



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ  
ФАКУЛТЕТ  
ДЕПАРТМАН ЗА ФИЗИКУ



**Решавање рачунских задатака при обради наставне теме  
„КВАНТНА СВОЈСТВА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ ЗРАЧЕЊА И МИКРОЧЕСТИЦА“**

-мастер рад-

Ментор:

Проф. Др.Маја Стојановић

Кандидат:

Снежана Живановић

Нови Сад, 2014.

***Свако ко није шокиран  
квантном теоријом,  
није је ни разумео.***



Niels Bohr

Иако мало невероватна и непојмљива за велику већину људи данашњице, ова тема нам у будућности може у многоме помоћи да схватимо суштину своје бити и природе уопште.

---

Свим својим бићем захваљујем Господу Богу на овом раду и исто тако, најискреније захваљујем свом супругу на финансиској подршци коју ми је приуштио у тешком тренутку и безграничном разумевању које ми је било потребно да би се овај рад завршио.

---

## САДРЖАЈ:

1. УВОД
  - 1.1. Подучавање
  - 1.2. Успешан наставник
  - 1.3. Физика данас
  - 1.4. Учење кроз игру, забаву и хумор
2. МЕТОДИЧКИ ПРИСТУП НАСТАВИ ФИЗИКЕ
3. ЗАДАЦИ У НАСТАВИ ФИЗИКЕ
  - 3.1. План решавања задатака из физике
  - 3.2. Основна подела задатака из физике
  - 3.3. Подела задатака према условима
  - 3.4. Подела задатака према степену тежине
4. КВАНТНА ФИЗИКА
  - 4.1. Појам кванта енергије
  - 4.2. Планкова квантна хипотеза
  - 4.3. Нилс Бор
  - 4.4. Ајнштајнова фотонска хипотеза
  - 4.5. Фотоелектрични ефекат
  - 4.6. Комптонов ефекат
  - 4.7. Таласана својства материје - Де Брољева теорија
  - 4.8. Хајзенбергов принцип неодређености
5. ТЕКСТУАЛНИ ЗАДАЦИ - ПРИМЕРИ
  - 5.1. квалитативни задаци – задаци питања
  - 5.2. Квантитативни задаци – рачунски задаци
6. ГРАФИЧКИ ЗАДАЦИ – ПРИМЕРИ
7. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАЦИ - ПРИМЕРИ
8. ЈЕДНОСТАВНИ ЗАДАЦИ – ПРИМЕРИ
9. СЛОЖЕНИ ЗАДАЦИ – ПРИМЕРИ
10. КОМБИНОВАНИ ЗАДАЦИ – ПРИМЕРИ
11. ЗАБАВНИ ЗАДАЦИ
12. КОНТРОЛНИ ЗАДАТАК
  - 12.1. Кључ контролног задатка
  - 12.2. Бодовање и оцењивање
13. ЗАКЉУЧАК
  - БИОГРАФИЈА
  - ЛИТЕРАТУРА

## **1. УВОД**

Подучавање је универзална тежња - сви то чине. Родитељи подучавају своју децу, послодавци своје особље, тренери своје играче, а професионални наставници подучавају своје ученике. Радосно је искуство када као наставник допринесете развоју младог човека, када дајете своје знање и вештине да би обогатили живот другог људског бића. Највећа би радост сваког наставника требало да буде да дочека тренутак када га сопствени ученик надмаши или пак промене улоге.

### **1.1. Подучавање**

Подучавање младих је веома сложен процес који може бити забаван и добар посао, али и фрустрирајући праћен разочарењима. Данас је, нажалост, све више проблема. Права је уметност успоставити резонанцију између ученика и наставника. Тврдоглави отпор, слабу мотивацију и низак ниво пажње не можете победити лако! Када млади људи, наизглед без разлога, одбијају да уче оно чему га наставник учи, подучавање постаје све само не задовољство. У чему је разлика између подучавања које успева и подучавања које је безуспешно? Одговор на сва тешка питања лежи у једноставности. Суштина је у успостављању посебног односа са учеником, мора постојати нека врста „везе“ или „моста“ између ова два тела.

### **1.2. Успешан наставник**

Без обзира на то шта се учи – било који предмет, садржај, било која вештина, математика, ликовно, хемија, физика или историја...сваки може бити интересантан ученицима, уколико наставник успе да створи однос обостраног уважавања, то је тзв. појам „демократије у учионици“. „Поштовање потреба ученика“, „учење с љубављу“, „атмосфера у учионици“, „слобода учења“, „наставник као извор сазнања“, „наставник = пријатељ“, „двосмерна комуникација“ и слично јесу термини, идеје и појмови како би били успешнији у свом послу. Добар однос јесте онда када постоји: *отвореност* (тако да је лако бити директан и искрен један према другом), *брижност* (када свако зна да га онај други поштује), *међусобна независност* (ученик није подређен, а наставник надређен или обрнуто), *самосталност* (која допушта да се свако развија по својој природи и могућностима), *узајамно поштовање* (где нико не трпи). Многи би сада реаговали на ово, али то је тако лако оствариво и могуће. Кључ је у једноставности.

