да бъде прилаган и в други раздели от физиката – като механика, електродинамика или астрономия – както и в различни образователни контексти, включително междупредметни връзки.

Ако искаме по-интересно, достъпно и смислено обучение, нека използваме креативни комбинации от визуализация, игра и наука – така учебният процес се превръща не само в предаване на знания, а в истинско приключение.

Литература

- [1] Sawyer, R. K. (Ed.) (2014). *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- [2] <https://s.shopeee.com/CdsK>
- [3] Potter, M. C., Wyble, B., Hagmann, C. E., McCourt, E. S. (2014). Detecting meaning in RSVP at 13 ms per picture. *Atten Percept Psychophys*, 76 (2), pp. 270-279.
- [4] <https://s.shopeee.com/3Qrs>
- [5] Стела Академия <https://stellaacademy.bg/kakvo-e-eydetika/>
- [6] <https://www.canva.com>

Интердисциплинарен урок на тема „Квантови ефекти във фотосинтезата, миграцията на птиците и ДНК мутациите“

Милена Славкова

Природо-математическа гимназия „Акад. Сергей Корольов“, гр. Благоевград
ЮЗУ „Неофит Рилски“, гр. Благоевград
e-mail: mslavkova75@gmail.com

Абстракт: Настоящият доклад представя идея за провеждане на интердисциплинарен урок на тема „Квантови ефекти във фотосинтезата, миграцията на птиците и ДНК мутациите“. Урокът е организиран в интерактивен формат с предварително изготвен сценарий, включващ демонстрации, експерименти и дискусии. Основната цел е учениците да се запознаят с някои от най-забележителните квантови феномени в биологията и да разберат как квантовата физика намира пряко приложение в природата. Докладът съдържа анализ на резултатите от проведения урок, като се подчертават ползите от интердисциплинарния подход, който повишава интереса към науката и показва, че квантовата физика може да бъде представена по интересен и достъпен начин. Нейното приложение в биологията е перспективна тема за бъдещи учебни занятия.

1. Увод

Във връзка с отбелязването на 100 години от създаването на квантовата механика възникна естествена необходимост от намиране на съвременни и интерактивни методи за въвеждането ѝ в училищното образование. В тази връзка, съвместно с преподавателят по биология Любомира Петкашева и с ученици от 10 клас в ПМГ „Акад. Сергей Корольов“, Благоевград проведохме интердисциплинарен урок, обединяващ квантовата физика с биологията. Темата на урока беше: „Квантови ефекти във фотосинтезата, миграцията на птиците и ДНК мутациите“.

2. Цел на урока

Да се представи приложението на квантовата физика в реални биологични процеси;

Да се подчертае ролята на квантовата наука във физическия свят около нас;

Да се повиши интересът на учениците към изучаването на физика чрез междупредметни връзки;

Да се развият умения за екипна работа, презентационни и експериментални умения;

Да се използват дигитални технологии и визуализации за по-лесно възприемане на научната информация.

3. Методическа структура

Тип на урока: интердисциплинарен урок, организиран и проведен чрез метода на проектите.

Клас: 10. клас

Продължителност: 60 минути

Форма на организация: работа в екип

Методи:

Проектно-базирано обучение (Project-Based Learning)

Изследователски метод

Демонстрационен метод

Визуализации и моделиране

Средства и материали:

Презентации, компютър, стереоскопичен лаптоп

Природни материали: спанак, спирт, вода

Компас, игла, стиропор, демонстрационни уреди

Междупредметни връзки:

Физика: квантова механика, явления като квантово тунелиране, суперпозиция, заплитане

Биология: клетъчни процеси, миграция на животни, генетика, фотосинтеза

Информационни технологии: използване на VR визуализации и презентации.

4. Очаквани резултати

Учениците разпознават и описват квантови явления в реални биологични процеси;

Изграждат връзки между абстрактни физични понятия и реални приложения;

Развиват презентационни, изследователски и дигитални умения;

Повишават мотивацията си за учене чрез практическо приложение на знанията;

Осъзнават, че квантовата физика не е толкова трудна, когато е представена чрез конкретни и достъпни примери от реалността;

Развиват критично мислене и работа в екип.

Прилагането на интегративният подход дава възможност на учители по различни предмети да планират и преподават заедно, повишава сътрудничеството между тях, засилва се връзката между знанията получени в живота и в училище [1].

5. Етапи на проекта

Фаза на планиране:

1. Определяне на целите и задачите на проекта. Поставени са три теми за изследване:

Как квантовите ефекти помагат на птиците да се ориентират по време на миграция?

Как квантово-механичното тунелиране може да доведе до ДНК мутации?

Как квантовата механика прави фотосинтезата изключително ефективна?

2. Избор на методи за изследване и събиране на данни.

Данните са събрани предимно от интернет източници [2].

3. Разпределение на ролите и задачите сред членовете на екипа. Разделяне на учениците на три групи – всяка с фокус върху една от трите теми.

Следва фаза на изследване, анализ, разработка на препоръки и представяне.

6. Представяне

Урокът започна с кратко въведение, след което водещите поставиха три въпроса, целящи да предизвикат любопитството на учениците:

1. Как птиците намират пътя си при миграции без GPS?
2. Възможно ли е мутациите в ДНК да се случват поради квантови ефекти?
3. Как растенията постигат висока ефективност при улавяне на светлина?

Учениците са разделени на три групи – всяка с фокус върху една от трите теми.

Първа група: Миграцията на птиците и квантово заплитане



Фиг. 1



Фиг. 2

След кратък разказ за миграцията на птиците, учениците зададоха въпрос за дискусия, който предизвика силен интерес: „Знаете ли как се ориентират животните без да използват компас?“.

След кратко дискутиране по въпроса и изказване на различни предположения, учениците представиха хипотезата за квантовия компас: използване на квантово заплитане в ретината на птиците (криптохроми). Смята се, че благодарение на криптохромите в очите на някои видове птици, те са способни да усещат магнитното поле на Земята. Това усещане се основава на квантовите състояния на електрони, които реагират на ориентацията спрямо магнитното поле.

За да се онагледят влиянието на магнитните полета върху ориентацията, беше направена следната демонстрация:

- Необходими материали: Купа с вода, магнит (неодимов), малко парче стиропор, игла.
- Описание: Намагнитваме иглата, като я потрим в магнит. Пробиваме с нея малко парче стиропор и ги поставяме в купа с вода – иглата се завърта така, че се подравнява с магнитното поле на Земята. За сравнение можем да поставим и компас до купичката, като се вижда, че иглата и стрелката на компаса показват едни и същи посоки.

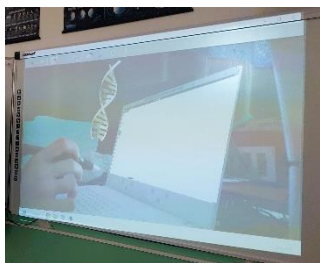


Фиг. 3 Опит с компас от намагнитена игла във вода.

Втора група: ДНК мутациите и квантов тунелен ефект

Какво представлява ДНК? Веригата на ДНК молекулата е изградена от четири нуклеотида (А, С, G и Т). Двойките бази в ДНК (А-Т и G-С) се държат чрез водородни връзки, в които участват протони. Според учените, протоните се възползват от т. нар. квантовият тунелен ефект позволява на протони в ДНК да преминават през енергийни бариери, което води до спонтанни смени на базови двойки. Такива редки събития могат да предизвикат генни мутации.

За визуализация на молекулата на ДНК, учениците използваха стереоскопичен лаптоп на zSpace [3], който комбинира виртуална и добавена реалност в обучението. Лаптопът проектира стерео 3D образ с холограмен ефект без необходимост от 3D очила и осигурява интуитивно взаимодействие и завладяващо усещане в процеса на работа. С помощта на е-писалка учениците „извадиха“ от екрана ДНК молекулата и я разгледаха отблизо (Фиг. 4 и Фиг. 5).



Фиг. 4



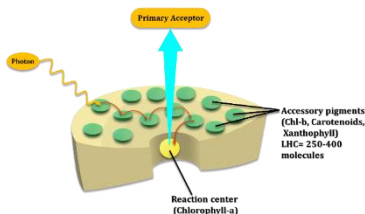
Фиг. 5

За онагледяване на квантовият тунелен ефект, учениците показаха компютърна симулация и направиха демонстрация, като използваха модел с наклонен улей с преграда и малко топче:

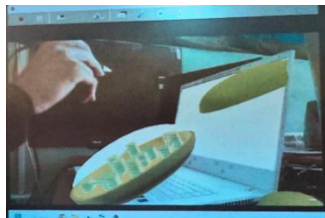
- Необходими материали: Малко топче, наклонен улей с преграда.
- Описание: Пуска се топчето по улея, но то не преминава през преградата. Обяснява се, че на квантово ниво, частиците могат „да тунелират“ през потенциални бариери, което води до мутации в ДНК.

Трета група: Фотосинтеза и квантова суперпозиция

Учениците припомниха на присъстващите какво е фотосинтеза, как се осъществява преносът на енергия (Фиг. 6) и каква е ролята на хлоропластите. Отново с помощта на стереоскопичният лаптоп разгледаха хлоропластите „отблизо“ (Фиг. 7).



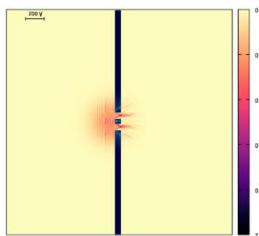
Фиг. 6 Пренос на енергия при фотосинтезата.



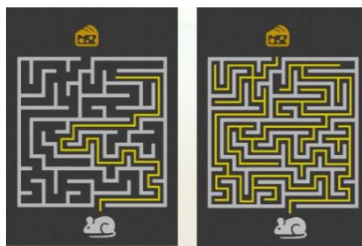
Фиг. 7 Визуализация на хлоропласт с VR.

Водещите зададоха въпрос за дискусия: „Защо растенията са толкова ефективни в улавянето на светлина? Не се ли губи енергията при преноса ѝ до реакционния център?“ Оказва се, че най-достоверно изглежда обяснението за квантовата суперпозиция (една елементарна частица може да заема всичките си теоретично възможни състояния наведнъж). Предполага се, че електронът преминава *едновременно* по всички допустими пътища и винаги успява да стигне по най-краткия от тях до реакционния център.

За онагледяване на квантовата суперпозиция учениците използваха компютърни симулации, с помощта на които обясниха експериментът с двойния процес [4] (Фиг. 8) и как работят квантовите компютри (Фиг. 9).



Фиг. 8 Експеримент с двойният процес.



Фиг. 9 а) Обикновен компютър и б) квантов компютър.

В симулацията на Фиг. 9 мишката символизира търсенето на решение, а сиренцето е целта (например отговор на задача). Обикновеният компютър търси пътя поетапно и преминава през всички възможности една по една, подобно на мишката, която се лута из лабиринта (Фиг. 9а). Квантовият компютър обаче изпробва всички пътища едновременно, като вижда целия лабиринт и намира решението много по-бързо и ефективно (Фиг. 9б).

Последната демонстрация беше с цел да се обясни, че когато хлорофилът

не участва във фотосинтетичните процеси, се губи енергия:

- Необходими материали: листа от спанак (рукола, магданоз и др.), спирт, UV фенерче, прозрачен съд.
- Описание: Хлорофилът е извлечен, като сме накиснали накъсани зелени листа в спирт и сме ги оставили за няколко часа на тъмно.



Фиг. 10

По време на демонстрацията осветяваме развора с UV фенерче и наблюдаваме червена флуоресценция (**Фиг. 10**). Обяснява се, че хлорофилът поглъща UV светлина (с по-висока енергия), електроните в неговите молекули преминават в по-високо енергетично ниво, но вместо да използват енергията както става във фотосинтезата, те губят част от нея като топлина например и излъчват фотони с по-ниска енергия (червена флуоресценция). За сравнение може да се освети само спирт или само зелени листа, за да се покаже, че ефектът присъства само при извлечен хлорофил.

7. Изводи

Урокът постигна висока степен на ангажираност от страна на учениците. Включването на квантовата физика в реални и познати биологични процеси повиши интереса и нивото на разбиране. Използването на дигитални технологии като VR подпомогна възприемането на абстрактни идеи.

Такъв подход демонстрира как квантовата физика може успешно да присъства в училищното образование не като изолирана и трудна за разбиране теория, а като жива наука с реално приложение в света около нас.

8. Предложения

Подобни междупредметни уроци да бъдат включени в учебната практика чрез „Занимания по интереси“ или избираеми учебни часове.

Да се изготвят учебни ресурси с интердисциплинарна насоченост.

Да се насърчава сътрудничество между учители по различни дисциплини за съвместни уроци, като по този начин учителите дават и личен пример на своите ученици как чрез синхронна работа в екип се постига ефективно изпълнение на задачата.

9. Заключение

Квантовата физика е не само наука на бъдещето, но и на настоящето. Чрез интегриран подход можем да я направим достъпна и вдъхновяваща за учениците още в училище. Урокът, който представихме, показва, че това е напълно възможно,

когато има сътрудничество, креативност и отвореност към новите хоризонти на науката.

10. Литература:

- [1] Ж. Райкова, Интегративният подход в обучението по физика и някои съвременни методи на обучение и оценяване, свързани с него, *СФБ*, XLVII Национална конференция по въпросите на обучението по физика (2019).
- [2] <https://daligoznam.bg/2021/12/08/%D0%BA%D0%B2%D0%B0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F/>
- [3] <https://zspace.com>
- [4] https://www.reddit.com/r/Physics/comments/m85xt9/double_slit_electron_interference_simulation

Аналогии и модели – един метод за преподаване на квантова физика в средното училище

Иван П. Бодуров¹, Спаска Й. Николова², Таня Г. Хрискова²

¹Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“,

ул. „Цар Асен“ № 24, 4000 Пловдив, България

*²Професионална гимназия по електротехника и електроника – Пловдив,
бул. „Пещерско шосе“ № 26, 4002 Пловдив, България*

Абстракт: Преподаването на квантова физика в училищна среда представлява значително предизвикателство, но същевременно и ценна възможност за развитие на научното мислене у младите ученици. Квантовата механика, с нейните неинтуитивни концепции като суперпозиция, вълново-корпускулярен дуализъм и сплетени състояния, изисква иновативни подходи за преподаване. Докладът разглежда ключовите аспекти на преподаването на квантова физика в училище, като акцентира върху необходимостта от използване на аналогии, визуални материали и практически демонстрации.

Основната цел е да се превърнат абстрактните квантови явления в разбираеми и интересни за учениците. Използването на аналогии от ежедневиия опит, като сравнение на суперпозицията с монета, която е едновременно „ези“ и „тура“, или на квантовото сплитане с две ръкавици, помага на учениците да визуализират и осмислят сложните концепции. Визуализациите и интерактивните симулации допълнително подпомагат разбирането, като представят квантовите явления в динамичен и достъпен формат.

Фокусът върху практическите приложения на квантовата физика, като лазери, транзистори и квантови компютри, мотивира учениците и им показва реалното значение на тази наука. Прости експерименти и демонстрации, като дифракция на светлина или фотоелектричен ефект, осигуряват директен контакт с квантовите явления, като по този начин затвърждават теоретичните знания.

Успешното преподаване на квантова физика в училище изисква комбинация от творчески подходи, визуални материали и практически демонстрации. Целта е да се развие любопитството и научното мислене у учениците, като им се предостави възможност да разберат и оценят фундаменталните принципи на квантовата механика.

1. Въведение

Преподаването на абстрактни концепции в атомната, ядрената физика и квантовата механика представлява сериозно предизвикателство, тъй като тези явления често се случват в мащаби и при условия, коренно различни от ежедневиия опит. Атомите и техните съставни части са невидими, ядрените процеси протичат в недрата на материята, а квантовите явления често противоречат на класическата интуиция. В този контекст, аналозиите играят важна педагогическа роля, като свързват абстрактни научни идеи със съществуващите знания и интуицията на учениците [1]. Аналозиите помагат да се направи непознатото познато, като се съот-

несат нови концепции към по-прости и разбираеми такива. Например, невъзможността да си представим структурата на атома поради неговия микроскопичен размер може да бъде преодоляна чрез сравнение със слънчевата система, предоставяйки отправна точка за разбиране [2].

Целта на този доклад е да изследва често използвани аналогии в тези области на физиката, да анализира техните предимства при опростяване на сложни концепции и да обсъди техните ограничения и потенциал за създаване на погрешни схващания. Докладът се фокусира върху това доколко точно всяка аналогия представя съответната физична концепция и как може да помогне или попречи на разбирането на учениците. Ефективността на една аналогия зависи не само от приликите ѝ с целевата концепция, но и от степента, в която учашите са запознати със самата аналогия. Ако учениците не разбират добре аналогията, това може да добави още един слой сложност, вместо да опрости концепцията.

2. Модели и аналогии при преподаването на атомна и ядрена физика и квантова механика

Аналогия на радиоактивния разпад като пуканки

Тази аналогия сравнява пукането на царевични зърна с разпада на радиоактивни атоми. Непуканите зърна представляват нестабилни ядра, а пукнатите зърна – стабилни дъщерни ядра. Аналогията ефективно илюстрира случайността на радиоактивния разпад и може да демонстрира концепцията за полуразпад. Тя предоставя по-безопасна и ангажираща алтернатива на използването на реални радиоактивни материали в класната стая и може да се използва за практически дейности, където учениците събират данни и чертаят криви на разпада. Аналогията също така илюстрира необратимостта на разпада [2-3].

Недостатъци и потенциални погрешни схващания: Скоростта на пукане на пуканките не е наистина постоянна, за разлика от вероятността за радиоактивен разпад. Пуканките обикновено се пукат наведнъж, докато радиоактивният разпад е постепенен, експоненциален процес. Пукането на пуканки се задвижва от външен фактор (топлина), докато радиоактивният разпад е резултат от вътрешната нестабилност на ядрото. Аналогията може да доведе до погрешно разбиране на полуразпада като продължителност на живота на отделен атом, а не като статистическо свойство на голяма проба. Кривата на разпада на пуканките може да наподобява повече нормално разпределение, отколкото експоненциална крива на разпад. Въпреки че аналогията с пуканките е ефективна за въвеждане на концепциите за случайност и полуразпад, преподавателите трябва изрично да адресират разликите в основните механизми и точната математическа природа на процеса на разпад, за да се избегнат прекалено опростяване и потенциални погрешни схващания.

Ядрени реакции: Аналогия с домино ефект

Тази аналогия сравнява верижна ядрена реакция с редица падащи домино блокчета, където едно падащо домино събаря следващото, иницирайки верига. Аналогията визуално демонстрира концепцията за верижна реакция и може да илюстрира идеята за умножаване на неутроните при ядрено делене. Използването на линейка за спиране на домино моделира функцията на контролните пръти в ядрен реактор. Аналогията предоставя прост и достъпен начин за разбиране на сложен процес без необходимост от подробни познания по ядрена физика [2-3].

Усилването на енергията при ядрени реакции не е пряко представено в аналогията. Аналогията може да опрости прекалено много условията, необходими за верижна реакция. Ядрените сили са фундаментално различни от механичните сили, участващи в падането на доминото. Въпреки че домино ефектът е добра отправна точка за разбиране на основната идея за верижна реакция и контролни механизми, преподавателите трябва да подчертаят значителните разлики в мащаба на освободената енергия, природата на участващите сили и специфичните условия, необходими за протичане на ядрени реакции.

Спектрални линии и енергийни преходи

В квантовия модел на атома, енергийните преходи между различни нива водят до излъчване на светлина с определени честоти, които могат да бъдат представени като музикални ноти. Музикалната нота има точно определена позиция в петолинието подобно на атомния преход от определеното ниво [4-5].

Атомен модел на Бор

Разрешените и забранените нива в атомния модел на Бор могат да бъдат асоциирани с изкачване на стълба с фиксирани стъпала със скок или движението на асансьор, който може да спира само на етажите, но не и между тях.

Преходите на електроните биха могли да се асоциират с промяна на потенциалната енергия, а привличането на електроните от ядрото с гравитационната сила. Важно е тук да се отбележат ясно разликите в природата на силите.

Принцип за неопределеност и сплетени състояния

Принципът на Хайзенберг за неопределеността е един от крайъгълните камъни на квантовата механика, който гласи, че не е възможно да се знае едновременно с висока точност както позицията, така и импулса на една частица. За да се обясни това по-лесно, често се използва аналогията с фотографията [2].

Представете си, че искате да направите много ясна снимка на бързо движеща се кола. Ако използвате много бърза скорост на затвора (кратко време на експозиция) ще „замразите“ движението на колата и ще получите много точна представа за нейната позиция в определен момент. Тъй като времето на експозиция е много кратко, обаче, ще имате по-малко светлина, уловена от обектива. Това може да направи снимката по-тъмна и да затрудни прецизното определяне на скоростта и посоката (импулса) на колата. Може да изглежда, че колата е спряла, без да е ясно колко бързо се е движела. Ако използвате много бавна скорост на затвора (дълго време на експозиция) ще уловите повече светлина и ще можете по-добре да проследите пътя на колата, получавайки по-добра представа за нейната скорост и посока (импулс). Снимката ще покаже размазана следа, която показва посоката и приблизителната скорост. Тъй като колата се движи по време на дългата експозиция, снимката ще бъде размазана и ще бъде изключително трудно да се определи точната позиция на колата в който и да е момент.

Сплетените квантови състояния са едно от най-странните и интригуващи явления в квантовата механика, което Алберт Айнщайн нарича „призрачно действие на разстояние“. За да го обясним, често използваме аналогии с обекти от ежедневието, като монети или ръкавици.

Аналогията с чифт ръкавици е добра, защото подчертава идеята за „свързване“. Имаме един чифт ръкавици – една лява и една дясна. Те са неразделна

двойка. Слагаме всяка ръкавица в отделна, непрозрачна кутия. На случаен принцип изпращаме едната кутия с ракета, която лети към Луната, а ние оставаме на Земята с другата. Ако отворим кутията, която е при нас, и установим, че вътре е дясната ръкавица – автоматично знаем, че на Луната е лявата без необходимост от наблюдение или проверка.

Използване на 3D модели и технологии

3D принтирането и 3D технологиите предлагат изключителни възможности за подобряване на обучението по атомна и ядрена физика, както и по квантова механика за ученици, правейки абстрактните концепции по-конкретни, визуални и интерактивни.

Учениците могат да принтират физически модели на атоми с различни брой протони, неутрони и електрони (орбитали). Това ще им помогне да разберат по-добре концепции като изотопи, йони, химични връзки и молекулярна геометрия. Например, могат да се принтират модели на молекули като вода (H_2O), метан (CH_4), дори по-сложни органични молекули. 3D принтирането позволява създаването на модели на кристални решетки, което помага за разбирането на структурата на твърдите тела и връзката между тях и свойствата на материалите.

Макар и по-сложно, могат да се принтират визуални представяния на атомни орбитали (s, p, d, f) и да се покаже пространственото разпределение на електронната плътност. Това прави абстрактните математически функции по-осезаеми.

Учениците могат да проектират и принтират части за опростени експериментални установки, свързани с физиката, като например елементи за спектрометър (както е споменато в източниците) или други демонстрационни модели.

3. Критичен преглед на точността и педагогическото въздействие на често срещани аналогии

Аналогиите и моделите са незаменими инструменти в преподаването на комплексни и абстрактни концепции като тези в атомната и ядрената физика. Тяхната сила се крие в способността им да правят невидимото видимо и непознатото – разбираемо, като свързват нови знания с вече съществуващи ментални схеми. Въпреки това, използването им изисква внимателен подход, тъй като те могат да бъдат както изключително полезни, така и подвеждащи.

Един от най-големите рискове при използването на аналогии е тяхната ограничена точност. По дефиниция, аналогиите са сравнения между две различни неща, които споделят някои, но не всички характеристики. В контекста на атомната и ядрената физика, където явленията се управляват от квантовата механика – свят, който е интуитивно чужд на ежедневието ни – дори най-добрите аналогии неизбежно ще се разпаднат в определен момент.

В **Таблица 1** ясно е показано, че въпреки че аналогията могат да бъдат ценни за първоначално разбиране, всички те имат ограничения и изискват внимателно обяснение, за да се предотвратят погрешни схващания. Нивото на точност варира значително между аналогиите, като аналогиите за квантова механика често са най-трудни поради неklasическата природа на концепциите [5-6].

Таблица 1.

Аналогия	Физична концепция	Основни предимства	Недостатъци / Потенциални погрешни схващания
Планетарен модел	Структура на атома	Първоначална визуализация, познатост	Неточни електронни орбити, сили, вълнова природа
Стълба	Енергийни нива на електроните	Квантуване на енергийните нива	Не показва пространственото разпределение на електроните, капацитет на нивата
Пуканки	Радиоактивен разпад	Случайност, полуразпад, безопасна демонстрация	Непостоянна скорост на пуканке, рязко срещу постепенно разпадане, външна срещу вътрешна причина, погрешно разбиране на полуразпада
Домино ефект	Верижна реакция	Верижна реакция, умножаване на неутрони, контролни пръти	Усилване на енергия, прекалено опростени условия, различни сили, геополитически конотации, опростена причинност
Въртяща се монета	Суперпозиция	Множество аспекти, влияние на измерването	Не представя случайността на резултата
Ръкавици	Заплитане	Концепцията е изключително проста и не изисква предварителни познания по физика.	Не обяснява суперпозицията

За да се смекчат тези проблеми с точността, е критично важно учителят да изрично посочва ограниченията на всяка аналогия или модел. Учениците трябва да бъдат насърчавани да разглеждат моделите като „работни инструменти“, които

ни помагат да разсъждаваме за реалността, а не като буквални представяния на тази реалност. Тяхната ефективност обаче зависи изцяло от начина, по който се използват. При внимателно планиране, ясно обозначаване на ограниченията и активно насърчаване на критично мислене, те могат значително да подобрят разбирането и да мотивират учениците да изследват този вълнуващ и предизвикателен дял от физиката [4-6].

4. Заключение

Аналогиите са ценни инструменти за правене на абстрактните физични концепции по-достъпни и ангажиращи за учениците. От съществено значение е преподавателите да са наясно с ограниченията на всяка аналогия и активно да адресират потенциални погрешни схващания. В заключение, внимателното и критично използване на аналогии, в комбинация с формално обучение, може значително да подобри разбирането на учениците и да насърчи по-дълбоко оценяване на основните принципи на физиката. Ключът е аналогиите да се използват като стъпала, а не като крайна цел в процеса на обучение.

Литература

- [1] S. M. Glyn, *Teaching Science with Analogies: A Strategy for Teachers and Textbook Authors*. Reading Research Report, No. 15 (1991).
- [2] J. K. Gilbert, C. J. Boulter, *Developing Models in Science Education*. Springer (2000).
- [3] J. K. Gilbert, The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introduction. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, Vol. 11, Issue 1, pp. 1-19 (2010).
- [4] D. E. Meltzer, Relation between students' problem-solving performance and representational format. *American Journal of Physics*, Vol. 73, Issue 5, pp. 463-478 (2005).
- [5] С. Е. Каменецкий, Н. А. Солодухин, *Модели и аналогии в курсе физике средней школе*, Просвещение, Москва (1982).
- [6] L. Walters, Sign Facilitation in Word Recognition, *Journal of Special Education*, Vol. 35, Issue 1, pp. 29-50 (2001).

Образованието по квантови технологии – стратегически приоритет за бъдещето. Как да изградим устойчива образователна екосистема, която да подготви учениците и студентите за квантовата ера?

*Марияна Филипова
УниБИТ, STEALM Academy*

Абстракт: Квантовите технологии вече не са въпрос на далечно бъдеще – те се развиват тук и сега, преобразявайки образованието, комуникациите, киберсигурността, медицината, финансите, енергетиката. Светът е в надпревара да подготви следващото поколение учени и инженери, които ще изградят квантовата икономика на XXI век. Европа, САЩ и Азия инвестират милиарди в образование и иновации – но къде е България в тази глобална карта?

До 2040 г. квантовата индустрия се очаква да генерира над 450 милиарда долара. Вече наблюдаваме пробиви като квантовите комуникационни мрежи на Китай, инвестициите на Германия в квантови компютри и стратегиите на САЩ, обединяващи правителство, индустрия и наука. Европа отговаря с Quantum Flagship и EuroQCI, насочвайки милиарди евро в създаване на образователни програми и инфраструктура.

Представени са успешни образователни модели от съседни и други европейски държави и се разглежда нуждата и потенциалът за успешно включване на България в иновативната европейска карта на науката. България вече е част от политиката за изграждане на потенциала на квантовите технологии на европейско ниво и има действителния потенциал да бъде активен участник в това начинание – но това изисква стратегия, действие и визия. България има потенциала да заеме важна роля в тази индустрия – но за това е нужна осъзната и целенасочена стратегия в инвестицията в човешки потенциал и канализирана политика с приоритетни области. Тези стъпки ще предотвратят риска да останем наблюдатели в най-голямата научна и технологична революция на нашето време.

1. Увод

Квантовите технологии са основа на нова научна и индустриална парадигма. Те използват квантова суперпозиция и квантово заплитане, посредством които създават бъдеще от ново технологично поколение с потенциал, далеч надвишаващ този на класическите компютри. Приложенията им обхващат богата палитра от области от симулации в химията, през иновативни решения за справяне с глобалното затопляне, до свръхсигурна комуникация [1].

Докато някои държави вече интегрират квантовите технологии в икономическата и образователната си политика, България тепърва е необходимо да изгради своето място. Този доклад представя актуалното състояние на квантовото технологично обучение в страната и предлага стратегически път към бъдещето.

Квантовите технологии представляват една от най-съществените трансфор-

мации на съвременната наука и технологичното развитие след появата на интернет. Докато класическите технологии разчитат на бинарни единици от тип „0“ и „1“, квантовите устройства използват кубити, които благодарение на принципите на суперпозиция и вълните могат да съществуват в множество състояния едновременно. Тези свойства отварят нови хоризонти за изчислителна мощност, която е експоненциално по-висока от тази на класическите компютри [1]. Квантовите алгоритми имат потенциал да решават проблеми, които дори най-мощните класически суперкомпютри не могат да обработят в обозримо време – включително оптимизационни задачи, симулации на молекули и криптографски анализи [2].

Технологиите от този тип намират приложение в изследванията на нови лекарства, устойчиви материали, квантова комуникация и моделиране на климатични процеси. Стратегическото им значение води до глобална надпревара, в която водещи икономики като САЩ, Китай и държави от ЕС инвестират системно чрез научни програми, индустриални клъстери и образователни инициативи. САЩ стартираха още през 2018 г. националната програма NQIA, докато Китай финансира изграждането на квантов мегалабораториум в Хефей на стойност 10 млрд. USD [4].

В този глобален контекст България има отлична възможност, но паралелно с това и отговорност, за да се позиционира стратегически. Въпреки ограничените ресурси, страната разполага с възможности за развитие на академичен потенциал, налична е частично изградена инфраструктура и съществува интерес от страна на млади учени. Целта на настоящото изследване е да представи реалистичен анализ на състоянието на квантовото технологично обучение в България, в контекста на световните тенденции, и да предложи стратегически насоки за изграждане на устойчива образователна екосистема, която да осигури подготовка на следващото поколение квантови технологични специалисти.

2. Методология на изследването

Настоящото изследване използва качествена интерпретативна методология, комбинираща елементи от сравнителен анализ, политическа оценка и стратегическо планиране. Основната цел на този методологичен подход е да представи реалистична и научно издържана картина на текущото състояние на квантовото образование в България в контекста на европейските и глобални политики.

Методологията на изследването включва документален анализ на официални стратегии, публикувани от Европейската комисия, национални правителства (САЩ, Китай, Германия), както и ключови доклади от организации като OECD и UNESCO [1–3]. Извлечени са индикатори като: брой квантови образователни програми, публични инвестиции, иновационна инфраструктура и академични мрежи. Също така съчетава и сравнителен анализ на образователни модели, прилагани в държави с доказани успехи – Германия, Нидерландия, Финландия и Канада. За всяка държава са изследвани: институционалната структура, участието на индустрията, програмите за обучение на учители и подходите към ранно въвеждане на квантова грамотност в училищата. Българският контекст е съпоставен чрез пилотни инициативи като STEALM Academy Quantum School, QBulgaria и дейности в рамките на QTEdu и Erasmus+. Третият компонент е наблюдение и участие в практико-приложни дейности, включително: организирани уъркшопи, хакатони, семинари и образователни демонстрации с ученици и студенти (между 2023–2025 г.) като наблюдението е структурирано чрез протоколи, анкетни карти и обратна

възрка, анализирана по тематични оси: мотивация, разбиране на квантови концепции, приложимост. За валидиране на получените резултати е приложен триангулационен подход, при който резултатите от документалния и сравнителния анализ и наблюдението се съпоставят за цел потвърждаване на хипотези и изводи. Така се гарантира надеждност и обективност при формулиране на образователни политики и препоръки. Приложената методология осигурява висока степен на научна обоснованост, контекстуална приложимост и ориентация към практическо въздействие. Тя отразява интердисциплинарния характер на квантовото технологично образование, свързвайки теорията с политиката и практиката.

3. Глобален контекст и индустриални лидери

САЩ, Китай и ЕС са водещи сили в квантовата надпревара. САЩ работят предимно посредством национални инициативи като National Quantum Initiative Act [2], ангажирайки академичната общност и индустрията – Google, IBM и Microsoft разработват реални квантови процесори. Китай инвестира в квантова комуникация - през 2016 г. стартира спътникът Micius, който успешно тества квантова телепортация [3]. ЕС ги следва в научно-технологичен аспект, отговаряйки на предизвикателството чрез Quantum Flagship – дългогодишна и високобюджетна програма, насочена към изследвания и образование [4]. Глобалните очаквания са пазарът за квантови технологии да надхвърли 450 млрд. долара до 2040 г. [5].

4. Европа и българското участие

България официално се присъединява към Quantum Flagship през 2020 г., което ѝ позволява да участва в стратегически инициативи за развитие на квантовите технологии в Европа. В рамките на EuroQCI, страната изгражда две квантови комуникационни трасета – национално и трансгранично, свързващо България с Гърция. Европейската квантова комуникационна инфраструктура (EuroQCI) е част от по-широката стратегия на ЕС за дигитална сигурност и цели да защити чувствителни данни и критични инфраструктури, включително правителствени институции, болници и енергийни мрежи. България активно участва в разработването и тестването на квантови криптографски технологии, които гарантират високо ниво на сигурност. Центърът за компетентност КВАЗАР ръководи националния план за квантова комуникация. Обединява академични институции, индустриални партньори и държавни структури. Българската национална квантова комуникационна инфраструктура BQCI изгражда първите квантово защитени комуникационни връзки и мрежи в страната [4].

Развитието на квантовите технологии в Европа се основава на стратегически инвестиции в образование, научни изследвания и индустриални партньорства. Водещи държави като Германия, Франция и Нидерландия прилагат различни подходи за интеграция на квантовите науки в академичната среда. България също прави значителни стъпки в тази насока, като развива университетски програми, квантова комуникационна инфраструктура и специализирани образователни инициативи. Германия е сред лидерите в квантовите технологии, като Fraunhofer Institute играе ключова роля в развитието на магистърски програми и квантови хъбове. Институтът работи върху квантови компютри, квантова криптография и квантови сензори, като осигурява практическо обучение и индустриални партньорства. Франция прилага национална квантова стратегия, която включва кван-

тови STEM модули в училищата. Програмата QuanTEdu-France цели да развие човешкия потенциал и уменията в квантовите технологии, като интегрира квантови концепции в образователните програми [6]. Нидерландия е известна със своите партньорства между академията и индустрията. QuTech Delft работи върху разработването на квантови компютри и квантов интернет, като обединява учени, инженери и индустриални партньори в съвместни проекти [7]. Софийският университет „Св. Климент Охридски“ в България предлага бакалавърска програма по Квантова и космическа теоретична физика, магистърски програми по Квантова информатика и Квантова електроника и лазерна техника, както и докторски програми в направлението. УниБИТ предлага освен докторските програми в областта на квантовите компютри и технологии, но и курс по квантова киберсигурност, който разглежда квантовата криптография, квантовите комуникации и защитата на данни в квантовата ера. Центърът за компетентност КВАЗАР е фокусиран върху квантова комуникация, интелигентни системи за сигурност и управление на риска. STEALM Academy Quantum School е първата по рода си образователна програма за ученици както в България, така и в света, която включва иновативни курсове в рамките на гимназиалния етап на обучение. Квантова физика, квантови науки и технологии и реализация на предприемачески стартъпи са предметните направления включващи обучение от собствен опит, експерименти, симулации и преподаване посредством игрови подходи. Също така академията реализира проекти за обучение на учители, като интегрира съвременни методи за преподаване на квантови технологии [8].

5. Предизвикателства: Липса на преподаватели

В България все още няма достатъчно преподавателски състав, преминал специализирано обучение в областта на квантовите технологии. Повечето преподаватели по физика и компютърни науки не разполагат с нужния интердисциплинарен профил, съчетаващ квантова механика, информатика и инженерни приложения. Това изисква продължаващо обучение на преподавателите – както в университетите, така и в средното образование. Към момента в България няма национална рамка за квалификация на учители в областта на квантовите науки. Липсва и база данни за експерти, които могат да бъдат привлечени като лектори или ментори. На фона на това, страни като Германия и Финландия вече провеждат ежегодни курсове и семинари за преподаватели в партньорство с академични центрове. Установено е, че липсата на квалифицирани кадри забавя прилагането на иновативни програми дори при наличие на ученици с висок интерес. В допълнение, липсва и институционален механизъм за валидиране на нови програми, съдържащи квантова тематика. Всичко това води до липсата на идентично ниво в качеството на преподаване и до ниска реализация на подобни концептуално базирани образователни курсове и програми. Едно от възможните решения е създаването на Национален център за подготовка в област квантови науки и технологии. По този начин ще се осигури систематизиран подход в създаването на кадри в образователната и други сфери. Регламентирането и финансирането на такъв тип обучения от държавата, ще осигури системна подготовка на преподаватели и ще създаде предпоставка за осъществяване на устойчива екосистема за квантово технологично образование.

Минимално участие на индустрията в образователни инициативи

Българската индустрия все още не разглежда квантовите технологии като актуална нужда или възможност за растеж. Липсва връзка между фирмите от ИКТ сектора и образователните институции в направления като квантово програмиране, квантова сигурност, квантови симулации и други. Малка част от компаниите имат капацитет да предложат стажове или проекти, свързани с квантови изчисления. Повечето представители на индустрията не са запознати с потенциала на тези технологии, което води до липса на мотивация за участие. От своя страна университетите не търсят достатъчно активно индустриални партньори при създаване на учебни програми. В други държави като Франция и Канада се прилагат инкубаторни модели, където индустрията финансира лаборатории в замяна на достъп до иновативни кадри. Подобна практика би била ефективна и в България, но изисква законодателна и административна подкрепа. Програмите за публично-частно партньорство е нужно да включват и сектор „квантови технологии“. При наличие на ясна регулаторна рамка, по-големите международни лидери в бизнеса, както и български ИТ компании могат да бъдат привлечени като партньори. В дългосрочен план това се очаква да доведе до възникване на „квантови технологични стартапи“, създадени от млади учени и инженери. Отговорност на държавата е да осигури среда, в която индустрията да вижда добавена стойност от участието си. Тази среда включва стабилна национална квантова стратегия, данъчни стимули и международна видимост на националните инициативи. Участието на индустрията не бива да бъде пожелателно – то е от особена важност за реализацията на научните кадри и за внедряването на технологии в бизнеса. Без изграждането на подобна връзка, обзавоането би останало в изолация от практическото му приложение.

Недостатъчно финансиране за лаборатории и експериментаторска работа

Една от основните пречки за практическото обучение по квантови технологии е липсата на съвременна лабораторна база. Повечето университети в България не разполагат с оборудване за квантова оптика, интерферометрия, сензори, свръхпроводимост и други. Дори виртуалните лаборатории изискват платени лицензи и поддръжка, която не се финансира целенасочено. Все още няма на разположение и учебни квантови компютри. Финансирането на научни проекти е ограничено и не приоритизира квантовите теми, въпреки че те са част от европейската визия. Това води до изоставане не само в преподаването, но и в самите изследвания. Студентите не могат да прилагат на практика наученото, което води до спад в мотивацията и качеството на обучението. Решение на този казус би било създаването на мрежа от споделени лаборатории между университети и институти – модел, прилаган успешно в Словения и Естония. Тези лаборатории могат да се оборудват по програми на ЕС (Digital Europe, Horizon Europe). Важно е да се създадат и демонстрационни центрове за ученици и учители, в които да се провеждат уъркшопи и практически обучения. Националната научна инфраструктура се очаква да включва квантовите технологии като приоритетна област. Интегрирането на дигитални платформи за симулация, като Quantum Experience, трябва да се направи с институционален достъп. Така ще се осигури равен достъп до квантови ресурси, независимо от местоположението на учебното заведение, за да се добива

практически опит, което реално означава същинска подготовка и следователно инвестицията в инфраструктура или най-общо казано инвестиция в бъдещето на страната.

Неинтегрирани политики между министерства

Устойчивото въвеждане на квантови технологии в образованието изисква координация между различни държавни структури като например Министерство на образованието и науката, Министерство на икономиката и Министерство на иновациите и растежа, други министерства. Към момента липсва обща национална стратегия, която да определя цели, отговорности и индикатори за напредък. Това води до фрагментирани действия – изолирани курсове, еднократни проекти или частни инициативи, които не могат да се мащабират. Пример за добра практика е Финландия, където националната стратегия е разработена съвместно от министерства, университети и индустрията [OECD, 2022]. В България обаче липсва синхрон между образователни и икономически политики. За да се преодолее това, е необходимо създаване на работна група по квантови технологии към Министерския съвет. В нея да участват представители на академичните институции, индустриални клъстери и международни експерти. Ролята на тази група ще бъде разработване на „пътна карта“ с конкретни мерки, срокове и бюджет. Необходимо е и разширяване на закононите механизми за въвеждане на иновативни STEM програми в училищата. Квантовите технологии трябва да се впишат в приоритетните области на оперативните програми и НП „Образование“. Само при ясна регулация и политическа воля, системата ще може да интегрира новите технологии. Координацията между министерствата ще гарантира синергия и устойчиво развитие.

Решения: Национална програма по квантово образование

Една от основните мерки, които следва да бъдат предприети, е разработване на Национална програма за образование в област квантови науки и технологии. Необходимо е тя да обхваща всички образователни нива – от средното училище до докторантура. Програмата би могла да бъде интегрирана в рамките на Националната програма за развитие „България 2030“ и да включва мерки за създаване на нови учебни програми, адаптиране на учебници, разработване на електронни ресурси. Тя следва да бъде разработена от експертен съвет, включващ представители на министерства, университети и неправителствени. Програмата ще позволи целенасочено развитие и по-висока ефективност от автономни фрагментарни инициативи [5].

Обучения и сертифициране на педагогически и академичен състав

За да бъде квантовото научно и технологично образование успешно интегрирано в учебния процес, е необходимо да се инвестира в обучение на преподаватели. Това включва създаване на курсове за квалификация, които да се водят от университети с опит в областта – например СУ „Св. Климент Охридски“, ТУ-София, УниБИТ – в партньорство с международни мрежи като QTEdu [8]. Преподавателите трябва да бъдат запознати не само с концепциите на квантовата механика, но и с новите педагогически практики, включващи визуализации, симулации и проектно-базирано обучение. Курсовете могат да бъдат сертифицирани по Националната квалификационна рамка и да се провеждат както присъствено, така и

онлайн. Участието на учители от различни градове ще осигури териториално разпределение и устойчивост на модела. В дългосрочен план това ще доведе до създаване на национална мрежа от учители-иноватори по квантово концептуално-базирано образование.

Национален квантов образователен хъб

Създаването на квантов образователен хъб с координираща роля е ключово за устойчивостта на образователната екосистема. Няма ограничения как и къде точно да бъде изграден или ситуиран. Някои от опциите са да бъде учреден към научен институт или университет по възможност с вече изградена квантова инфраструктура. Хъбът се очаква да изпълнява функции като създаване на учебни ресурси, провеждане на обучения, организирани на конференции и координирани на мрежи между училища и университети. Подобни хъбове вече съществуват във Виена, Делфт и Хелзинки, като се финансират чрез държавни и европейски програми. В България този модел може да бъде приложен чрез проектно финансиране от програми като „Наука и образование за интелигентен растеж“ или „Хоризонт Европа“. Целта на хъбът е да действа и като посредник между образованието и индустрията, улеснявайки трансфера на технологии и кадри.

Участие в международни проекти и мрежи

Активното участие на България в международни образователни и изследователски мрежи е от стратегическо значение. Програми като QTEdu, OpenQKD и Quantum Inspire предоставят безплатни ресурси, платформи и обучения, които могат да бъдат използвани за развиване на национални програми [8]. Освен това, включването на български студенти и преподаватели в проекти по програма Erasmus+, Horizon Europe и EIT Digital (най-голямата екосистема за дигитални иновации в Европа) отваря възможности за обмен на добри практики, съвместни разработки и академична мобилност. Участието в тези мрежи повишава международната видимост на страната и я позиционира като активен партньор в европейската квантова трансформация. За целта, Министерството на образованието е необходимо да улесни административно и финансово включването на учебни заведения в такива проекти. Това включва и активна роля в европейски платформи като European Quantum Industry Consortium (QuIC) [9].

6. Заключение

Квантовите технологии ще окажат дългосрочно влияние върху икономиката, сигурността и научния напредък в световен мащаб. Промяната, която те носят, не е единствено технологична, а структурна – те изискват нов начин на мислене, нови умения и нови форми на сътрудничество. България има капацитет да участва активно в тази трансформация, стига да проявят инициатива институциите, академичната общност и индустрията в обединявайки се под единна стратегическа визия. Това изисква не само политическа воля, но и институционална ангажираност на всички нива. Необходими са ясни приоритети, стабилно финансиране и подготвени преподаватели. Ако успеем да изградим такава екосистема, ще можем не само да подготвим кадри, а да създадем бъдещите лидери в една нова научно-технологична и икономическа ера, което само по себе си означава авторитетност и бъдеща стабилност на държавно ниво и на световната сцена. В противен случай рискуваме да останем само пасивни потребители на чужди технологии и

знания. Настоящият доклад предлага конкретни стъпки, които, ако бъдат реализирани, ще гарантират достойното място на България в глобалната научна и образователна карта на квантовите технологии.

Литература

- [1] L. Vandersypen, C. Abellán, L. Banchi et al. Quantum Computing: Progress and Prospects, *Nature Reviews Physics*, Vol. 3 (2021).
- [2] M. A. Nielsen, I. L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, Cambridge University Press (2000).
- [3] J. Yin, Y. Cao, Y. Li, J. Ren, S.-K. Liao et al. Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers, *Science*, Vol. 356, Issue 6343, pp. 1140-1144 (2017).
- [4] European Commission, *Horizon Europe – Quantum Flagship*, Брюксел (2023).
- [5] McKinsey & Company, *The quantum technology monitor* (2023).
- [6] QuanTEdu – QuantAlps Education and Training Initiative in Quantum Science and Technology (2023).
- [7] QuTech – Delft University of Technology, *Quantum Research & Education Programs*, <https://qutech.nl> (достъп: 10.06.2025)
- [8] STEALM Academy, *Вътрешни материали: презентации, програми и анализи*. (2024–2025).
- [9] European Quantum Industry Consortium (QuIC), <https://www.euroquic.org> (достъп: 10.06.2025)

Интеграция на интерактивни образователни технологии при изучаването на „Атоми и атомни ядра“ в 7 клас, в училищния курс по физика

Цветелина Иванова-Варадинова¹, Марио Усков²

¹ПУ „Паисий Хилендарски“, катедра „Образователни технологии“

²СУ „Св. Паисий Хилендарски“, град Пловдив

Абстракт: Бурното развитие на технологиите налага прилагането и използването на интерактивни технологии в съвременното образование. Глобално те се утвърждават като ефективен метод за повишаване на активността, осъзнаването и по-трайното усвояване на знанията при изучаването сложни теми.

Настоящият доклад разглежда приложението на съвременни интерактивни технологии при изучаването на темата „Атоми и атомни ядра“ в 7. клас в рамките на училищния курс по физика, в България. Проучени са предимствата от приложението на образователните технологии за подобряване на разбирането, достъпността и нагледността на сложни и абстрактни концепции, като неутрон, изотопи, радиоактивност, алфа-, бета- и гама-лъчи и ядрена енергия.

Разгледани са различни интерактивни образователни технологии, като са избрани най-подходящите, които са приложени в часовете по „Физика и астрономия“. След приложението им е видно, че тези инструменти помагат на учениците да разберат комплексните физични концепции, като засилват интереса на учениците към конкретната тема, като насърчава тяхното критично мислене и подпомага за развитието на техните изследователски умения. Дава се възможност да се демонстрира практическото приложение на изучавания материал)

Въведение

При изучаването на темите от раздела „Атоми и атомни ядра“, от учебното съдържание по предмета физика и астрономия за 7. клас, учениците се запознават с фундаментални концепции за структурата на веществата. С изучаването на тези теми се дава основата за по-доброто разбиране и осъзнаване на по-сложните, физични явления и концепции, които са изучавани в по-горните класове на училищното образование. Темите помагат да се развият логическо, критично и абстрактно мислене, което помага да се развият изследователски умения, както и умения за решаването на глобални проблеми, свързани с енергетика и здравеопазване.

Поради имагинерността на понятия като електрон, ядро, изотоп, радиоактивност и др. учениците от началният етап на образование са изправени пред редица предизвикателства, с които да се справят. Заради липсата на емпиричен опит те изпитват затруднения при визуализирането и осмислянето на сложните понятия и концепции. Използването на традиционни методи на обучение невинаги успява да помогне на учениците да изградят устойчиви представи, които да им помогнат за разбирането на микросвета.

Интерактивните симулации на технологията за обучение по физика, като PhET, задвижвани от изкуствен интелект, позволяват на учениците да експеримен-

тират с концепции, като прилагат подробни обяснения на сложни физични теории, за да помогнат на абстрактните знания да станат по-разбираеми [1]. Използването на информационни и комуникационни технологии може да засили разбирането на учениците и да подобри качеството на обучение, при изучаването на тези сложни за тях концепции, по-конкретно използването на интерактивни симулации от платформата PhET [2]. Настоящото изследване представя модел за прилагането на PhET симулации в преподаването на темите от раздела „Атоми и атомни ядра“, по предмета „Физика и астрономия“ в 7 клас. Интегрирането на модела е направено с цел повишаване на разбирането на учениците, чрез нагледни симулации, които са използвани от учителя като помощно средство на холистичното преподаване.

В настоящия доклад е описана технологията на приложението на модела в реална учебна среда, като се излага интеграцията на интерактивните симулации в хода на урока. Резултатите от прилагането на модела са анализирани.

Цели и задачи

Ясните образователни цели относно изучаването на темите свързани с атомите и атомните ядра, помагат на учениците да усвоят съвременни научни представи за състава на атомното ядро, ядреният разпад, работата на ядрените реактори и др. Те могат по-ясно да разграничат различните видове лъчения, на базата на техният състав и проникващата им способност, те също така придобиват знания за тяхното значение в индустрията. От изключителна важност е да се разберат процесите на делене на атомите и енергията която генерират, както и използването ѝ за направата на ядрени реактори. Биологичните ефекти от радиацията също са от огромно значение, описват са защити от, както и конкретните и приложения в медицината и индустрията [6].

Изграждането у учениците засилен интерес към физиката като наука е важен аспект. Формирането на научна грамотност и осъзнаването на ролята ѝ в съвременния живот, може да бъде стимулирано и от начина, по който тя се преподава в училище [6].

Използването на модели и симулации, които да бъдат приложени в ключови моменти, стимулират активното участие на учениците с образователният процес. Интерактивните методи и подходи улесняват възприемането на причинно-следствените връзки при изучаването на тези абстрактни явления, това от своя страна води до критично мислене и до формирането на трайни и осмислени знания [6].

Приложение на модела

Дидактическият модел за използването на интерактивни симулации PhET е приложен в часовете по „Физика и астрономия“ в 7. клас. Модела е заложен в два класа, един в основно училище „Св. Св. Кирил и Методий“, с. Браниполе и един в средно училище „Св. П. Хилендарски“ гр. Пловдив. Уроците в които е приложен са съответно: „Строеж на атома и атомното ядро“; „Радиоактивност“; „Използване на ядрената енергия“.

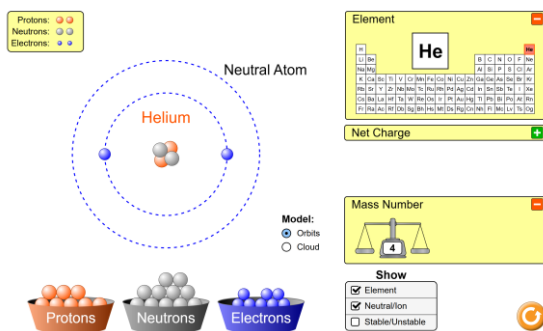
При прилагането на дидактическият модел са взети предвид и предварителните знания, които учениците са придобили при изучаването на други предмети. Те вече имат формиран основни знания за строежа на атома, електроните и протоните в рамките на учебният предмет „Човекът и природата“ в 5. и 6. клас [8, 9]. Тези знания се надграждат и в предмета „Химия и опазване на околната среда“ (ХООС).

В него учениците се запознават с ядрото на атома и ролята на неутроните, разширяват се и уменията им за използването на периодичната система, както и разбирането на основните характеристики на химичните елементи. [7] Тези ясно изразени междупредметни връзки създават една стабилна основа за възприемането на физичните концепции и улесняват интегрираното знание.

Използването на симулации в часовете по физика стимулира активното учене. Чрез въвеждането на тези интерактивни технологии в обучението учениците могат да правят непрiloжими експерименти в безопасна за тях среда, което им позволява да провеждат опитите многократно и да събират данни при промени на различни параметри в симулацията. Разбирането на изучаваните концепции се осезаемо се повишава, поради възможността за визуализация, чрез използването на информационните и комуникационни технологии.

За приложението на дидактическият модел са избрани симулациите от PhET поради своята достъпност и интуитивен интерфейс. Това което си разграничава от останалите симулации е изключително лесните за използване и ориентация симулации. Работата на самите учители е значително улеснена, тъй като не се налага да отделят допълнително време за пояснение относно работата в самата система, учениците се справят бързо с разбирането на интерфейса. За работата с PhET симулациите не се изисква специфичен хардуер или инсталирането на допълнителен софтуер, което позволява да се използват безпроблемно в училищна среда. Визуализацията на сложни и абстрактни процеси улеснява възприемането и усвояването на знания свързани с физиката на микросвета. Високата ниво на интерактивност създава възможност за самостоятелно формиране на хипотези, откриване на закономерности и по-нататъшно експериментиране отстрана на учениците.

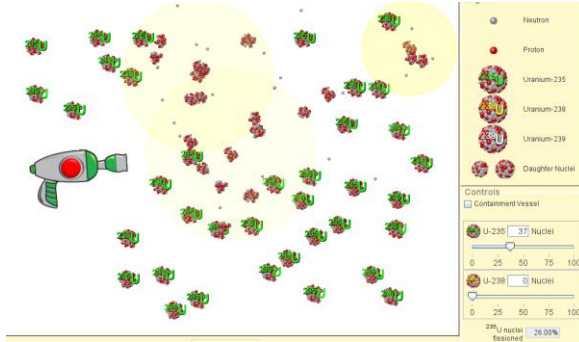
Една от симулациите приложени в модела е „Модел на атом“ (Фиг. 1) [4]. При нея се онагледява зависимостта между броя на протоните в атомното ядро, чрез което се затвърждават и знанията на учениците за периодичната система. Симулацията подпомага формирането на трайни връзки между периодичната таблица и структурата на атома, което помага на учениците по-лесно да разберат значението на броя протоните. Развива се и умениято им за дешифриране на информация относно атомния строеж [3].



Фигура 1. PhET симулация „Модел на атом“.

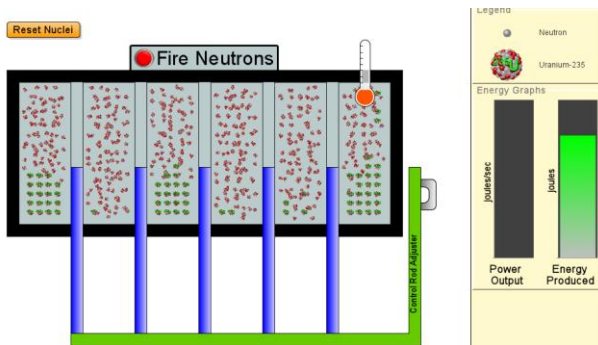
Друга използвана симулация е „Делене на урана“ (Фиг. 2) [5]. Визуализа-

цията на физичният процес е интерактивна, което значително улеснява асимилирането на механизма на ядрените реакции. Верижната реакция, която протича по време на деленето е представена интерактивно, което позволява на учениците да проследят последователността от събития: освобождаването на енергия вследствие на поглъщане на неутрони и отделяне на нови неутрони. Атрактивната симулация дава на учениците динамична визуализация на абстрактния процес, което стимулира критичното им мислене [3].



Фигура 2. PhET симулация „Делене на урана“.

Когато се изучават ядрените реактори се използва симулацията „Устройство на ядрен реактор“ (Фиг. 3) [5], която позволява на учениците да придобият по-ясна представа за основните процеси, които протичат при работата на реактора [3]. Регулиращата пръчка, която е отговорна за управлението на верижната реакция и поддържането на верижната реакция, тъй като учениците могат да я местят, така те ясно виждат нейното значение. По време на симулацията количествено се демонстрира енергията, която може да бъде генерирана при контролираното делене на горивото. От демонстрацията учениците придобиват по-дълбоко разбиране на технологията, която стои зад ядрената енергетика както и значението ѝ за съвременния свят



Фигура 3. PhET симулация „Устройство на ядрен реактор“.

За интегрирането на симулациите в хода на обучението са приложени два дидактически модела. В първият модел самите симулации се използват за затвърждаване на изученият материал. Учениците прилагат вече придобитите знания в конкретната PhET симулация, като провеждат безопасен експеримент. Във вторият модел симулациите са използвани като средство за въвеждането и поэтапното изучаване на нови знания. При използването му учениците възприемат новите знания самостоятелно, което води до по-дълбокото разбиране както и засилва техните изследователски умения.

При използването на симулациите с цел затвърждаване на знания се следва структуриран подход, който комбинира традиционните методи на обучение и дигиталните технологии. Учителят въвежда явлението или модела, чрез традиционни методи, като беседа или обяснение, които се използват, за да се изградят нови научни знания. Преподавателят запознава учениците с управлението на конкретната симулация, като се фокусира върху интерфейса ѝ и възможностите за промяна на параметри.

Организира се груповата работа, като на учениците са поставени познавателни задачи, в които те да приложат знанията си в интерактивна среда. Една такава задача е „Опишете принципа на действие на ядрен реактор“. Симулацията позволява да се демонстрира предназначението и ролята на регулиращите пръчки за управлението на верижната реакция. Наблюдават се три нива на пръчките: 1) пръчките са напълно затворени, 2) пръчките са отворени наполовина, 3) пръчките са напълно отворени (Фиг. 3). Наблюдава се промяната на количеството енергия, което е произведено от реактора, чрез сравняване на трите състояния, в резултат на което се правят изводи относно тяхното влияние върху ефективността на реактора. При работата със симулацията у учениците се наблюдава повишена активност, което е показател за повишен интерес към учебното съдържание. Дейностите извършени от обучаващите се при изпълнението на задачата затвърждават знанията им, свързани с принципа на действие на ядрения реактор. След приключване на практическата работа се провежда беседа, която има за цел да обобщи знанията получени от наблюденията, което благоприятства за систематизиране и осмисляне на новите знания.

При втория подход последователността на заложените дейности започва с кратко разясняване на интерфейса на симулацията. След това учителят поставя познавателна задача с анализаторски характер, като: „Как зависи броят на отделените неутрони от дълбочината на поставяне на пръчки?“ При работата със симулацията учениците от отделните групи формулират хипотези на базата на наблюденията си от експериментите. Учителят тук има ролята на фасилитатор, той модерира процеса, като обобщава отговорите и извежда основните изводи, като нови знания. Тази нова информация се допълва в плана на урока, като усвояването на съдържанието се обогатява.

Симулацията бива използвана като посредник между учителя и учениците, което улеснява изграждането на нови знания, чрез визуални, интерактивни симулации. Важно е учителя много внимателно да формулира конкретни въпроси свързани с функциите на конкретната симулация. Чрез тях той насочва учениците, подкрепя намирането на отговори и стимулира тяхната самостоятелна изследователска дейност. Придобитите нови знания са резултат от самостоятелни усилия, което води до по-дълбоко, осъзнато и трайно разбиране на учебното съдържание.

Заклучение

Симулациите и анимациите и тяхната интерактивност превъзхождат статичните изображения в учебника, така процесите биват визуализирани динамично. Тези ресурси спомагат за по-доброто разбиране на илюстрациите от учебника. Учениците се чувстват свободни и спонтанно задават въпроси за изучаваните физични явления и процеси. Наблюдава се емоционална възбуда с ясно изразено положително въздействие върху ученето. В допълнение работата със симулации доразвива и ключови дигитални умения, които са важна част от съвременното образование и начин на живот.

Благодарности

Авторите изказват своята благодарност към Национална програма „Млади учени и постдокторанти – 2“ на МОН, 2024 – 2025 г.

Литература

- [1] Shafiq, M., Sami, M. A., Bano, N., Bano, R. & Rashid, M. Artificial Intelligence in Physics Education: Transforming Learning from Primary to University Level. *Indus Journal of Social Sciences*, 3 (1), pp. 717-733 (2025).
- [2] Герева, Н., Райкова, Ж. Някои възможности на съвременните технологии за оптимизиране изучаването на двойствената природа на светлината в средното училище, 52-ра Национална конференция по въпросите на обучението по физика „Образованието по физика и дигиталните технологии“, ISBN: 978-619-93111-0-3, ISBN: 978-954-91841-0-5 (e-book PDF) (2024).
- [3] Максимов, М., Русева, Г. Физика и астрономия, учебник за седми клас, БУЛБЕСТ 2000, ISBN: 978-954-18-1225-9 (2018).
- [4] https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom_all.html
- [5] <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/nuclear-physics/latest/nuclear-physics.html?simulation=nuclear-fission>
- [6] https://www.mon.bg/nfs/2023/12/up_vii_fizika.pdf
- [7] https://www.mon.bg/nfs/2023/11/up_vii_himia.pdf
- [8] https://www.mon.bg/nfs/2023/11/up_vi_chp.pdf
- [9] https://www.mon.bg/nfs/2023/11/up_v_chp.pdf

Квантовата и вълнова оптика в задължителния курс по физика – модели и представяния

*Мая Гайдарова, Фабиен Кунис, Ивелина Коцева
СУ „Св. Климент Охридски“, Физически факултет*

Абстракт: Преподаването на квантова и вълнова физика е методическо предизвикателство в средния курс. Последователното и непротиворечивото изучаване на представите за светлината в зависимост от условията на наблюдение изисква разбиране на моделите за светлината и границите, в които те работят.

В доклада ще се представят моделите на поведението на светлината в различни физични явления в зависимост от енергията на фотоните. Ще се разисква и анализира идеята за корпускулно-вълновия дуализъм в проявите на светлината, но не и в нейната същност. Как да съвместим идеята за непрекъснатост и детерминираност на светлинната вълна с идеята за прекъснатия и недетерминиран в границата на класическата физика образ на светлината. Как принципите за допълнителност и съответствие, формулирани от Бор, дават философска интерпретация на възможните прояви на светлината, които можем да наблюдаваме.

Създаването на съгласувана представа за поведението на светлинните фотони в зависимост от енергията им е подходящо да се направи с помощта на визуализация чрез компютърни симулации и анимации. Създаването на образ на разпространение на светлинните кванти в зависимост от енергията им е методически подходящо за улесняване на разбирането на същността на светлината и нейните прояви.

7. Развитие на представите за светлината

Етапите в развитието на ученията за светлината следват етапите на еволюцията на физичната картина на света. Представите за светлината – вълнови и корпускулни, възникват почти едновременно. Корпускулната теория се развива от Нютон и Лаплас през 17 век, като корпускулите на Нютон са частици, различаващи се от представите ни за фотоните. Те са излъчвани от източниците и се движат с голяма скорост. Хюйгенс, Юнг и Френел разработват вълновата теория, като част от механистичната картина на света. В **Таблица 1** са описани етапите в развитието на учението за светлината в съответствие с етапите на развитието на представите ни за физичната картина на света. В етапа на електродинамичната картина на света се развива теорията за светлината като електромагнитна вълна с работите на Максвел и Херц и възниква квантовата теория с предположението на Планк за квантовия характер на излъчването на светлина във връзка с обяснението на излъчването на черно тяло. Единството на корпускулновълновите представи се осъществява с работите на Айнщайн, Дьо Бройл, Хайзенберг и Шрьодингер. В резултат от това се достига до следното разбиране на природата на светлината. Тя е вид електромагнитна вълна, която има фотонна структура с енергия на фотоните около 2-3 eV. Двата модела се обединяват от квантовата теория на полето, като при разглеждане

на микропроцесите различие между поле и вещество изчезва и се проявява тяхното единство. В макропроцесите вълновите или квантови свойства се проявяват в зависимост от условията за наблюдение и енергията на фотоните. На по-малка енергия на фотоните съответства по-голяма дължина на вълната и се проявяват по-силно вълновите свойства. Частицата и вълната отразяват граничните случаи на съществуване на обектите в природата.

Таблица 1. Развитие на представите за светлината.

Етапи в еволюцията на Физичната картина на света	Етапи в развитието на учението за светлината	Корпускулярен на теория	Вълнова теория
Механична	Зараждане и на двете теории	1675 Нютон 1813 Био Лаплас	1678 Хюйгенс 1756 Ломоносов 1769 Ойлер
	Вълнова теория		1802 Юнг 1815 Френел
Електродинамична	Възникване на квантовата теория	1900 Планк 1905 – 1907 Айнщайн 1913 Бор	1871 Максвел
Квантовополева	Единство на корпускулярно-вълновите представи	1924 Дьо Бройл 1930 Дирак, Хайзенберг	1926 Щрьодингер

8. Модели за природата на светлината, философска интерпретация

Светлината има електромагнитна природа, като за проявите ѝ в макросвета се използват двата модела – поток от частици - фотони и вълна. Те взаимно се допълват, но поотделно не могат да обяснят всички прояви на светлината. Важно е да се подчертае, че светлината едновременно проявява свойствата на вълна и частици, но те се проявяват в различна степен в зависимост от условията на наблюдение. Философската интерпретация на тази привидна противоречивост се дава от принципа на Бор за допълнителност [1]. Според него всяко дълбоко явление в природата не може да бъде еднозначно определено и изисква поне две взаимноизключващи се и несводими едно към друго понятия, каквито са фотонът и вълната (**Фиг. 1**). Фотонът има дискретен характер, локализира енергията и чрез него се обясняват предимно явления, свързани с излъчването и взаимодействието на светлината с веществото – фотоэффект, ефект на Комптън. Електромагнитната вълна е

непрекъсната и периодична във времето и пространството, подчинява се на принципа на суперпозицията и с нея се обясняват явления, свързани с разпространението на светлината като интерференция, дифракция, поляризация и законите на геометричната оптика, която се явява граничен случай на вълновата при $\lambda \rightarrow 0$.



Фиг. 1 Принцип на допълнителност.

Тази философска интерпретация се подкрепя и от идеите на Пригожин [2] за това, че светът е плуралистичен по природа и че той е много по-богат и разнообразен от образа, който му придава науката. В макросвета явленията са детерминирани в смисъла на Лапласовия детерминизъм – еднаквите причини водят до еднакви следствия, но в микросвета явленията са стохастични и имат вероятостен характер. Там действа т. н. квантовомеханична причинност – има вероятност за отделното събитие, но за много събития картината е детерминирана. Преминаването на отделен фотон през отвор е събитие дискретно и случайно, но дифракционната картина от голям брой фотони, преминаващи през отвора е непрекъсната, закономерна и предсказуема. В този смисъл понятията дискретност и непрекъснатост са също допълнителни.

В семантиката на думите също е заложена двойственост. Мисълта се появява от съпоставката поне на две значения на думите, от две начала, затова истински ценно е това, в което се съмняваме.

Има връзка между корпускулните и вълновите представи за природата на светлината и тя се изразява от формулите, които съдържат квантови и вълнови характеристики – дължина на вълната λ , импулс p , маса m , и енергия E , където h е константата на Планк:

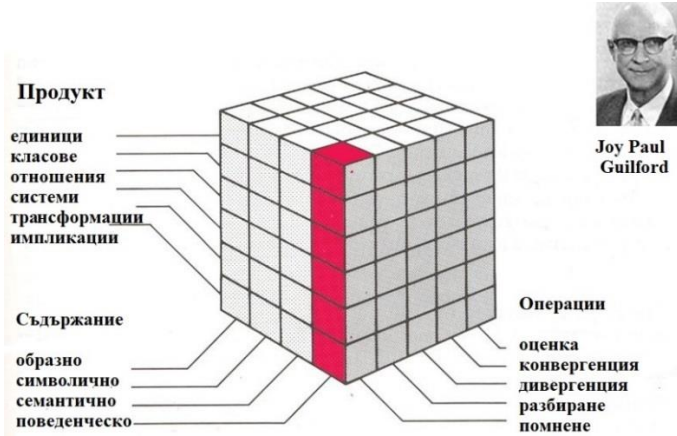
$$E = h\nu \quad m = h\nu / c^2 \quad p = h / \lambda \quad (1)$$

От съществено значение е подчертаването на факта, че квантовият модел все пак може да се използва за обяснение на вълновите явления интерференция и дифракция, което определя квантовата теория като отразяваща единството на корпускулярно-вълновите свойства на светлината. Така например интерференчните максимуми и минимуми се свързват с броя на фотоните, които попадат в различните места на екрана, като ние можем да оценим само вероятността, с която фотонът ще попадне на дадено място чрез квадрата на амплитудата на вълната. Интерференчните максимуми съответстват на по-голяма вероятност фотоните да попаднат на това място. От тук следва, че интензитетът на светлината също е от значение

за проявата на квантовите или вълнови свойства – при по-големи интензитети се проявяват по-силно вълновите свойства на светлината.

9. Факторен модел на интелекта

Каква е ролята на моделите за развитие на мисленето при изучаване на светлинните явления?



Фиг. 2 Факторен модел на интелекта.

Гилфорд (Guilford) [3] предлага тримерен факторен модел на интелекта (Фиг. 2), като всеки фактор включва мисловна операция над съдържание в определена форма, в резултат от което се получава умозаключение от различен род. За развитие на мисленето според него най-важни са продуктивните операции дивергенция, конвергенция и оценка. Дивергентно мислене имаме, когато търсим различни решения на един проблем. То предполага асоциации и изграждане на различни концепции и е в основата на творческото мислене. Така например поведението на светлината го обясняваме чрез два различни модела – вълна и поток от частици, които в макросвета са допълнителни и противоречиви понятия. Конвергентно мислене развиваме, когато едно и също решение използваме за обяснение на различни същностни явления. Процесът е свързан с използване на аналогии и сравнения на свойства. Моделът вълна е почти еднакъв за разпространение на механични трептения и разпространение на променливи във времето електромагнитни полета.

Използването на тези модели в обучението по физика и астрономия в 10 клас [4] е важно за развитие на абстрактното мислене, като те се изучават в разделите Вълнова оптика и Квантова физика.

10. Симулация за демонстриране на връзката между двата модела

При разглеждане на електромагнитния спектър се изяснява, че радиовълните се държат в повече явления като вълни, а в късовълновите лъчения се проявява квантовият характер на фотоните. Изяснява се, че светлината като част от

електромагнитния спектър проявява едновременно свойствата на вълни и фотони, но те се проявяват в различна степен в зависимост от енергията им и условията на наблюдение. Нека сравним два еднакви по мощност източника на електромагнитни вълни, които имат различна енергия на фотоните (различни честоти), като фотоните на всяко отлъченията ще са различен брой, за да се запази общата енергия за единица време:

$$n_1 h\nu_1 = n_2 h\nu_2 \quad (2)$$

Оценяваме броя на фотоните с различни енергии (честоти), които пренасят еднакво количество енергия:

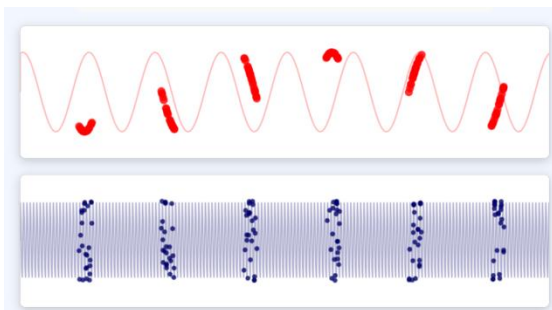
$$n_1 = n_2 \frac{\nu_2}{\nu_1} \quad (3)$$

Тогава ако:

$$\nu_2 > \nu_1, \text{ то } n_2 < n_1 \quad (4)$$

т. е. броят на фотоните с по-малка честота (по-голяма дължина на вълната), които пренасят тази енергия, е по-голям.

Това може да се представи със симулация, която визуализиралъчението с по-голяма дължина на вълната (по-малка енергия на отделните фотони) и следователно по-голям брой фотони, които заемат непрекъснато място. Потокът от високоенергийни фотони има прекъснат характер, поради по-малкия брой фотони. Могат да се задават стойности както на интензитета и стойности на енергиите на фотоните от двата дават снопа, като се визуализират едновременно две излъчвания едновременно. По-значими различия се наблюдават при по-големи разлики в енергиите на двата вида фотони (**Фиг. 3**).



Фиг. 3 Симулация на модела при ниска и висока честота.

11. Заключение

Изучаването на двата модела на светлината е от методологично значение както за изграждане на физична картина на света, така и за разбирането на начина, по който физиката изучава света – чрез различни модели, които обясняват свойствата на обектите в различни условия. Това знание е по характер епистемологично и е свързано с умението на учениците да разбират характера и естеството на физичното знание в контекста на изучаваното учебно съдържание.

Литература

- [1] Н. Бор, *Атомная физика и человеческое познание*, М., Иностранной литературы. (1961).
- [2] И. Пригожин, И. Стенжер, *Новата връзка. Метаморфоза на науката*, Наука и изкуство, София (1989).
- [3] J. P. Guilford, *Intellectual Resources and their values as seen by Scientists. In Scientific Creativity*, N. J. (1969).
- [4] В. Иванов, Д. Мърваков, В. Голев, М. Гайдарова, И. Мирчева, М. Иванова, *Физика и астрономия за 10. клас*, изд. Просвета, ISBN 9789540144801 (2024).

Педагогически функции на лабораторните упражнения по физика във физическото и инженерното образование във висшите училища

Стефан Николов

Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“, Физико-технологичен факултет, катедра „Образователни технологии“

Абстракт: Във висшите училища физика се изучава от студенти в различни специалности, като неизменна част от обучението са лабораторните упражнения. В доклада се разглеждат различните педагогически функции, които могат да изпълняват лабораторните упражнения по физика, както и необходимостта да се подкрепят по ред на приоритети и как това следва да се отрази на методиката на провеждането на занятията. Обсъждат се различните цели и задачи на обучението по физика на студенти от различни професионални направления и как това трябва да влияе на приоритизирането на различните педагогически функции на лабораторните упражнения и съответно на методиката на провеждането им.

1. Лабораторните упражнения в университета като форма на физичен учебен експеримент

В обучението по физика изключително важна роля играят физичните учебни експерименти. Те дават връзката между теоретичните познания и реалния свят, който те описват, както и с различните практични приложения на физичната теория. Физичните учебни експерименти са изключително разнообразни – от прости качествени демонстрации, които за секунди илюстрират дадена физична идея, до експериментални учебни проекти, при които набирането и обработката на данните може да продължи с месеци. В университетското образование по физика много важна роля заемат лабораторните упражнения, които обикновено се провеждат като отделни учебни занятия, отделно от (но в допълнение към) лекционните занятия и семинарните упражнения по решаване на задачи, като често се водят и от различни преподаватели. Предвид несъмнената важност на лабораторните упражнения за цялостното обучение по физика, добре е да се направи анализ на педагогическите функции, които те могат да изпълняват. Такъв анализ трябва да вземе предвид и факта, че физика се преподава на студенти от различни специалности, с различна цел. Направеният по-долу анализ е въз основа на лабораторните упражнения по физика, които се провеждат в Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“.

2. Ролята на лабораторните упражнения за придобиване на знания

Добре известно е, че в съвременната методика на обучението се говори за придобиване на знания, развиване на умения и изграждане на компетентности. Полагат се много усилия за преминаване от „класическия“ подход, основан почти

само към знанията, към по-цялостен компетентностен подход, но това не отменя важноста на знанията – те просто са част от цялостен динамичен комплекс, заедно с умения, нагласи и отношения, като заедно формират съответните компетентности. Без базови знания не може да има компетентности. По отношение придобиването на знания, лабораторните упражнения в университета могат да се използват по два принципно различни начина:

1. Като форма на затвърждаване на вече получени знания (например по време на лекции);

2. Като възможност за въвеждане на нови знания, които не са предвидени за преподаване по време на лекции.

Всеки от тези подходи има свои предимства и недостатъци и не може да се определи еднозначно като по-добър или по-лош. Например при първия подход имаме затвърждаване на знанията, което дава по-голям шанс за трайното им усвояване, но пък при втория подход даваме повече знания като цяло. При първия подход теоретичната част от упражнението може да се сведе до просто припомняне, като така да остане повече време за практическа работа, но пък има риск, ако съответния материал по една или друга причина още не е изучен или пък конкретния студент не е посетил съответната лекция, да не се постигнат поставените цели. При втория подход е необходимо повече време за теоретичната част от занятието, но пък упражнението е самостоятелна учебна единица.

Едно и също (като практическа част) лабораторно упражнение обикновено може да се изпълни и по единия, и по другия метод, като изборът следва да се съобрази с цялостния процес на обучение по физика и да се координира между преподавателите, в случай че за лекции и упражнения са различни. Писмените материали, които се предоставят на студентите, може да се адаптират според метода на провеждане на занятието, но по принцип може да се изработят в „универсален“ вид – с подробна теоретична част, която да се използва в случай че студентите все още не са покрили (или изобщо не се очаква да покрият) въпросните знания на лекции. В случай че материалът е известен (или не се изисква от студентите, както ще обсъдим по-долу), въпросната теоретична част може просто да се прескочи и да се премине на практическите указания.

3. Ролята на лабораторните упражнения за развиване на умения

Както вече споменахме, в съвременното образование все по-голямо значение се отдава на развиването на уменията на обучаемите, които заедно с придобитите знания да се интегрират в цялостни компетенции. Има различни начини за класифициране на уменията, но тук ще обърнем внимание на един признак – обхват на приложимост. По този признак те може да са:

1. Общо-физични – умения за работа с физични формули (коя буква какво означава; логически анализ; алгебрически манипулация за получаване на „работна формула“), за превръщане на мерни единици, за работа с числа записани в научен вид и т. н.

2. Тясно специализирани практични – умения приложими за даден конкретен уред или апарат, или за точно определена лабораторна установка.

3. Общо-практични – умения за работа с измервателни уреди (обхват, константа, точност, калибровка и т. н.), за записване и обработка на получените данни (включително с цифрова техника), за анализ на резултати, за анализ за източници на неточности и системни грешки, за изготвяне на протокол за извършената работа

и т. н.

Важно е да се отбележи, че много от тези умения са приложими далеч отвъд конкретния контекст на едно или друго лабораторно упражнение, често дори отвъд физиката изобщо. Физиката е дълбоката основа на другите природни науки, на инженерните дисциплини, на технологиите – уменията за работа с формули, с числа в научен вид, за обработката на данни са приложими и в много други сфери. Всички измервателни уреди са по същество физични уреди, дори когато се използват от химици, биолози, инженери, техници. Качественият контрол в индустриалното производство се реализира под формата на своеобразни лабораторни упражнения, като дори включва изискване да завършва с оформянето на протокол за документиране на извършената работа. В този смисъл лабораторните упражнения по физика могат да са много полезни и за студенти, чието по-нататъшно обучение може да няма нужда от дълбоки физични познания.

4. Обучение по физика за студенти от различни професионални направления

Както отбелязахме в последния параграф, провеждането на лабораторни упражнения по физика може да е полезно за студенти от различни професионални направления. Конкретно във Физико-технологичния факултет, ФТФ, на ПУ „Паисий Хилендарски“ физика се преподава на студенти от следните професионални направления, ПН:

ПН 1.3. – подготовка на „учители“ (също и магистри)

ПН 4.1. – на „физици“

ПН 5.1 и ПН 5.3. – на „инженери“

ПН 4.2. – на „химици“.

В различните направления (а и в различните специалности във всяко направление) обучението по обща физика е с различен хорариум, в различен брой семестри (1, 2 или 4). Очевидно е, че за студентите от различните специалности целите на обучението по обща физика са различни.

За студенти, които изучават физика 1 семестър са особено важни уменията, приложими извън физиката. За студенти, които изучават физика 2 семестра („инженери“) следва да се постави фокус на експерименталните умения и уменията за прилагане на физично знание (може да не научи формулите наизуст, но да знае къде да си ги намери и как после от физичния закон в общ вид да достигне до работни формули и практични приложения). За студенти, изучаващи физика 4 семестра вече търсим дълбоки физични познания, както и възможно най-много умения от целия спектър, като все пак се взима предвид и конкретната специалност.

Всички студенти, които се обучават в катедрите в Пловдив, ползват едни и същи учебни пособия [1, 2], които са относително стари и писани с презумпция, че ще се използват от студенти-„физици“. Това понякога затруднява използването им със студентите от другите специалности. За студентите от т. нар. „база Смолян“ беше разработено ново ръководство [3], което е съобразено със спецификите на специалностите, които се изучават в катедрите „Електроенергетика и комуникации“ и „Машиностроене и транспорт“.

5. Необходимост от поставяне на приоритети при провеждането на лабораторни упражнения

При лабораторните упражнения, както и при всички други форми на обучение, има голям набор от педагогически цели, които може да се цели да се постигнат, но почти винаги е невъзможно постигането на всички тях. Има много причини, поради които не може да се постигнат всички възможни цели. Времето за лабораторни упражнения е ограничено. Материалната база е ограничена. Има организационни ограничения (например работата по седмична програма означава, че понякога упражненията „избързват“ спрямо лекциите). И ако тези проблеми са добре известни, по-малко внимание се обръща на проблема с ограниченият когнитивен капацитет на участниците в процеса на обучение – обучаващи и обучасми. Примамливо е да се планира учебен процес при който идеални преподаватели работят с идеални студенти, но е нереалистично, а често и контрапродуктивно. Преподавател, който кара четвърто занятие за деня, като и предния ден е имал четири такива, а сутринта е получил нова спешна служебна задача, като има и семейни проблеми, няма да преподава по най-добрия възможен начин. Студент, който има капацитет да поеме 2 условни единици ново знание, ако бъде насилен да научи 5, няма да научи нищо както трябва и накрая ще остане с нула.

Всичко това води до необходимостта от поставяне на приоритети – кои педагогически цели да се постигнат първо и кои е допустимо да не се постигнат, както в дадено конкретно занятие, така и в курса от лабораторни упражнения като цяло. Това налага и различен начин на водене на занятията – дори при един и същ учебен материал упражнението може да протече по различни начини, в зависимост от поставените в конкретния момент цели. В този смисъл към преподавателите следва да се поставят някои изисквания:

1. Ясно разбиране на педагогическите цели, които се търси да се постигат – не просто „водене на упражнението“, а предаване на определени конкретни знания, развиване на точно определени умения и компетентности;

2. Ясен ред на приоритетите, за целия курс на обучение и за всяко конкретно занятие;

3. Способност да адаптира учебния процес:

- според нуждите на специалността

- според нивото на студентите

- според вече постигнатите (или още не) цели

6. Заключение

Лабораторните упражнения по физика имат важна роля в обучението на студентите по различни специалности. Те могат да се използват за успешното постигане на голям брой различни педагогически цели, но не на всички, или поне не наведнъж. Това налага поставянето на приоритети, които следва да се съобразят с различни фактори – каква специалност са студентите, какви цели са вече постигнати при предишни занятия, колко могат да „поемат“ обучаемите и т. н.

Литература

- [1] Е. Маркова, В. Александров, М. Марудова, *Практикум по обща физика (I част)*, Университетско издателство „Паисий Хилендарски“, Пловдив (2003). ISBN: 954-423-273-7

- [2] П. Свещаров, Х. Полизов, Т. Йовчева, Р. Божинова *Практикум по обща физика (II част)*, Университетско издателство „Паисий Хилендарски“, Пловдив (2003). ISBN: 978-954-423-477-5
- [3] А. Виранева, Г. Екснер, Е. Марекова, И. Бодуров, М. Марудова, Т. Йовчева, *Ръководство за лабораторни упражнения по физика*, Университетско издателство „Паисий Хилендарски“, Пловдив (2018). ISBN: 978-619-202-358-4

Дигитални ресурси в обучението по квантова физика в средния курс на обучение

*Фабиев Кунис, Мая Гайдарова, Ивелина Коцева
СУ „Св. Климент Охридски“, Физически факултет*

Абстракт: Преподаването на квантовата физика представлява сериозно методическо предизвикателство в средното образование. Абстрактните и често контраинтуитивни концепции на квантовата механика могат да бъдат трудни за разбиране от учениците, което води до намален интерес към изучаването на физика като цяло. Този доклад изследва възможностите за използване на дигитални технологии и ресурси за подобряване на процеса на обучение по квантова физика в средния курс.

В доклада ще се представи преглед на различни дигитални инструменти и ресурси, които могат да бъдат интегрирани в обучението по квантова физика. Ще се обсъди как интерактивни симулации, виртуални лаборатории, образователни видеоклипове и специализиран софтуер могат да помогнат за визуализация и по-лесно разбиране на ключови квантови концепции. Ще се анализира как дигиталните ресурси могат да направят обучението по-интерактивно и ангажиращо, като по този начин се повиши интересът на учениците към физиката и се стимулира тяхната мотивация за по-нататъшно изучаване на предмета. Ще се разгледа и как използването на дигитални технологии може да подпомогне изграждането на позадълбочено и интуитивно разбиране на квантовата механика, преодолявайки някои от традиционните трудности в преподаването на тази сложна дисциплина.

Създаването на учебна среда, която ефективно използва дигиталните технологии, е подходящ подход за подобряване на разбирането на квантовата физика и за повишаване на интереса на учениците към физиката. Интеграцията на дигитални ресурси в обучението може да допринесе за по-достъпно и вълнуващо изучаване на квантовата физика в средния курс.

1. Дигитализация на образованието

Пътят на технологиите в образованието е дълъг и динамичен, отразяващ общия технологичен напредък на обществото. Докато в миналото инструменти като черната дъска, учебникът и по-късно проекционните апарати са били основните технологични помощници, днес говорим за сложни дигитални екосистеми, включващи интерактивни дъски, планшети, образователен софтуер, онлайн платформи и облачни услуги. Тази еволюция не е само хардуерна; тя е съпроводена и от развитието на нови педагогически подходи, които се стремят да използват максимално потенциала на технологиите. Европейският съюз отчита важността на тези процеси и чрез инициативи като Плана за действие в областта на цифровото образование (2021 – 2027 г.) се стреми да подкрепи държавите членки в адаптирането на образователните им системи към най-новите развития [1].

За да разберем по-добре контекста, в който българските учители прилагат

технологиите, е важно да разгледаме някои ключови статистически данни за достъпа до технологии, дигиталните умения и представянето на учениците както в България, така и в Европа.

Докладът за Индекса за навлизането на цифровите технологии в икономиката и обществото (DESI) за 2024 г. потвърждава някои отрицателни тенденции: 35.5 % от хората в България на възраст 16-74 години притежават поне основни дигитални умения, което е значително под средното за ЕС от 55.6 %. По този показател България изостава значително. Делът на ИКТ специалистите сред заетите в България е 4.3 % през 2023 г., което е под средното за ЕС от 4.8 %. Освен това, само 9.1 % от предприятията в България предоставят ИКТ обучения на своите служители, при средно 22 % за ЕС (данни от DESI 2023 за ЕС) [2]. За по-ясна представа, следващата таблица обобщава някои ключови показатели:

Показател	България (%)	Средно за ЕС (%)	Източник
Население с поне основни дигитални умения (2023 г.)	35.5	55.6	(DESI 2024)
Население с над основни дигитални умения (2022 г.)	8	26	(DESI 2023)
ИКТ специалисти (дял от заетите, 2023 г.)	4.3	4.8	(DESI 2024)
Предприятия, предоставящи ИКТ обучения (2022 г.)	9.1	22	(НСИ (ЕС))

Таблица 1. Сравнителни показатели за дигитализация: България спрямо ЕС (данни за 2023/2024 г.)

Тази таблица ясно илюстрира изоставането на България по ключови дигитални показатели спрямо средните европейски нива. Това подчертава спешната нужда от целенасочени политики и инвестиции в развитието на дигиталните умения както на населението като цяло, така и конкретно на учителите и учениците.

2. Основни предизвикателства при преподаването на квантова физика

Квантовите явления протичат на атомно и субатомно ниво, което учениците не могат да наблюдават пряко. Понятия като вълнова функция, спин, енергетични нива са абстрактни математически конструкции, които нямат директен аналог в ежедневието. За много ученици е трудно да изградят интуиция за явления, които не могат да си представят визуално. Липсата на сетивна представа затруднява разбирането и прави учебното съдържание сухо и откъснато от реалността.

Много принципи на квантовата механика противоречат на класическата интуиция. Например едни и същи обекти проявяват вълново-корпускулярен дуализъм, което означава, че електронът може да се държи и като частица, и като вълна. Принципът на неопределеност на Хайзенберг твърди, че не е възможно едновременно точно измерване на определени двойки величини (напр. положение и им-

пулс). Тези идеи са трудни за възприемане, защото нарушават представите, изградени от обучаемите в макросвета. В резултат учениците често изпитват когнитивен дисонанс и неувереност при изучаването на квантова физика [3].

Описанието на квантовите явления изисква използването на висшата математика – уравнението на Шрьодингер, линейна алгебра (матрици, оператори), комплексни числа и др. В училищния курс тези математически средства или не се изучават подробно, или се въвеждат успоредно с физичните концепции, което допълнително затруднява учащите. Учениците могат да се обезсърчат от формализма и да заучават механично уравнения, без да ги разбират концептуално.

Поради гореизброените причини много ученици губят мотивация при темите по модерна физика. Квантовата механика често се преподава в края на курса, когато времето не достига, а материята изглежда откъсната от реалността. Липсата на видими практически демонстрации или приложения в класната стая може да създаде усещане у учениците, че темата е твърде теоретична и „неразбираема“. Ако преподаването се свежда до абстрактни лекции и математически изводи, интересът на много от тях спада. Затова учителят е изправен пред задачата да мотивира учениците, като покаже значението и приложението на квантовата физика, и да намери подходящи методи, които да направят обучението по-ангажиращо. Утвърдени грешни представи: Допълнително затруднение са установените предварителни представи и интуитивни модели, които учениците имат (често от класическата физика) и които не работят в квантовия свят. Например учениците могат да си мислят за електроните като за малки топчета по орбити, което затруднява възприемането на вълновата им природа [4]. Коригирането на тези погрешни схващания изисква време и внимателно подбрани обяснения и дейности. Традиционните подходи невинаги успяват да ги променят, което налага търсенето на нови стратегии.

3. Дигитални технологии – ползи и ресурси

Дигиталните технологии – интерактивни симулации, виртуални лаборатории, образователни игри, мултимедийни ресурси – предлагат решения за голяма част от горните предизвикателства. Те позволяват на учениците да „видят“ невидимото, да учат в собствено темпо чрез експериментиране и да се ангажират по-активно в учебния процес.

Чрез компютърни симулации и анимации квантовите процеси могат да бъдат представени нагледно. Неща като вълнова функция могат да се визуализират графично в реално време. Виртуалната реалност (VR) позволява на учениците буквално да „наблюдават“ електрони и фотони в един микросвят, който иначе е недостъпен [5].

По този начин абстрактните идеи придобиват конкретен образ. Визуализациите облекчават когнитивното натоварване и помагат на учениците да изградят интуиция за квантовите явления.

Дигиталните ресурси дават възможност на учениците да учат със собствено темпо. В интерактивните симулации ученикът може да променя параметри, да рестартира експеримента колкото пъти е нужно и да изследва различни параметри. Това е голямо предимство пред класическия урок или демонстрация, където времето е ограничено. Учениците споделят, че във виртуалните лаборатории могат да повторят експеримента или части от него многократно, докато го разберат, докато в реална лаборатория често няма време за повторение [6].

Включването на игрови елементи и интерактивни предизвикателства прави ученето по-увлекателно. Дигиталните платформи могат да внедрят точки, нива, постижения, съревнования или сюжет, свързан с учебното съдържание. Това стимулира учениците да участват активно и доброволно в учебния процес. Изследванията показват, че игровите образователни подходи имат статистически значим положителен ефект върху усвояването на знания и представянето на учениците [7].

Дигиталните симулации насърчават учениците сами да изследват и откриват закономерности – интерактивен, изследователски подход, сходен с научното изследване. Вместо пасивно да слушат теория, учениците могат да променят параметри в симулацията и веднага да наблюдават последствията. Така те формулират хипотези, експериментират и извеждат заключения – всички важни елементи на научното мислене. Например чрез симулация на фотоелектричния ефект ученикът може да променя честотата на светлината и да види как се изменя кинетичната енергия на избитите електрони, което му помага сам да открие прага на честота. Такъв подход повишава по-дълбокото концептуално разбиране. Доказано е, че обучението със симулации развива у учениците умения за проучване и критично мислене – те се учат да задават въпроси, да правят научни предположения и да търсят обяснения на наблюденията.

При работа с интерактивни технологии учениците веднага виждат резултата от действията си – ако зададат неправилен параметър или концепция, ефектът се проявява на симулацията. Това осигурява навременна обратна връзка и им помага да коригират неразбирането.

В **Таблица 2** са показани примерни дигитални ресурси, които могат да се използват за дигитализация на обучението по квантова физика в училищен и извънучилищен формат.

Категория	Примери	Кратко описание
Интерактивни симулации	PhET, oPhysics, Vascak.cz	Безплатни HTML5 симулации за физични явления и процеси.
Виртуални лаборатории	ROQED Physics, Efizika.ru, Varwin VR	3D среди за опити, които са трудни, скъпи или невъзможни в училище.
Видео и MOOC	Khan Academy, YouTube-каналы (Veritasium, Physics Girl)	Анимирани обяснения и кратки демонстрации.
Специализиран софтуер	Quantum Game, IBM Quantum Experience	Игрови задачи и достъп до симулиран квантов компютър.

Таблица 2. Примерни ресурси.

4. Заключение

Дигиталните технологии допринасят за по-достъпно, ангажиращо и ефективно обучение по квантова физика. Те адресират директно много от трудностите – правят невидимото видимо, дават интерактивност вместо пасивност, позволяват индивидуално темпо и стимулират мотивацията. Дигиталните технологии няма да заменят учителя. Но чрез тях учителят може да преведе своите ученици

през странностите на квантовия свят по един достъпен и увлекателен начин. Инвестицията в техника, в подготовка на учителите и в разработване на качествени ресурси на български език е инвестиция в по-доброто образование по физика.

Литература

- [1] Европейска сметна палата, Специален доклад 11/2023: Подкрепата на ЕС за цифровизацията на училищата, Люксембург, Европейска сметна палата. (2023).
- [2] Европейска комисия, Индекс на цифровата икономика и общество (DESI), Брюксел, Генерална дирекция „Съобщителни мрежи, съдържание и технологии“. (2024).
- [3] McKagan, S. B., Perkins, K. K., Dubson, M., Malley, C., Reid, S., LeMaster, R., & Wieman, C. E. Developing and researching PhET simulations for teaching quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 76 (4), pp. 406-417 (2008).
- [4] Nikolaus, P., Dželalija, M., Weber, I. Investigating Students' Conceptual Knowledge of Quantum Physics to Improve the Teaching and Learning Process. *Education Sciences*, 14 (10), 1113 (2024).
- [5] Kohnle, A. et al. A New Multimedia Resource for Teaching Quantum Mechanics Concepts, *American Journal of Physics*, 80 (2), pp. 148-153 (2012).
- [6] Pedersen, M. K. et al., *Virtual Learning Environment for Interactive Engagement with Advanced Quantum Mechanics*, (2015).
- [7] Patar, M. N. A. A., Nazri, N. A. A., Razlan, R., Embong, Z., Ahmad, S. & Mahmud, J. Gamification and its Impact on Learning Fundamental Physics: A Meta-Analysis. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 14 (9), pp. 1555-1579 (2004).

Трудности и погрешни схващания на учениците при изучаване на елементи от квантовата физика в десети клас

*Нина Герева, Желязка Райкова, Екатерина Писанова
Катедра „Образователни технологии“, Физико-технологичен факултет,
Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“*

Абстракт: В учебното съдържание по предмета „Физика и астрономия“ в десети клас са включени само няколко елемента от квантовата теория. Поради абстрактния характер на квантовата физика, учениците срещат трудности при изучаването на квантови обекти и явления и често изграждат за тях грешни представи, подобни на вече познатите им класически модели. Понякога те наизустяват текстовете, без да ги разбират, което води до затруднения и негативно отношение.

В статията е направен обзор на включените елементи от квантовата физика в учебната програма по „Физика и астрономия“ за 10. клас на българските средни училища (2018 г.), анализирани са трудностите за учениците, произтичащи от това съдържание.

Авторите описват методи, използвани за идентифициране на ученическите представи за елементите от квантовата физика, включени в учебното съдържание в десети клас. Споделени са някои резултати, получени при изследване на ученическите представи, проведено през 2025 г., които биха представлявали интерес за учителите по физика и изследователи в тази област.

1. Въведение

Ключов момент при изучаване на светлината са проявленията на свойството корпускулярно-вълнов дуализъм. В учебното съдържание на раздел “Светлина” са включени някои елементи на квантовата механика: квантуване на енергията, частици на светлината (фотони), фотоелектричен ефект, вълни на дьо Бройл. Абстрактният характер на квантовите явления и процеси, невъзможността за наблюдение и експеримент и краткото време за преподаване са пречки за разбирането на двойствената природа на светлината от учениците. Учениците са изправени пред трудности при изграждане на представите си за обекти и явления от микросвета. В резултат често тези представи са грешни. Тяхното диагностициране и коригиране е важен елемент на обучителния процес за постигане на по-добро разбиране.

Целите на статията, които авторите си поставят, са:

- Да се направи обзор на учебното съдържание и неговите компоненти, свързани с елементите на квантовата физика според учебната програма;
- Да се определят някои ученически погрешни схващания относно квантови обекти и явления;
- Да се споделят примери за ученически погрешни схващания за квантови явления.

2. Преглед на елементите на квантовата физика, включени в учебното съдържание

Квантовата физика е слабо застъпена в учебното съдържание в гимназиалния курс. Елементите от квантовата теория, които са включени в учебната програма за десети клас са: топлинно излъчване, фотоелектричен ефект, вълни на Луидьо Бройл, модели на строеж на атома, стационарни състояния на водородния атом, атомни линейни спектри, стационарни орбити на електроните, луминесценция, лазери.

Темата „Топлинно излъчване“ включва изучаването на закон на Йозеф Стефан, Закон на Вилхелм Вин и хипотезата на Макс Планк.

Фотоелектричният ефект се въвежда чрез закономерностите, които са установени опитно и не могат да бъдат обяснени с класическата физика. Учебното съдържание включва обяснението на фотоэффекта с хипотезата на Макс Планк, уравнението на Алберт Айнщайн и зависимостта $c = \lambda \nu$.

Темата „Вълни на дьо Бройл“ е свързана с корпускулярно-вълновия дуализъм на микрообектите. Описва се опитът на Дейвисън и Джърмър, който доказва вълновата природа на електроните.

С модела на Бор на водородния атом се въвеждат понятията за квантуване на стойностите на енергията на водородния атом, стационарни орбити на електроните, електронни преходи и линеен характер на спектрите на поглъщане и излъчване на невзаимодействащи атоми.

Учебното съдържание включва темите „Луминесценция“ и „Лазери“. В тях се разглеждат процеси, които се обясняват с постулатите на Бор [1].

3. Някои причини за погрешни схващания

Нашето виждане за възможните причини за погрешни схващания за квантови явления са следните:

Безспорно за учениците е трудно възприемането на принципите на квантовата физика, които имат неинтуитивен характер. Квантовите явления и обекти са различни от тези, които учениците виждат и познават от заобикалящата ги реалност и до които те се опитват да сведат новите знания в представите си. По този начин често се изграждат грешни схващания за квантовите обекти.

Необходимо е доброто усвояване на концепциите от раздел „Електромагнитни явления“ за разбиране на вълновата природа на светлината и величините, които я описват.

Причини за формирането на погрешни схващания могат да бъдат: неясно представени квантови концепции, погрешни медийни представяния в интернет /видеа, анимации/, опростени и непълни учебни материали, опити за онагледяване с обозрими обекти и явления, културни вярвания, обяснения в семейна среда и други [2].

Представянето на историческото развитие на концепциите за строеж на атома се ограничава с модел на Ръдърфорд, описан в учебника за седми клас [3] и модел на Бор [1]. Това е непълна научна картина и много често води до създаването на ограничени и неверни представи за строеж на атома.

4. Трудности на учениците при изучаване на елементи от квантовата физика

От темата „Топлинно излъчване“ учениците трябва да разберат проблема, който стои за разрешаване пред физиците от втората половина на 19 век. Разрешаването му води до появата на нова революционна теория – квантовата физика. От краткото обяснение в учебниците учениците не разбират, че класическата физика и вълновата теория не обясняват спектъра на топлинното излъчване. Те изграждат схващането, че топлинното излъчване има непрекъснат спектър и е пример за вълново явление. От учебното съдържание не става ясно как хипотезата, че електромагнитната енергия се разпространява на кванти, обяснява топлинното излъчване на телата.

Тези трудности не стоят пред учениците при разбиране на фотоелектричния ефект, механизма, по който протича, смисъла на величината отделителна работа и обяснението на закономерностите му.

Учениците правят трудно връзка на темата „Вълни на дьо Бройл“ с квантовата теория за светлината, предвид, че учебното съдържание не включва как се нанася дължината на вълната на дьо Бройл върху електронните орбити от модела на Бор. Учениците добре разбират опита на Дейвисън и Джърмър.

От голямо значение е разбирането за стационарни състояния с квантувани стойности на енергията, за електронни преходи между стационарни орбити на електроните в атома и за линейни спектри на излъчване и поглъщане на атомите. За учениците е трудно да осмислят, че електронен преход е възможен при поглъщане или излъчване на фотони с точно определена енергия. По-бавно осмислят концепцията, че енергията на фотона не се поглъща или излъчва частично и не е възможен електронен преход между две стационарни орбити, когато енергията на фотона е по-голяма от разликата в енергиите на тези орбити.

5. Идентифициране на погрешни схващания

За установяване на резултатите от обучението на учениците най-често се прилага методът на дидактическия тест. С подходящи въпроси и задачи от ниво „Разбиране“ според таксономията на Блум може да се открият погрешни схващания за квантови обекти и явления. Тази картина се допълва и от анализа на отговорите на учениците при устното изпитване.

Ефективен метод за откриване на трудности и грешни схващания е методът на концептуалните карти, при който знанията за обекти, явления, закономерности се структурират в тяхната свързаност и йерархия.

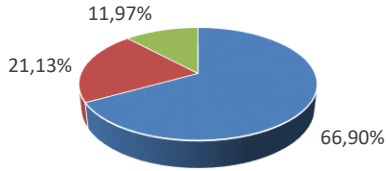
Провеждането на анкети, разговори, обсъждания с учениците, писането на есета също могат да покажат някои специфични грешки на учениковите представи за квантови обекти и явления.

6. Резултати от изследване

Представяме резултатите от четири въпроса с избираем отговор, включени в тест, проведен сред 142 ученика от десети клас. Тестът цели да оцени техните представи за корпускулярно-вълновия дуализъм. Представяме получените отговори като брой и процентно разпределение на кръгова диаграма.

Въпрос 1. При фотоелектричния ефект светлината въздейства върху металната повърхност чрез:

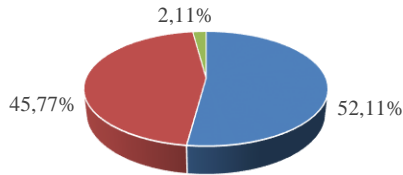
топлинна енергия	30	21,13 %
светлинна енергия	95	66,90 %
не мога да отговоря	17	11,97 %



Фигура 1. Процентно разпределение на отговорите на Въпрос 1.

Въпрос 2. При опита на Юнг пропускаме червена светлина през единия и зелена светлина през другия процеп. Ще наблюдаваме ли интерференция на двете вълни?

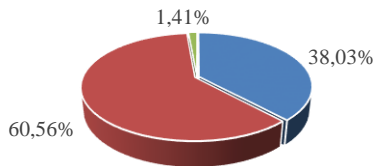
да	74	52,11 %
не	65	45,77 %
не мога да отговоря	3	2,11 %



Фигура 2. Процентно разпределение на отговорите на Въпрос 2.

Въпрос 3. Възможен ли е електронен преход в атома на водород между първа и втора стационарни орбити, ако в снопа светлина няма фотони с енергия $h\nu = E_2 - E_1$, където E_2 и E_1 са енергиите съответно на втора и първа стационарни орбити?

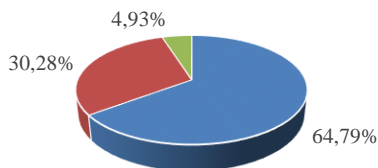
да	54	38,03 %
не	86	60,56 %
не мога да отговоря	2	1,41 %



Фигура 3. Процентно разпределение на отговорите на Въпрос 3.

Въпрос 4. При осветяване на CD върху повърхността му наблюдаваме спектър на светлината. На кое явление се дължи той?

дифракция	92	64,79 %
дисперсия	43	30,28 %
не мога да отговоря	7	4,93 %



Фигура 4. Процентно разпределение на отговорите на Въпрос 4.

7. Изводи

От разпределението на отговорите на Въпрос 1 (Фиг. 1) се вижда, че 66,90 % са отговорили правилно, а 21,13 % от участващите в проучването вярват, че само топлинната енергия може да се трансформира в кинетична и потенциална. Повечето ученици не могат да обяснят фотоефекта с квантовия модел на светлината. Липсва разбиране за това, че светлината има енергия и тя има водещо значение при процесите на отделяне на електрони от метал при осветяване.

За да се компенсира тази празнота в учениковите знания се препоръчва по-добро онагледяване. Доказана е ефективността на използването на симулации при преподаване на фотоефекта, имащ ключова роля за изграждане на квантовия модел на светлината.

От Фиг. 2 се вижда, че не малък брой ученици (52,11 %), не знаят и не разбират смисъла на опита на Юнг, който е основно доказателство за вълновата природа на светлината. Учениците не винаги знаят и ползват термина „монохроматична светлина“, но дори когато говорим за светлина с определен цвят, те не разбират смисъла на опита, нито явлението интерференция и не го свързват с вълновата природа на светлината. За преодоляване на това затруднение е необходимо допълнително обяснение и онагледяване на процеса на наслагване на светлинни вълни в пространството и разбирането, че това е невъзможно ако вълните са с различна дължина.

От разпределението на отговорите на Въпрос 3 (виж Фиг. 3) се вижда, че повечето ученици имат верни представи за квантовите преходи, макар, че не е малък процентът на тези, които са отговорили грешно. Успокояващото е, че почти 98 % имат мнение и уверено правят избор на отговор. Тревожното е, че почти една трета от тях имат грешни представи за квантовите преходи. За концептуална промяна и коригиране на тази погрешна представа е необходимо решаване на количествени задачи.

Въпрос 4 проверява разбирането на учениците за механизмите на получаване на дисперсионен и дифракционен спектър, наблюдавани при вълновите явления дисперсия и дифракция на светлината. Тези явления не се изучават последо-

вателно. При разглеждане на дифракционен спектър може отново да се актуализират знанията за дисперсия на светлината и да се анализира природата на двата спектъра: дисперсионният спектър се формира при пречупване, а дифракционният – при интерференция на светлината.

8. Заключение

Изучаването на елементи от квантовата физика в гимназиалния курс е от съществено значение за формиране на научен миросглед на учениците, както и за познаване принципите на действие на устройства и технологии, използвани в ежедневието като лазери, слънчеви клетки, микрочипове.

Грешните представи, които учениците изграждат при обучението си са твърде устойчиви, трудно се променят, при което учениците се лишават от истинско познание.

Погрешните представи изкривяват природонаучния светоглед на учениците и ги лишават от възможност да взимат информирани решения.

Трудността при изучаване на квантови явления е призната не само в литературата, но и от практикуващите учители. Познаването на някои типични затруднения и погрешни схващания, които учениците може да изградят би направило учебния процес по-целенасочен и ефективен.

Необходимо е да се прави подбор на методи, с които да се засили интересът на учениците към съвременните технологии, в това число и квантовите. По този начин учениците ще имат мотивацията да потърсят бъдеща реализация в тази технологична област, ще могат да обясняват съвременния свят и да имат научно отношение към него.

Литература

- [1] М. Максимов, И. Димитрова, Физика и астрономия – учебник за 10 клас, „БУЛВЕСТ 2000“ (2024).
- [2] Swati J. Patil, Rajendra L. Chavan and V. S. Khandagale, Aarhat Multidisciplinary Intern. Educ. Res. J. 8 (Special issue – 2), 466 (2019).
- [3] М. Максимов, Г. Русева, Физика и астрономия – учебник за 7 клас, „БУЛВЕСТ 2000“ (2018).

Графично моделиране при изучаване на фотоелектричен ефект в средното училище

Христина Петрова

Физико-технологичен факултет, ПУ „Паисий Хилендарски“, гр. Пловдив

Абстракт: Графичното моделиране е важен компонент на учебно-познавателната дейност. Системното и целенасоченото му прилагане в обучението по физика съдейства за формиране на трайни и задълбочени знания, а също и графични умения у учениците. Това е продиктувано от неговите преимущества: нагледност, обективност, универсалност, достъпност, акцентира се върху най-важното и същественото, предават се ясни структури на съответни познавателни структури, стимулира се зрителната памет и се развива наблюдателността. Графичните модели са достъпни за учениците от различна училищна възраст. Графичното представяне е по-компактно от словесното изложение. Използва се при изследване на физични процеси, физични закономерности и явления.

Фотоелектричният ефект е фундаментално физично явление. Неговата същност и закономерностите, които го описват могат да бъдат разбрани и добре осмислени от учениците с помощта на графично моделиране.

Предлагаме методически подход, основан на използване на графично моделиране и съответен физичен анализ на величините и закономерностите при фотоелектричния ефект. Това предполага формиране на качествени знания и от друга страна улеснява учениците при решаване на конкретни физични задачи, свързани с фотоелектричния ефект.

Акцентираме и на прилагане на образователни компютърни симулации като мощни визуални средства. В този смисъл те са много важен и полезен дидактически материал. Разгледана е възможността за изследване на явленията фотоелектричен ефект с помощта на PhET симулация <https://phet.colorado.edu>

Тя възпроизвежда класическия експеримент за фотоелектричния ефект. Учениците могат да изследват фотоелектричния ефект, като променят дължината на вълната, интензитета на светлината, вида на метала, облъчван със светлина. На тази основа те могат да представят графично основните закономерности при фотоелектричния ефект и да ги анализират.

Прилагането на този подход осигурява много добра нагледност на явленията фотоелектричен ефект и разбиране на неговата физична същност от учениците.

Въведение

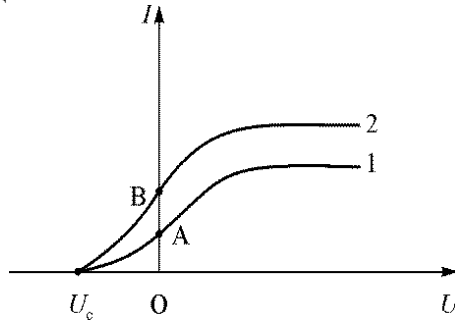
Графичното моделиране в обучението по физика е метод, при който се използват графични модели на физични обекти, физични закономерности, физични процеси и физични явления, които представят техни определени елементи, свойства, отношения и опериране с тях.

Графичното моделиране е важен компонент на учебно-познавателната дейност. То е нагледно, достъпно, информативно. Това определя неговата значимост за формиране на качествени знания и развитие на графичните умения на учениците в обучението и в частност в обучението по физика [1-3].

Интересът към проблематиката на графичното моделиране в обучението по физика се свързва с многофункционалната му изява. Тя включва: съчетаване на графично моделиране и физическия учебен експеримент [4, 5], графичното моделиране като метод за изследване на природни явления [6], графична интерполация и екстраполация, графично моделиране при решаване на физични задачи [7], формиране на основни физични понятия [8, 9], осъществяване на междупредметна връзка физика–математика [10].

Прилагане на графично моделиране при изучаване на основните закономерности на фотоэффекта

Законите на фотоэффекта са установени чрез експерименти с вакуумна фотоклетка. Първият закон на фотоэффекта акцентира на това, че при осветяване на фотокатода със светлина с определена дължина на вълната, токът на насищане е пропорционален на интензитета на монохроматичната светлина. С цел по-задълбочено осмисляне на тази закономерност, на учениците може да се предложи графиката на **Фиг. 1**, като се направи съответния физичен анализ. Той може да бъде представен по следния начин.



Фиг. 1 Волт-амперна характеристика на вакуумна фотоклетка.

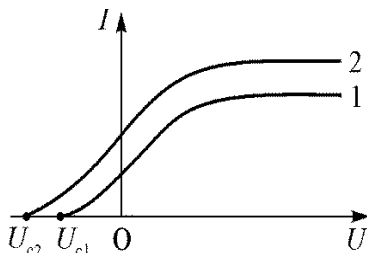
На **Фиг. 1** е показана зависимостта на фототока от напрежението за фотоклетка при по-малък и по-голям интензитет на светлината при постоянна честота. Стойността на спирачното напрежение е една и съща за двата интензитета. Спирачното напрежение не зависи от интензитета на светлината, т. е. максималната енергия на фотоелектроните е постоянна.

Точките А и В показват, че ток тече и когато напрежението е равно на нула, поради кинетичната енергия на електроните. Фотоелектроните излизат от катода с начална енергия. Токът се дължи на електроните, които са насочени към анода. Ако на анода се подаде отрицателно напрежение спрямо катода и постепенно се увеличава, токът намалява до нула плавно, постепенно. Това означава, че фотоелектроните излизат с различна енергия от катода. При напрежение, равно на спирачното напрежение, фототокът става равен на нула, т. е. токът спира, когато и най-бързите електрони бъдат върнати от полето. Ако на катода се подаде положително напрежение, токът постепенно нараства за сметка на електроните, които първоначално не са насочени към анода.

Хоризонталният участък на линиите 1 и 2 съответства на тока на насищане.

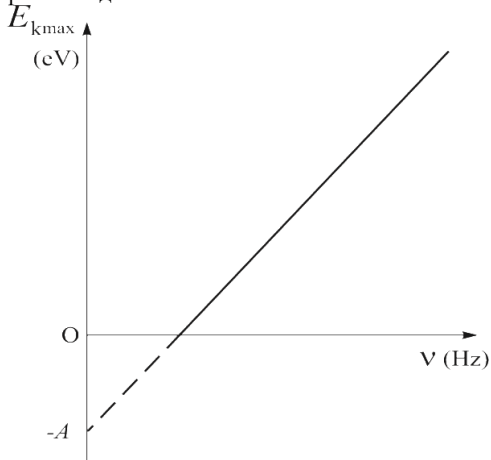
При определено напрежение всички електрони, отделени от повърхността на катодата достигат анода. Броят на избитите електрони е пропорционален на броя на фотоните. Токът на насищане зависи само от интензитета на падащата светлина. Токът е по-голям, когато интензитетът е по-голям, което означава, че повече фотоелектрони са освободени от повърхността на метала. Линия 1 съответства на по-малкия интензитет на светлината.

С учениците може да се коментира и графиката на **Фиг. 2**. Тя представлява волт-амперна характеристика за различни честоти, респективно дължини на вълната (напр. за червена и синя светлина). Честотата на светлината нараства от линия 1 към линия 2. Спирачното напрежение е по-голямо за по-голямата честота.



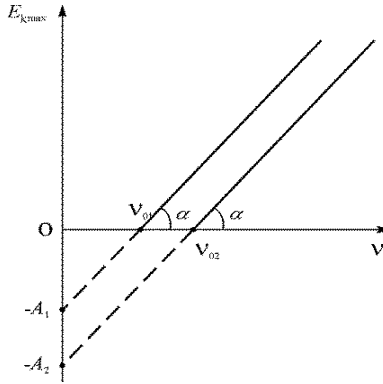
Фиг. 2 Волт-амперни характеристики на фотоклетка за две различни честоти.

Вторият закон на фотоэффекта също може да се представи графично (**Фиг. 3**). Акцентира се на физическия смисъл на пресечната точка на графиката с абсцисната ос и на пресечната точка на продължението на графиката с ординатната ос. Пресечната точка на графиката с абсцисната ос съответства на граничната честота, под която фотоэффект не се наблюдава. Отрязъкът от оста на енергията определя отделителната работа. По този начин учениците усвояват две важни величини, характеризиращи фотоэффекта – червена граница на фотоэффекта и отделителна работа за веществото на фотокатода.



Фиг. 3 Зависимост на максималната кинетичната енергия на фотоелектроните от честотата.

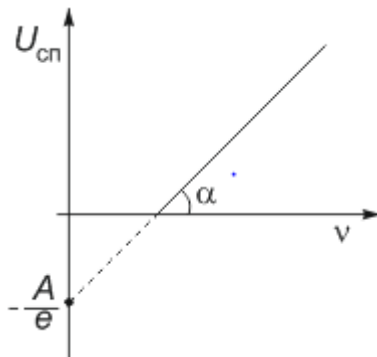
Учителят може да представи графично и да анализира изменението на максималната кинетична енергия на фотоелектроните с честотата за два различни метала (Фиг. 4).



Фиг. 4 Зависимост на максималната кинетична енергия на фотоелектроните от честотата на светлината за два различни метала.

Зависимостта на спирачното напрежение от честотата е линейна. Графиката е права линия (Фиг. 5). Тя представя третия закон на фотоефекта. Акцентираща се на физическия смисъл на пресечната точка на графиката с абсцисната ос и на пресечната точка на продължението на графиката с ординатната ос. Пресечната точка на графиката с абсцисната ос съответства на граничната честота ν_{ip} . Тя се определя при $U_{cп} = 0$ или $\nu_{ip} = \frac{A}{h}$. При честоти под граничната честота, не се отделят електрони.

Когато $\nu = 0$, $U_{cп} = -\frac{A}{e}$. Следователно отрязъкът от оста на спирачното напрежение съответства на отношението $\frac{A}{e}$ със знак минус.



Фиг. 5 Зависимост на спирачното напрежение от честотата на лъчението.

Графиката на **Фиг. 5** дава възможност да се определи и константата на Планк по тангенса на ъгъла α (α е ъгълът между линията на графиката и абсцисната ос).

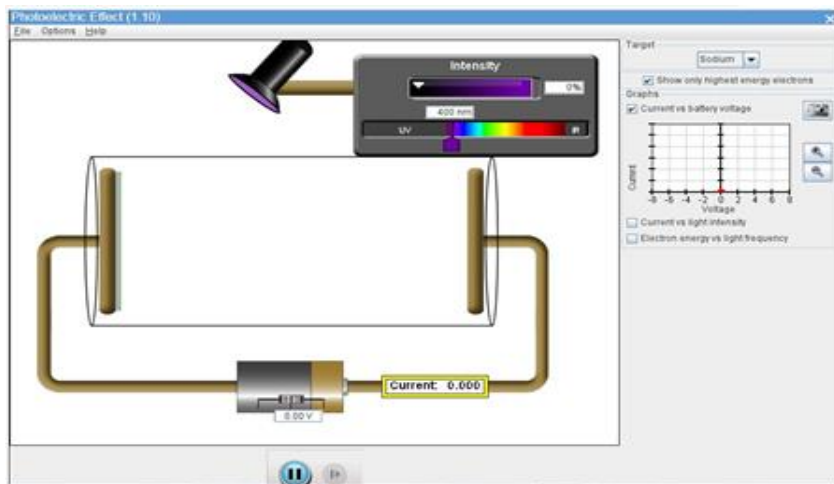
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_{\text{сн}}}{\nu} = \frac{h}{e} = \text{const}, \text{ където } e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (1)$$

Следователно

$$h = e \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

За установяване на линейната зависимост между спирачното напрежение и честотата и за определяне константата на Планк е необходимо да се построи графиката $U_{\text{сн}} = f(\nu)$ въз основа на експериментални резултати за няколко различни честоти на падащото лъчение [11].

С цел формиране на знания за фотоэффекта и основните закономерности при него учителят може да използва и образователни симулации phet.colorado.edu. Те са много ценен дидактически материал за обучението по физика. При прилагането им учениците се включват в активна познавателна дейност. Те изследват причинно-следствени връзки както качествено, така и количествено.



Фиг. 6 Симулация за изследване на основните закономерности на фотоэффекта.

Симулацията за фотоэффекта на **Фиг. 6** възпроизвежда класическия експеримент и предоставя на учениците възможност за изследване на явлениято чрез промяна на дължината на вълната, респективно честотата, интензитета на светлината, вида на метала, облъчван със светлина. Учениците представят експерименталните резултати таблично. Симулацията предлага възможност и за графично представяне на основните закономерности на фотоэффекта – зависимост на фототока от напрежението, фототока като функция на интензитета на светлината, зависимост на максималната кинетична енергия на фотоелектроните от честотата. Учениците построяват и анализират съответните физични графики.

Заклучение

Графичното моделиране при изучаване на фотоефекта осигурява много добра нагледност на това важно физично явление. От друга страна графичното представяне на основните закономерности при фотоефекта и съответния физичен анализ съдействат за по-задълбоченото им разбиране и осмисляне, както и на физичния смисъл на величините, които участват в тях.

При прилагане на метода графично моделиране се постигат основни образователни цели като формиране на трайни и задълбочени знания за фотоефекта и закономерностите, свързани с него, а също и развитие на графичните умения на учениците. В резултат се повишава качеството на обучението по физика.

Литература

- [1] Alberto Stefanel, *Graph in Physics Education: From representation to conceptual understanding* In book: *Mathematics in Physics Education*, University of Udine (2019).
- [2] E. J. Wenham et al, *Physics: Concepts and Models*, Addison Wesley (1972).
- [3] Shalini Wadhwa, *Modern methods of teaching Physics*, New Delhi: Sarup and sons (2001).
- [4] John Feulner, Graphing with computers in the Physics lab, *The Physics Teacher*, Vol. 29, Issue 2, pp. 126-127 (1991).
- [5] D. Ivanov, Experimental determination of absolute zero temperature, *The Physics teacher*, Vol. 41, Issue 3, pp. 172-175 (2003).
- [6] I. Salnik, The graphical method of research natural phenomena in the school physics course: Dissertation National Pedagogical University M. P. Dragomanov, Kiev (2000).
- [7] D. M. Desbien, Graph as problem – solving tool in 1–d kinematics. *The Physics teacher*, Vol. 46, Issue 8, pp. 483-485, (2008).
- [8] J. C. Moore, J. C. Baker, L. L. Franzel, D. McMahan and D. Songer, Graphical method for determining projectile trajectory. *The Physics Teacher*, Vol. 48, Issue 9, pp. 612-613 (2010).
- [9] Marvin L. De Jong: Graphing electric potential. *The Physics Teacher*, Vol. 31, Issue 5, pp. 270-275 (1993).
- [10] D. Boykina, V. Milloushev, R. Mavrova, Some applications of the graphic method. In: “*Research and Education in Mathematics, Informatics and their Applications*” *Proceedings of the Anniversary International Conference REMIA*, (2010).
- [11] Д. Иванов, *Лабораторни работи по физика за средното училище, част четвърта, Оптика и атомна физика*, София, (1992).

Фотоефектът: преобладаващи погрешни представи (мисконцепции) и дизайн на концептуална карта

Екатерина Писанова

Катедра „Образователни технологии“, Физико-технологичен факултет, ПУ
„Паисий Хилендарски“, ул. „Цар Асен“ 24, 4000 Пловдив

Абстракт: Фотоефектът е сред основните явления, изследването на които е довело до създаване на квантовия модел на светлината. Изучаването му у нас в средното училище (в 10. клас на задължителната подготовка по физика и астрономия и в 12. клас – на профилираната) и в бакалавърската степен на инженерните специалности и на тези по природни науки има решаваща роля за формирането у учащите на съвременната представа за светлината като система от фотони. Изследвания върху разбирането за фотоефекта се провеждат в редица страни по света и констатациите са, че голяма част от учениците и студентите имат погрешни представи (мисконцепции) относно основните аспекти на явлениято. В статията са представени типични погрешни представи за фотоефекта, анализирани са причините за тях и е предложен дизайн на концептуална карта за основните аспекти на явлениято. Дадени са някои идеи за използване на концептуалната карта както за обучение, така и като диагностичен инструмент за идентифициране на погрешните представи на учащи от различни образователни равнища.

1. Въведение

Външният фотоефект е явление, което се състои в отделяне на електрони (фотоелектрони) от метална повърхност под действието на електромагнитно лъчение с достатъчно висока честота. Той е открит от Хайнрих Херц през 1887 г., а законът с който се обяснява е изведен от Алберт Айнщайн през 1905 г.:

$$h\nu = A(E_k)_{\max}, \quad (1)$$

където $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34}$ J.s е константата на Планк, ν – честота на лъчението, A – отделителната работа за дадения метал и $(E_k)_{\max}$ – максималната кинетична енергия на фотоелектрона.

Ключовите експериментални факти за фотоефекта са следните:

- (1) Емисия на фотоелектрони не се наблюдава, ако $h\nu < A$. Минималната честота, ν_{\min} , за дадения метал, при която все още е възможен фотоефект, се определя от равенството $h\nu_{\min} = A$;
- (2) Ако $\nu > \nu_{\min}$, броят на отделените за единица време фотоелектрони е пропорционален на интензитета на лъчението;
- (3) Максималната кинетична енергия на фотоелектроните зависи както от честотата, ν , на падащото електромагнитно лъчение, така и от самия метал, характеризирани с отделителната работа A ;

- (4) Когато всички електрони, отделени от повърхността на катода достигнат анода, при увеличаване на напрежението токът остава постоянен – ток на насищане. Отрицателното напрежение, при което фототокът става равен на нула се нарича спиращо напрежение.

Фотоефектът обикновено е уводна тема в квантовата физика, защото има историческо значение за развитието на представата за светлината и играе ключова роля за изграждане на концепцията за фотона [1]. Освен в университетското обучение по природни науки и инженерство, темата е включена в учебните програми по природни науки на средните училища по целия свят. Разбирането на закономерностите при фотоефекта се явява предпоставка за изучаване на взаимодействието на електромагнитното лъчение с веществото, атомните спектри, лазерите и др.

За съжаление, редица публикации в световната педагогическа литература показват, че повечето учещи от различни образователни равнища имат сериозни затруднения в разбирането на основните аспекти на фотоефекта [1 – 8].

Погрешните представи (мисконцепции) са вярвания, които са неточни по отношение на общоприетите от научната общност и разкриват неразпознаване на съществуващи корелации [9]. Изследванията на погрешни представи включват: а) разработване на диагностични инструменти (най-често това са многостепенни диагностични тестове); б) идентифициране на погрешни представи; в) анализ на причините за погрешни представи и г) разработване на учебни материали и методи на преподаване за подобряване на разбирането.

Концептуалното картографиране дава възможност за организиране на знанията от дадена област в тяхната йерархия и свързаност. В обучението по физика, то може да се използва като многофункционално средство – както като обучителен ресурс, така и като инструмент за идентифициране на погрешни представи [10].

В статията са представени типични погрешни представи за фотоефекта, анализирани са причините за тях и е предложен дизайн на концептуална карта за основните аспекти на явленияето. Дадени са някои идеи за използване на концептуалната карта както за насърчаване на активно учене, така и като инструмент за проверка на знанията.

2. Преобладаващи погрешни представи относно фотоефекта и причини

Изследвания върху разбирането на основните аспекти на фотоефекта, проведени през последните няколко десетилетия в различни страни по света показват, че повечето учещи от различни образователни равнища изпитват затруднения при интерпретирането (прогнозирането) на експериментални резултати и свързаното им с фотонния модел на светлината [1 – 8].

Чрез прилагане на четиристепенен диагностичен тест, най-висок процент погрешни схващания на индонезийски студенти е наблюдаван при разбиране на връзките между: (1) енергията на фотоните и кинетичната енергия на фотоелектроните и (2) интензитета на светлината и броя на фотоелектроните [5].

Чрез използването на тристепенен диагностичен тест с множествен избор, са идентифицирани следните пет често срещани погрешни представи на турски гимназисти (от 11. клас) относно фотоефекта: (1) увеличаването на интензитета ще осигури на фотона достатъчно енергия, за да освободи електрони; (2) фотоефектът е резултат от йонизацията на атомите при взаимодействие със светлината; (3) свет-

линен лъч, чиито фотони имат по-малки енергии от отделителната работа, би освободил електрони с помощта на източник на напрежение; (4) броят на фотоелектроните зависи от енергията на фотона и (5) фотонът има кинетична енергия и тя зависи от цвета на светлината [6].

При проучване, проведено чрез анализ на съдържанието на отговори на отворени въпроси, е установено, че голяма част от турските студенти по физика изпитват затруднения при интерпретацията на волт-амперната характеристика на фотоклетка [4].

Резултати от изследвания върху разбирането на учащи от различни страни по света относно фотоэффекта могат да се видят в обзора [3].

Някои причини за погрешните представи на учащите относно фотоэффекта са: а) абстрактността на явлениято; б) математическото уравнение (1), съдържащо няколко параметъра, на което се базира обяснението на основните закономерности, наблюдавани при това явление; в) преподаването на темата само чрез описване на експериментите, т. е. без извършване на лабораторни опити; г) затрудненията на учащите по други теми, като електромагнетизъм, електрически вериги или вълни; д) липсата на учебни материали, които да визуализират абстрактния и многопараметричен характер на явлениято.

Ефективността на използването на компютърни симулации в преподаването на фотоелектрическия ефект за намаляване на погрешните представи на учащите е доказана [11]. Докато взаимодействат със симулацията, учащите активно конструират знанията си, което е в съответствие с конструктивистката теория за ученето [12].

Концептуалното картографиране също е базирано на конструктивизма. То е метод на активно обучение, защото изисква от учащите да синтезират информация, да организират концепции в йерархични структури и да правят връзки между тях.

Тук предлагаме визуално представяне на основните понятия, свързани с фотоэффекта и връзките между тях, под формата на концептуална карта (виж **Фиг. 1**), методологията за създаване на която е описана по-долу.

3. Методология за съставяне на концептуалната карта

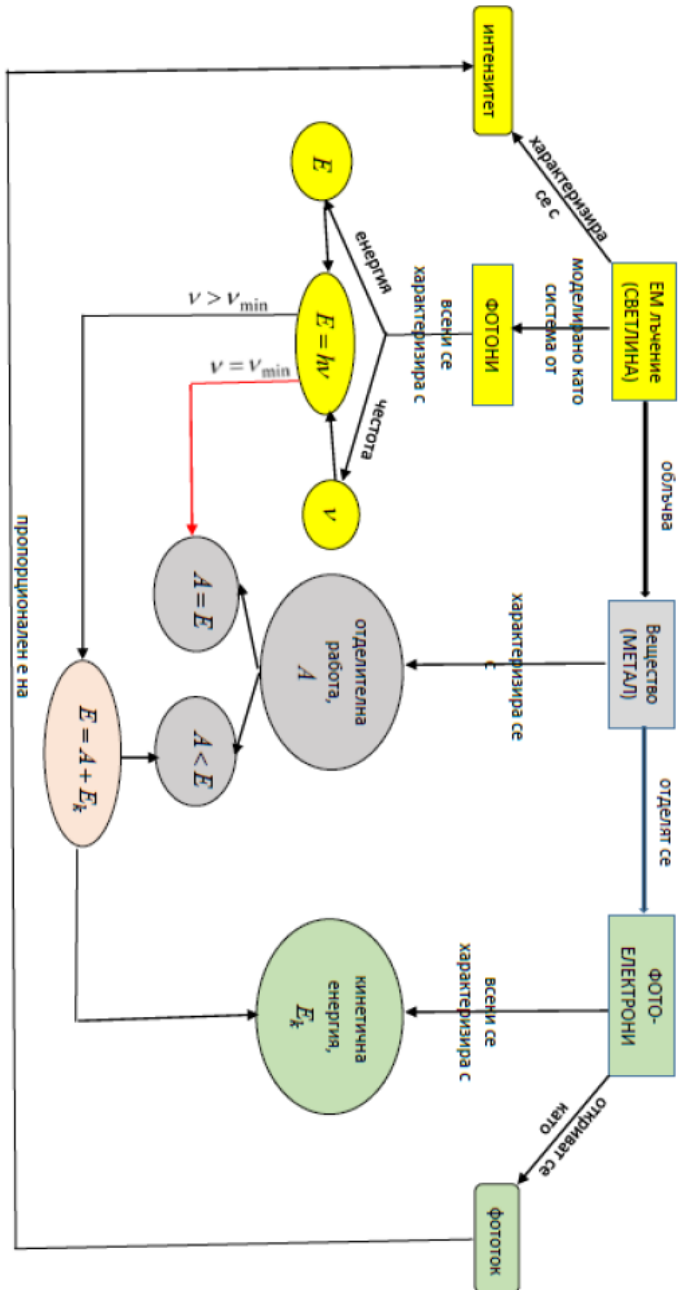
Разбирането на закономерностите при фотоэффекта изисква правилно да се определят факторите, влияещи върху явлениято и да се прогнозира резултатите, когато различни фактори се променят.

За визуализиране на структурата на знанията, свързани с основните аспекти на явлениято, предлагаме концептуална карта, съставянето на която може да бъде описано в следните пет стъпки:

Стъпка 1: Формулиране на основния въпрос „Какво представлява фотоэффекта?“;

Стъпка 2: Съставяне на списък, наречен „паркинг“, съдържащ трите физични обекта, участващи в явлениято (електромагнитно лъчение, вещество (метал) и фотоелектрони) и характеризиращите ги физични величини. Някои понятия може да останат на „паркинга“, след като картата е конструирана, ако не се намери връзка между тях и понятията от картата;

Стъпка 3: Подреждане на понятията от списъка за всеки физичен обект в йерархична структура. Тук физичните обекти са записани в правоъгълници,



Фиг. 1. Диаграм на концептуална карта за основните аспекти на фотоэффекта

а характеризиращите ги величини – в елипси. Изградени са три паралелни йерархични структури в три различни цвята (жълт, сив и зелен), съответстващи на електромагнитното лъчение, веществото и фотоелектроните (виж **Фиг. 1**). Това са възлите на концептуалната карта;

Стъпка 4: Идентифициране на връзки между възлите на концептуалната карта (стрелките на **Фиг. 1**);

Стъпка 5: Поставяне на най-точните свързващи думи, които описват как понятията са свързани помежду си и записване на релации, изразени с уравнения. Уравнението на Айнщайн за фотоэффекта (1) свързва величини, характеризиращи трите физични обекта, участващи в явлението.

Към предложената концептуална карта, **Фиг. 1**, могат да се добавят още понятия и нови връзки, в зависимост от целите и образователното равнище на учащите.

4. Някои идеи за използване на концептуалната карта

В много случаи преподаването на фотоэффекта чрез описване на експериментите не грабва вниманието на учащите. Предложената концептуална карта за основните аспекти на фотоэффекта (**Фиг. 1**) визуализира структурата на знанието по темата (факторите, влияещи върху фотоэффекта и връзките между тях). Това би ангажирало вниманието на учащите, а изобразяването на възлите на концептуалната карта с различни цветове и различни фигури ще им помогне да запомнят трайно информацията. Освен това, използването на концептуалната карта (**Фиг. 1**) ще съкрати времето за научаване на основните закономерности при фотоэффекта. При преподаване на темата, концептуалната карта може да бъде съставена под ръководството на учителя, следвайки стъпките, описани по-горе. Друг вариант е учащите да бъдат помолени да създадат текст, базиран на нея. Това би им помогнало да организират знанията си за фотоэффекта по-лесно.

За изследване на разбирането на учащите относно основните аспекти на фотоэффекта, концептуалната карта (**Фиг. 1**) може да бъде използвана по няколко начина: 1) На учащите се дават понятията от паркинга (Стъпка 2), а те трябва да изградят трите йерархични структури (Стъпка 3), да свържат понятията (Стъпка 4) и да попълнят свързващите думи и уравнения (Стъпка 5); 2) На учащите се предоставя концептуалната картата (**Фиг. 1**) с някои липсващи понятия във възлите и някои липсващи свързващи думи, а те трябва да ги попълнят; 3) На учащите се предоставя концептуалната карта (**Фиг. 1**) с вградени грешки, т. е. с разместени понятия във възлите и/или свързващи думи, а задачата им е да намерят грешките.

Важно е да се отбележи, че при прилагане на концептуалната карта като диагностичен инструмент за проверка на знанията и идентифициране на погрешни представи относно фотоэффекта не трябва да се използват различни цветове и различни фигури за възлите ѝ.

5. Заключение

Въз основа на изследвания, проведени в различни страни по света през последните две десетилетия, в статията са представени преобладаващи погрешни представи относно фотоэффекта на учащи от различни образователни равнища и са анализирани причините за тях. Предложен е дизайн на концептуална карта за основните аспекти на явлението и са дадени някои идеи за използването ѝ както при преподаване на темата, така и като диагностичен инструмент за идентифициране

на погрешни представи.

Използването на концептуалното картографиране в обучението позволява на учачите по-лесно да организират знанията си, а на преподавателите да работят на ниво реорганизация на знанията им. То не е свързано с предварително обучение, докато използването на компютърни симулации, ефективността на които в преподаването на фотоефекта е доказана (виж [11] и цитираната там литература), изисква такова обучение.

Литература

- [1] S. B. McKagan, W. Handley, K. K. Perkins and C. E. Wieman, A research-based curriculum for teaching the photoelectric effect, *American Journal of Physics*, Vol. 77, Issue 1, pp. 87-94 (2009).
- [2] Ö. Özcan, Investigating students' mental models about the nature of light in different contexts, *European Journal of Physics*, Vol. 36, art. no. 065042, pp. 1-16 (2015).
- [3] K. Krijtenburg-Lewerissa, H. J. Pol, A. Brinkman and W. R. van Joolingen, Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical Review Physics Education Research*, Vol. 13, art. no. 010109, pp. 1-21 (2017).
- [4] Ö. Özcan and S. Çalişkan, Pre-Service Physics Teachers' Understanding of the Photoelectric Effect: A Qualitative Study, *Mediterranean Journal of Educational Research*, Issue 11, pp. 55-66 (2012).
- [5] Y. Pasaribu, L. Sari and W. Sinaga, Identification of Student Misconceptions on Photoelectric Effect Materials Using Four-Tier Diagnostic Test, *Golden Ratio of Data in Summary*, Vol. 5, Issue 1, pp. 22-27 (2025).
- [6] E. Taşlıdere, Development and use of a three-tier diagnostic test to assess high school students' misconceptions about the photoelectric effect, *Research in Science & Technological Education*, Vol. 34, Issue 2, pp. 164-186 (2016).
- [7] A. Yildiz and E. Büyükkasap, The Level of Understanding of the Photoelectric Phenomenon in Prospective Teachers and the Effects of "Writing with Learning" on their Success Rates, *Educational Sciences: Theory & Practice*, Vol. 11, Issue 4, pp. 2268-2274 (2011).
- [8] Ch. J. De Leone and Gr. Oberem, Toward Understanding Student Conceptions of the Photoelectric Effect, *AIP Conf. Proc.*, Vol. 720, pp. 85-88 (2004).
- [9] S. Bayraktar, Misconceptions of Turkish Pre-Service Teachers about Force and Motion, *International Journal of Science and Mathematics Education*, Vol. 7, pp. 273-291 (2009).
- [10] P. Utami, N. Suprpto and H. Hidaayatullaah, Exploring Research Trends of Physics Concept Mapping in Physics Learning: Bibliometric Analysis, *Studies in Philosophy of Science and Education*, Vol. 3, Issue 2, pp. 58-69 (2022).
- [11] M. Aurora Favero Reis, M. Geller, and A. Serrano, Computer simulations for the teaching of photoelectric effect, *RENOTE, Porto Alegre*, Vol. 19, Issue 1, pp. 298-308 (2021).
- [12] R. Duit and D. Treagust, Learning in science: from behaviorism towards social constructivism and beyond, in B. J. Fraser and K. G. Tobin (eds.), *International handbook of science education*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers (1998).

Физиката в приказките

Пенка Василева
СУ „Хаджи Мина Пашов“, гр. Сливен

Абстракт: Всяко дете расте в свой собствен свят. Този свят е изпълнен с чудеса, фантастични и митични същества, магии, смели герои, добри вълшебници, добро и зло. За децата приказките са мост между знанието и въображението, урок за живота и действителността, уютно скривалище от реалността. Затова е важно да не затваряме приказките в кабинетите на началните класове, да не ги крием в часовете по литература или чужди езици, а да ги използваме и в часовете по физика, биология и химия.

Искате ли да се потопите в магията на различни трансформации, в „чудесата“ на физическите явления, така умело описани в приказките? Сигурна съм, че малко хора са се замисляли колко тясно са свързани приказките с физиката.

Приказките са ценен материал за изучаване на този предмет; героите им живеят и действат на Земята, където се случват различни физични явления и „работят“ физичните закони. Използването на фрагменти от приказки, описващи природни явления в уроците, може да създаде положителен емоционален фон за децата, който е толкова необходим за успеха на образователните дейности. Използването на текстове от приказки в клас също е важно за развиване на мотивация за изучаване на физика. Първо, приказките са близки и разбираеми. Второ, приказните герои са добри наблюдатели, бързи и познаващи законите на природата и често триумфират, докато тези, които не притежават тези качества, търпят поражение; Това убеждава учениците в полезността на знанията.

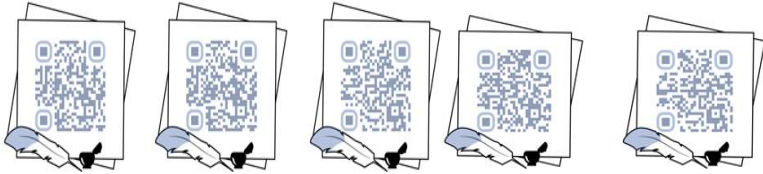
Само на пръв поглед физиката и народните приказки изглеждат като две противоположности. Физиката е точна наука, а приказките са устно (писмено) предавани разкази, изпълнени с мистерии, чудеса и фантастични събития. Ако разгледаме приказките през погледа на физиката, ще открием много физични понятия, явления и закони, макар и преувеличени и интерпретирани по магичен начин.

„Ако искате децата Ви да са интелигентни, четете им приказки. Ако искате да бъдат по-интелигентни, четете им повече приказки“.
Алберт Айнщайн

Изложение:

Физиката е наука, описваща законите, на които се подчинява нашият свят – от всяка една частичка на микросвета до всеки обект в макросвета. Когато чуят за физика, учениците си представят нещо сложно, непонятно, свързано с трудни формули, лабораторни упражнения, сложни и дълги изчисления. Но както казваме на учениците, физиката е навсякъде около нас. Физиката съществува и в един различен и неочакван свят – света на приказките. Няма дете по света, което да не обича да чете приказки. Да се потопи в света на чудеса, магии, фантастични случки и невъзможни явления.

На пръв поглед физиката и приказките са като два различни полюса. Физиката е точна наука, основава се на хипотези, експерименти и закони, а приказките са устно или писмено предавани разкази, изпълнени с чудеса. Ако погледнем на приказките през погледа на физиката, ако пропуснем съдържанието им през призмата на физиката, то тогава ще открием безброй много примери за физични понятия, принципи и закони (макар и често интерпретирани по мистичен начин). Използваме физиката в приказките като начин на обучение, за да направим ученето забавно и привлекателно приключение. Да намерим пресечната точка между магия и наука. Решихме да направим един различен час по физика. По-малките ученици (5, 6 и 7 кл.) имаха за задача сами да си изберат приказка. Да я прочетат и да намерят фрагмент, в който да открият – явление, процес, закон, свързани с физиката. Имаха срок две седмици да решат кой да четат, кой ще участва. Екип от 9. клас имаше задача да разпечата избраните приказки, да ги оформи като отделни документи и да ги представи чрез QR код. Раздадох ги на всички, които искаха да участват в специалния час „Физика в приказките“.



Учениците от 8. клас участваха в този час чрез прилагане на модела „обърнатата класна стая“. Те имаха за задача да си припомнят всички явления и процеси, които са изучили до този момент в час, и да научат за новите понятия и процеси, предвидени в учебната им програма.

С избраните фрагменти от приказките 10. клас трябваше да съставят лесни задачи и да предложат решения на тези задачи. Да направят и колажи от приказките.

Самата подготовка, четенето, QR кодовете, задачите и колажите бяха завършени за около пет седмици. Самият час „Физика в приказките“ се проведе след часовете, но не се побрахме в рамките на една урочна единица. Това беше невъзможно. Успяхме да съчетаем проектно-базираното обучение със STEM образованието. Всички ученици се включиха с желание – проучваха, анализираха, обобщаваха.

Учениците придобиха много знания – по-качествени, по-трайни и по-емоционални.

Учителите са автори, ръководители и ментори, а учениците са съавтори и активни участници. Учениците използват своето въображение за осъществяване на междупредметни връзки, придобиват умения за получаване на нови знания, участват във въображаеми експерименти.

Когато говорим за приказки хиляди въпроси възникват в детските главички: Как летят вълшебните килимчета? Как се телепортират героите? Как героят става невидим? Защо лодките не потъват? Как светят магическите лампи? Как се променя вълшебното огледало? Как говорят предметите? И още, и още ...

Физиката е не само наука за природата, тя е начин на мислене, връзка с реалния живот. Приказките не се подчиняват на физичните закони, но те са двигателят, който въвежда учениците в основите на:

- ✓ механиката – движение, сила, маса, закон за инерцията, втори принцип

- на Нютон, гравитация
 - ✓ плаваемост, закон на Архимед
 - ✓ енергия, работа, топлина – закони, топлинни явления
 - ✓ звук
 - ✓ електричество – електрични заряди, мълнии, бури ...
 - ✓ природни явления – въздушно налягане, метеорологични явления
 - ✓ аеродинамика – подемна сила, въздушно налягане
 - ✓ оптика – отражение, пречупване на светлината, принципи на зрението;
- А конкретните приказки, които четеха, обсъдиха и анализираха учениците

бяха:

Снежната кралица



Тримата братя и златната ябълка



Момче и вятър



- ❖ „Снежната кралица“ – топлина, промяна в агрегатните състояния на водата, замръзване, размразяване, загуба на топлина, топлопроводимост, температура, физични закони;
- ❖ „Тримата братя и златната ябълка“ – дъжд, буря, гръмотевици, кондензация, образуване на валежи, статично електричество; анализ на електричество и метеорологични явления; електрични заряди;
- ❖ „Момче и вятър“ – сили на въздушните течения, скорост на въздуха, физика на вятъра, налягане, движение на въздушни маси, съпротивление;

Трите прасенца



Лисица и заек



Болен здрав носи



- ❖ „Трите прасенца“ – къща от слама, дърво, механика на материали, физични състояния;
- ❖ „Лисица и заек“ – къща от лед, от брезови клонки, физични тела и материали, топлинни явления;
- ❖ „Болен здрав носи“ – замръзване, топлообмен, работа, енергия, сила, логика, ясни звезди – ясно небе, студено време;

Иван Царевич и сивият вълк



Дядо и ряпа

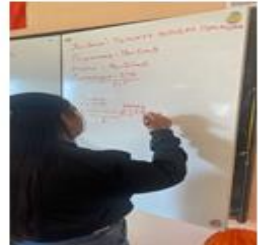


Принцесата и граховото зърно



- ❖ „Иван Царевич и сивият вълк“ – жар птица – силна светлина и топлина, природни (светлинни явления)
- ❖ „Дядо и ряпа“ – сили, гравитация, статично триене, обща теглителна сила;
- ❖ „Принцесата и граховото зърно“ – натиск, площ, налягане, сила, разпределение на силите върху различни повърхности;
- ❖ „Жабата пътешественичка“ – инерция, въздушно течение, летене, логика и глупост в едно;
- ❖ „Красавицата и звярът“ – светлина, душевна красота, сила;

Четенето на приказките беше самостоятелно и предварително. Всички ученици се запознаха с приказките, четеха и препрочитаха, докато открият това, което търсят. Разглеждаха приказките една по една. Търсеха явления, закони и физика в избраните фрагменти. Децата се радваха на колажите, въодушевено обсъждаха, даваха идеи, обобщаваха. Но ... когато дойде моментът за задачите, настъпи пълна тишина. Идеята на десетокласниците беше задачите да са забавни, по-лесни и интересни. Да се припомнят формули – закони и зависимости, чрез които да се достигне до верния отговор.



Заклучение:

Използването на приказките в образователния процес в клас е много важно за подрастващите. Насърчават се и се развиват концентрация, креативно мислене, умения за решаване на проблеми, комуникативни умения, наблюдателност, доброта, мотивация и знание. Можем да кажем, че приказките са универсално средство за учене и приобщаване. Те свързват физиката с живота. Активизира се познавателната активност на учениците, те „пътуват“ във времето заедно със своите приказни герои. Приказките са извор на мъдрост, културно наследство на всеки един народ. Те са различно, достъпно и увлекателно обяснение на физичните закони. Дават примери от механиката – сили, гравитация, още топлина, светлина, електричество, електродинамика – забавно обяснение на физичните закони.

Приказките са свобода, воля и устрем на въображението, докато ролята на физиката е да превръща това въображение в научно обяснение, в решение и доказателство. Приказките засягат сериозни и дълбоки теми, разглеждат човешките взаимоотношения. Те се простират извън границите на човешкия ум и са ключов елемент във възпитанието на децата. Чрез физиката можем да направим реален и дълбок анализ на фантастичните елементи в приказките и да ги свържем здраво със законите на природата, с реалния живот и действителността.

Приказките са един чудесен начин за хората да мечтаят и да рисуват бъдещето си така, както искат да се случи, но физиката е наука, която ни помага да „прегърнем“ всички тези мечти и да ги превърнем в реалност. Добавяме в часа и щипка вълшебство и обстановката в стаята става композиция от физика и магия.

Литература:

- [1] <https://prepodavame.bg/prikazka-po-vreme-na-chas-da/>
- [2] <https://megavselenia.bg/fizitsi-se-zabavlyavat-s-razoblichavane-na-prikazki-i-filmi/>
- [3] <http://www.litclub.bg/library/kritika/ilchevska/prop.html>
- [4] <https://diuu.bg/emag/13429/3/>
- [5] <https://chitanka.info/>

Разпределение на температурата в биологични тъкани под действието на лазерно лъчение – сравнение на математически модели

Александра Умленска¹, Вера Гледачева², Валери Славчев²

*¹СУ “Св. Климент Охридски”, факултет по Математика и информатика,
студент специалност Математика*

²Катедра по Медицинска физика и биофизика, Медицински университет Пловдив

Абстракт: Действието на лазерното лъчение върху биологичните тъкани се основава на квантовите свойства на атомите. Взаимодействието е комплексен процес, поради наличието на нееднородни структури в тялото. Това е свързано с абсорбцията на лъчението, водещо до повишаване на температура в облъчвания обем. Възниква пространствен температурен градиент, описващ пасивното пренасяне на енергията. Търсеното температурно разпределение в биологичните тъкани е значима характеристика при определяне на параметрите на лазерното лъчение, като за неговото оценяване са избрани няколко основни математически модела. Чрез тях се отчитат оптичните свойства, плътност на енергия, специфичния топлинен капацитет, еднородността и други характеристики на биологичните тъкани. В основата на сравнените математически модели е заложен биотоплинния модел, който разглежда връзката между основните характеристики на тъканта, проникването на лазерното лъчение и неговите основни параметри, за да се определи термичното им взаимодействие.

1. Оптични свойства на тъканите

Целта на съставянето на математически модели на разпределението на светлината в биологичните тъкани е да бъде оптимизирано приложението на лазера и да бъде нанесена минимална вреда на околните тъкани. Начинът, по който се разпределя топлината, се определя от няколко основни групи фактори и техните субфактори – термофизичните характеристики на тъканта, геометрията, протичащите метаболитни процеси, перфузията на кръвта и терморегулационните механизми.

Абсорбцията е процес на поглъщане, в случая представлява поглъщане на лазерната енергия. Разсейването е друга основна характеристика, при която се наблюдава промяна на посоката на разпространение на фотоните без промяна на тяхната енергия. Поради абсорбцията в тъканите се наблюдава топлинно преобразуване, характеризиращо се с повишаване на температурата. Разпределянето на тази топлина в тъканта се определя от скоростта и начина на разпространение на топлината, както и от периода на задържане на топлината от тъканта, преди тя да се разсее в околните тъкани.

Разпространението на лазерния сноп в тъканите е комплексен процес поради наличието на нееднородни структури и удобен метод за неговото представяне са флуковите модели. Те представляват метод за анализ на светлинното разпре-

деление и разсейване в слоеве, съставени от различна биологична тъкан, който използва насочени снопове, за охарактеризиране на фотонния пренос в различните среди.

2. Уравнение на Фурие за топлопроводимост

При хомогенна среда разпределението на топлината в тъканта се подчинява на закона на Фурие за топлопроводимостта, който гласи, че топлинният поток в даден обем, е пропорционален на температурния градиент: $q(r,t) = -k\nabla T(r,t)$ [1], където q е топлинният флукс вектор, k е коефициентът на топлопроводимост, а $\nabla T = \left(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z} \right)$ в Декартова координатна система и е перпендикулярен на изотермичните линии. k е материална константа, която зависи от микроструктурата, температурата, плътността и други фактори и $k = k_0(1 + \alpha T)$, където k_0 е топлопроводимостта при 0°C , а α е експериментално определена константа, зависеща от вида на веществото. За едномерен случай законът на Фурие има вида:

$$q = -k(dT/dx) \quad (1)$$

Уравнението на Фурие е подходящо за основни изчисления, съставяне на прости модели на разпределение на топлината в тъканта и в някои случаи на бавно променяща се температура.

3. Биотоплинно уравнение на Пенес

Биотоплинното уравнение на Пенес се използва за изследване на температурата в различни точки на тъканта и промяната ѝ след определени периоди от време, t . То се базира на класическото уравнение на Фурие, като взима предвид топлината генерирана от източника S , която зависи от метаболитната активност на биологичната система, S_m и перфузията, S_p . Според това уравнение:

$$\rho c_p (\partial T / \partial t) = \nabla(k\nabla T) + S \quad (2)$$

където ρ и c_p са плътността и специфичният топлинен капацитет на тъканта, а $S = S_m + S_p$.

При обработка на тъканта с лазерен сноп е необходимо да бъде добавено и влиянието на топлината, генерирана от лазера, S_l , като биотоплинното уравнение приема вида:

$$\rho c_p (\partial T / \partial t) = \nabla(k\nabla T) + \rho_b c_b w_b (T_b - T) + S_m + S_l \quad (3)$$

където T е температурата на тъканта, ρ_b е плътността на кръвта, c_b е специфичният топлинен коефициент на кръвта, w_b е перфузионният коефициент на кръвта, T_b е температурата на кръвта, За едномерен случай, топлинният поток се изразява чрез:

$$(\partial q / \partial x) = \rho c_p (\partial T / \partial t) - \rho_b c_b w_b (T_b - T) - S_m - S_l \quad (4)$$

Следователно топлинният поток през тъкан, разположена на дълбочина от x_0 до x може да бъде определена чрез интегриране от уравнение (4):

$$q = - \int_{x_0}^x [\rho c (\partial T / \partial t) - \rho_b c_b w_b (T_b - T) + S_m + S_l] dx + C \quad (5)$$

Константата C може да бъде определена при интервал $[x_0, x]$ от

$$C = q_0 + \int_{x_0}^x [\rho c (\partial T / \partial t) - \rho_b c_b w_b (T_b - T) + S_m + S_l] dx, \text{ където } q(x_0) = q_0.$$

Преносът на топлина е съпроводен с отделяне на топлина от метаболитните процеси и перфузия на кръвта. Те имат различни първоизточници – съответно биохимични реакции и обмен на енергия между тъканта и кръвния поток, преминаващ през малките капиляри. Приема се, че ефектът на перфузия на кръвта е хомогенен, изотропен и движението е насочено. Насоченото движение и необходимостта от по-подробно разглеждане на микроциркулацията прави приложението на уравнението на Пенес невъзможно в реални условия.

4. Уравнение на Катанео-Вернот

Тъй като топлинният обмен се осъществява чрез взаимодействие между тъканта и кръвта, процесът не е мигновен, както се предполага от закона на Фурие. Поради това, уравнението на Фурие не е подходящо за случаите, при които скоростта на разпространение на топлината е важен фактор, както е случая на облъчването на тъкан с лазерен сноп, където енергията е под формата на термични вълни. Първата основна модификация на уравнението на Фурие е извършена от Катанео, при което се дефинира време за релаксация $\tau_q \neq 0$. Полученото уравнение е хиперболично и осигурява вълново разпространение на топлината:

$$\tau_q (\partial q / \partial t) + q = -k \nabla T \quad (6)$$

За едномерен случай:

$$q(t) = -k (dT / dx) [1 - \exp(-t / \tau_q)] \quad (7)$$

Уравнението на Катанео-Вернот [1, 2] представлява уравнението на Катанео, вложено в общото уравнение за топлопроводността:

$$\partial T / \partial t = \alpha \nabla^2 T + Q / \rho c_p \quad (8)$$

където Q е получена или отдадена топлина, Лапласианът е $\nabla^2 T = \nabla \cdot (\nabla T) = (\partial^2 T / \partial x^2 + \partial^2 T / \partial y^2 + \partial^2 T / \partial z^2)$, α е коефициентът на топлинна дифузия, $\alpha = k / (\rho c_p)$. Уравнението на Катанео-Вернот за едномерен случай уравнението има вида:

$$\partial T / \partial t + \tau_q (\partial^2 T / \partial t^2) = \alpha (\partial^2 T / \partial x^2) \quad (9)$$

Скоростта е ограничена и се получава от израза $v = \sqrt{\alpha / \tau_q}$.

Механизмът на релаксация осигурява уравниаване на топлинния поток с температурния градиент при биологични тъкани с хетерогенна структура. Подходяща употреба на уравнението е при необходимост от разглеждане на преноса на топлина в микроскопични мащаби, при термични процеси с кратка продължителност и голям температурен градиент.

5. Уравнение с двойнофазово закъснение (УДФЗ)

От уравнение (6) може да се направи апроксимация от първи ред от вида:

$$q(x, t + \tau) = -k \nabla T(x, t) \quad (10)$$

за $\tau \geq 0$, $\tau = \tau_q + \tau_T$, където τ_T е времето за термализация. За съставяне на модел на двойнофазово закъснение се използва релацията:

$$q(x, t + \tau_q) = -k \nabla T(x, t + \tau_T) \quad (11)$$

Съгласно връзка тип Джефри може да се извърши апроксимацията:

$$\tau_q (\partial q / \partial t) + q = -k [\tau_T \partial (\nabla T / \partial t) + \nabla T] \quad (12)$$

Ако се положи $\alpha = k / C$, като C може да се определи от $C \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot q = 0$, а α участва в уравнението $\partial T(x, t) / \partial t - \alpha \Delta T(x, t - \tau) = 0$ и води до извеждането на УДФЗ:

$$\partial T / \partial t + \tau_q (\partial^2 T / \partial t^2) - \alpha [\tau_T (\partial \Delta T / \partial t) + \Delta T] = (1/C) (Q + \tau_q \partial Q / \partial t) \quad (13)$$

съгласно връзки тип Джефри, описващи забавянето на преноса на топлина съгласно пространствените променливи и времето закъснение на топлинния поток.

УДФЗ се разглежда като разширение на биотоплинното уравнение, като отчита микроскопичната структура на тъканта, при което може да бъде преобразувано във вида:

$$c_p \rho [\partial T / \partial t + \tau_q (\partial^2 T / \partial t^2)] = \lambda \nabla^2 T + \lambda \tau_T \partial [\nabla^2 T / \partial t] + \tau_q \partial Q / \partial t \quad (14)$$

Q е топлината от метаболитни процеси и външни топлинни източници. За едномерен случай уравнението има вида:

$$c_p \rho [\partial T / \partial t + \tau_q (\partial^2 T / \partial t^2)] = \lambda \partial^2 T / \partial x^2 + \lambda \tau_T \partial (\partial^2 T / \partial x^2) / \partial t + \tau_q \partial Q / \partial t \quad (15)$$

като τ_q и τ_T се дефинират като $\tau_q = \varepsilon(1 - \varepsilon) \rho_c \rho_b c_b / (G C_e)$ и $\tau_T = \varepsilon(1 - \varepsilon) \lambda_c \rho_b c_b / G \lambda_e$, където C_e е ефективната топлина, а λ_e е топлопроводимостта, G е свързващ фактор между фазовите закъснения τ_q и τ_T се дефинира като $G = A \alpha + w_b c_b$, където A е площта на топлообмена между кръвта и тъканта, α е коефициентът на пренос на топлина [3]. При $\tau_T = 0$ УДФЗ се редуцира до уравнението на Катанео-Вернот, а при $\tau_q = 0$ и $\tau_T = 0$, уравнението заема формата на класическото уравнение на Фурие. УДФЗ се преобразува до:

$$c_p \rho [\partial T / \partial t + \tau_q (\partial^2 T / \partial t^2)] = -\partial q / \partial x + \tau_T \partial (\partial q / \partial x) / \partial t + \tau_q \partial Q / \partial t \quad (16)$$

Предимство на УДФЗ е, че за определяне на времето за релаксация се използват свойствата на кръвта и тъканта – кръвоносните съдове имат специфична порьозност, перфузионен коефициент, диаметър, термофизични свойства, геометричното разположение, а тъканите – различни оптични свойства.

6. Обобщено уравнение с двойнофазово закъснение (ОУДФЗ)

ОУДФЗ [4, 5] е разширение на УДФЗ, при което отича и структурата на тъканите – съдова и извънсъдова области. Анатомичната структура се разглежда като порьозна среда, в която се разполага флуид. Отчита се порьозността ε [4],

като отношението между общия обем и обема, който е зает от пори. По-високите стойности на ε определят по-ефективен топлообмен и разсейване на топлината в по-голяма степен. При по-ниска порьозност може да бъде наблюдавано локално повишаване на температурата. Извънсъдовата област се разглежда като матрица, в чиито пори се инфилтрира кръвта. Отчита се и повърхността, върху която се наблюдава топлообмен между кръвта и тъканта.

В случая са в сила уравненията:

$$(1-\varepsilon)\rho c_p(\partial T / \partial t) = (1-\varepsilon)\lambda_t \nabla^2 T + \alpha A(T_b - T) + w_b c_b (T_b - T) + (1-\varepsilon)Q_{mt} + (1-\varepsilon)Q_{ex} \quad (17a)$$

$$\varepsilon \rho_b c_b \left(\frac{\partial T_b}{\partial t} + u \cdot \nabla T_b \right) = \varepsilon \lambda_b \nabla^2 T_b + \alpha A(T - T_b) + w c_b (T - T_b) + \varepsilon(Q_{mb} + Q_{ex}) \quad (17b)$$

където α е коефициент на топлообмен, u е скорост на флуида, Q_{ex} е външен топлинен източник, Q_{mt} и Q_{mb} са метаболитни топлинни източници в тъканта и кръвта съответно. С помощта на уравнението на Фурие, се достига до:

$$(1-\varepsilon)\rho c_p(\partial T / \partial t) = -(1-\varepsilon)\lambda_t \cdot \nabla q_t / k + \alpha A(T_b - T) + w_b c_b (T_b - T) + (1-\varepsilon)Q_{mt} + (1-\varepsilon)Q_{ex} \quad (18a)$$

$$\varepsilon \rho_b c_b \left(\frac{\partial T_b}{\partial t} + u \cdot \nabla T_b \right) = -\varepsilon \lambda_b \nabla q_b / k + \alpha A(T_t - T_b) + w c_b (T_t - T_b) + \varepsilon Q_{mb} + \varepsilon Q_{ex} \quad (18b)$$

За едномерен случай топлинните потоци на тъканта и кръвта могат да се определят от:

$$q = \int \left[\rho c_p (\partial T / \partial t) + \alpha A(T_b - T) / (1-\varepsilon) + w_b c_b (T_b - T) / (1-\varepsilon) + Q_{mt} + Q_{ex} \right] dx + C_1 \quad (19a)$$

$$q_b = \int \left\{ -\rho_b c_b \left[\partial T_b / \partial t + u (\partial T_b / \partial x) \right] + Q_{mb} + Q_{ex} \right\} dx + C_2 \quad (19b)$$

7. Заключение

Уравнението на Фурие е подходящо моделиране на разпределение на топлината в тъканта с бавнопроменяща се температура. При бързопроменяща се скорост, както е случая на облъчването с лазерен сноп, то е неподходящо и се изисква използването на други модели, както беше описано в тази статия. Уравнението на Пенес се прилага основно за описване на бързо, термично разпределение във флуиди. Специфичното при него е, че кръвта се приема за хомогенна и изотропна. Насоченото движение и необходимостта от по-подробно разглеждане на микроциркулацията прави приложението на уравнението на Пенес невъзможно в реални условия. Ограниченото приложение на уравнението се дължи на това, че в реални условия температурата на кръвта се променя в следствие на конвекция и кръвната перфузия. В тези случаи и при необходимост от разглеждане на преноса на топлина в микроскопични мащаби, при кратковременни термични процеси и голям температурен градиент е подходящо е прилагането на уравнението на Катанео-Вернот. При това уравнение скоростта на потока е ограничена, поради нужното време за топлинният обмен.

Друг модел е УДФЗ. Предимството му е, че описва детайлно времето за термична релаксация на биологичните тъкани. Тъй като кръвоносните съдове имат

специфична биологична структура (порьозност), перфузионен коефициент, диаметър, термофизични свойства, геометричното разположение, а тъканите – различни оптични свойства, които са значими променливи в реални условия те следва да бъдат също отчитани. Това става в модела на ОУДФЗ. Благодарение на ОУДФЗ може да бъде прогнозирана степента на термично увреждане на тъканите, като позволява прецизното изчисляване на температурната разлика между кръвта и тъканите.

Литература

- [1] B. Mochracki, M. Paruch, Cattaneo-Vernotte equation. Identification of relaxation time using evolutionary algorithms, *J. Appl. Math. Comput. Mech.*, 12 (4), 97–102 (2013).
- [2] V. L. Mironov, Modified Cattaneo-Vernotte equation for heat transfer in solids, *Therm. Sci. Eng.*, 7 (2), art. 8050 (2024).
- [3] Ł. Turchan, E. Majchrzak, Identification of boundary heat flux assuring the destruction of target region of biological tissue – application of the generalized dual-phase lag model and gradient method, *J. Appl. Math. Comput. Mech.*, 12 (4), 15 (1), 49–58 (2016).
- [4] G. Kaluza, E. Majchrzak, Ł. Turchan, 1D Generalized dual-phase lag equation. Sensitivity analysis with respect to the porosity, *J. Appl. Math. Comput. Mech.*, 15(1), 49–58. (2016)
- [5] Y. Zhang, Generalized dual-phase lag bioheat equations based on nonequilibrium heat transfer in living biological tissues, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 52, 4829–4834 (2009).

Азбучен указател

Александрова, Сашка	6	Райкова, Желязка	78
Бодуров, Иван	42	Славкова, Милена	35
Василева, Пенка	96	Славчев, Валери	101
Василева, Силвана	15	Умленска, Александра	101
Гайдарова, Мая	62,73	Усков, Марио	56
Герева, Нина	78	Филипова, Марияна	48
Гледачева, Вера	101	Хрискова, Таня	42
Иванова, Даниела	23		
Иванова-Варадинова, Цветелина	56		
Коцева, Ивелина	62, 73		
Кунис, Фабиен	62, 73		
Манолова-Иванова, Росица	29		
Николов, Стефан	68		
Николова, Спаска	42		
Петрова, Христина	84		
Петрова, Християна	29		
Писанова, Екатерина	78, 90		

**КОНФЕРЕНЦИЯТА СЕ ОРГАНИЗИРА С ЛЮБЕЗНАТА
ПОДКРЕПА НА:**

ФИРМА ЕАЗ ООД



ЕАЗ ООД разработва и произвежда прецизни стругови детайли по технически чертежи на клиента.

Повече от половин век опит, качество и иновации в производството на прецизни стругови детайли от въглеродна, легирана и неръждаема стомана, алуминий и цветни метали.

Производството ни на швейцарки тип ЦПУ стругове е на широк спектър от диаметри, включително и сложни комплексни геометрии. От малък и среден обем до голям обем на производството, всеки детайл произведен в ЕАЗ отразява нашата обща мисия – висока прецизност.

ФИРМА ИНДЕКС-6 ООД



ИНДЕКС-6 ООД е утвърден производител на висококачествени дозиращи машини, предназначени за ефективно бутилиране на течни хранителни и нехранителни продукти в изключително хигиенно изпълнение.

Предлагаме решения „до ключ“, включващи проектиране и инженеринг, производство и монтаж на напълно автоматични, ултра чисти машини за бутилиране и опаковане на мляко и млечни продукти, сокове, детски храни, кетчуп, майонеза, дресинги, сосове, конфитюри, олиа и течни масла, вино, алкохолни напитки, вода и други. Освен това обслужваме и нехранителния сектор с машини за козметика, битова химия, петролни продукти, индустриални течности и други.

Запазените ни търговски марки *AseptPro™*, *AssetClean™*, *Pragmatic®*, *B_Fill®* са известни в над 60 държави по света.

Нашата мисия е да повишаваме качеството на продуктите и услугите си чрез тясно сътрудничество с клиентите и непрекъснато внедряване на иновации.

СПИСАНИЕ „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“

е издание на Съюза на физиците в България, което публикува оригинални и обзорни статии във всички области от физиката.

ПОСЕТЕТЕ НАШИЯ САЙТ

wop.phys.uni-sofia.bg

АБОНИРАЙТЕ СЕ

Абонамент за 1 година (4 броя) – 25 лв.

За членове на СФБ – 22 лв.

За ученици, студенти и пенсионери – 16 лв.

Ако желаете да се абонирате, пишете на
worldofphysics@abv.bg

Цена за 1 книжка – 7 лв.

СТАНЕТЕ НАШИ АВТОРИ

Може да изпращате статии за публикуване в списанието като прикачени файлове на същия адрес.

Броевете на списанието можете да намерите на сайта ни
wop.phys.uni-sofia.bg

и на адрес:

Съюз на физиците в България, Физически факултет, СУ „Св. Климент Охридски“
бул. „Джеймс Баучер“ 5, София 1164

Тел. + 359 2 62 76 60,

e-mail: upb@phys.uni-sofia.bg,



НАЦИОНАЛНИ КОНКУРСИ ПО ФИЗИКА ЗА УЧИТЕЛИ „Акад. МАТЕЙ МАТЕЕВ“

По предложение на Съюза на физиците в България са учредени две ежегодни награди на името на акад. Матей Матеев, председател на СФБ от 2001 до 2010 год., които се присъждат на учители по физика от Международната фондация „Св. Св. Кирил и Методий“.

Наградите се присъждат за постижения, както следва:

- „За изключителни постижения при откриването и развитието на млади таланти“;
- „За постижения при създаване на условия за най-подходяща учебна среда“

Представянето на участниците в двата конкурса може да бъде направено от самите кандидати, от тяхното училищно ръководство, група членове на СФБ или регионалните клонове на СФБ. За всеки от тях трябва да бъдат представени кратки биографични данни и справка за професионалната и педагогическата дейност на кандидата. Участниците в двата конкурса могат да бъдат индивидуални или колектив от учители. Наградите са парични, стойността им се определя от Международната фондация „Св.Св. Кирил и Методий“ и традиционно се връчват от представители на Фондацията по време на поредната Национална конференция по въпросите на обучението по физика.

Срокът за представяне на кандидатурите се обявява на сайта на СФБ <http://upb.phys.uni-sofia.bg/>



**Международна фондация
"Св.Св. Кирил и Методий"**