### **1.3. Физика данас**

Различите студије показују да деца имају урођене склоности према природним наукама, јер су им оне ближе, опипљивије, и проблеми са којима се срећу су свакодневни. Већина ученика има позитиван став према природним наукама у доби од 10 година, затим интерес нагло опада. Психологија каже да ученик са 14 година има у великој мери формиран интерес и став за проучавање науке. Физика, иако

најфундаменталнија наука, није популарна међу ученицима. Суштина проблема је у преобимности наставног садржаја, велики број нејасноћа, физика је деци тешка... Ученици почињу курс физике у 6. разреду основне школе и то са предрасудама да је то најтежи предмет, а самим тим и наставник је строг. Физика може да буде авантура и забава. Али, у складу са временом, неке ствари морају да се мењају. Живимо у времену када је све убрзано. Наставник мора да ухвати корак са текућим збивањима, у супротном деци је досадно, а са досадом креће недисциплина, нервоза и тако редом. Дobar однос између наставника и ученика може да уроди плодом и да превазиђе све могуће проблеме.

Физика није баук.

#### **1.4. Учење кроз игру, забаву и хумор**

Игра је обавезни сегмент у процесу одрастања и сазревања деце. Шаљив образац рада само је привидно неозбиљан начин за преношење озбиљних порука. Препоручљиво је да после сваког краћег или дужег периода укоченог седења и пажљивог праћења излагања на часу слушаоци буду награђени хумором, као краткотрајним подстицајем и освежењем. Ако емоционалних мотива нема, ђаци постају неспособни да прате и памте, јер мисао без осећања не улази у свест. Зато треба, кад год се укаже прилика, наставу искомбиновати опуштеношћу и духовитим шалама. Досадни часови су исувише дуги. Испуњени хумором време брже и ефективније пролази. Деца увек кукају и раде отпор када треба да уче, жудећи за игром. Они имају страх од рада. Учење кроз игру, подразумева да треба да се седи и прати настава, али је сасвим другачије озвучена таква „тишина“. Физика је предмет који под обавезно треба да функционише по принципу „мало игре, мало рада“, јер исцелитељско дејство смеха доводи до фантастичних резултата.

## **2. МЕТОДИЧКИ ПРИСТУП НАСТАВИ ФИЗИКЕ**

Процес образовања и стицања теоријског знања обухвата и стицање практичног умећа примењивања тог знања у пракси.

У процесу рада битно је да ученици разумеју оно што су научили. Ученици ће све лакше схватити ако им се објасни каква је корист од тога у свакодневном животу и ако се садржаји појединих предмета међусобно повезују.

Наставни процес има два основна циља - образовни и васпитни. Образовни циљ се огледа у стицању знања и вештина на основу којих се формира поглед на свет. Овај циљ се остварује кроз наставне предмете који се прожимају и допуњавају тако да се на крају добија целовит поглед и схватање света који нас окружује.

Васпитни циљ је да се развијају особине неопходне сваком члану друштвене заједнице у којој живи, а која се карактерише одређеним правилима понашања.

Наставни процес организује се тако да се ученицима обезбеди да стичу повезане и у логичком систему дате научне истине. Систематизована и логички повезана знања се лакше уче, применљивија су и трајнија. Свако гомилање чињеница у свести, без система разумевања, доводи до формализма у знању ученика. Постепено усвајање знања је један од важних задатака наставе. Усвојити знање значи располагати њиме и користити га у даљим проучавањима и пракси.

Наставни процес је комплексан тј. мора се водити рачуна о више фактора истовремено. Знање ученика, које је основни резултат наставног процеса, је функција следећих основних параметара: ученик, наставник, опрема, план, програм, методе.

Настава је организован облик поучавања (делатност наставника) и учења (делатност ученика). У наставном раду захтева се темељитост, лакоћа и брзина учења, јасноћа и разумљивост садржаја који се уче.

Наставу треба прилагођена узрасту и могућностима ученика. Мора се наћи начин да за сваки узраст излагање буде научно тачно. Потребно је да се разред посматра као наставни колектив, да се остваре услови за активан рад свих ученика, да се ученицима у исто време индивидуално прилази са циљем да се сваки ученик успешно учи. Важно је да се одвоје битне од мање битних чињеница.

Педагогија је наука о васпитању, образовању и настави. Задатак школе је да упозна ученике са основама науке.

Циљ наставе природних наука је да омогући ученицима да стекну опште разумевање свега око нас, да разумеју комплетно људско материјално окружење и општа култура сваког појединца.

Задаци наставе физике:

- Оспособљавање за уочавање и распознавање физичких појава у свакодневном животу.
- Систематско упознавање ученика са физичким појавама и законитостима.
- Стицање основне научне писмености.
- Оформљивање основа научног метода.
- Развијање вештине и способности да се стечено знање из физике може применити у свакодневном животу и раду.
- Доприношење формирању научног погледа на свет.
- Утицај на општи развој ученика.

- Оспособљавање ученика да самостално уочавају, истражују и решавају физичко-техничке проблеме.
- Обогаћивање животног искуства ученика.

### **3. ЗАДАЦИ У НАСТАВИ ФИЗИКЕ**

Задаци су најмоћније средство за активирање мисаоних процеса којим се ученици успешно осамостаљују за интелектуални рад. Задаци имају сврху да омогуће ученицима да установе да ли разумеју одређено градиво након што су одслушали предавање и прочитали садржај из уџбеника. Учење је обавезно пре него се приступи задацима. Сваки задатак садржи у себи један или више физичких закона и дефиниција. Један од најбољих начина за разумевање физике јесте разумевање задатака.

#### **3.1. План решавања задатака из физике**

- Пажљиво прочитати задатак више пута.
- При читању записати сваки податак из задатака физичким ознакама, бројем и мерним јединицама.
- Уочити непознату физичку величину.
- Скицирати проблем и означити дате величине.
- Утврдити која физичка појава лежи у основи задатака и који је физички закон објашњава.
- Решити задатак у општем облику и изразити коначан израз.
- Све мерне јединице морају бити пребачене у јединице SI система и ослободити се префикса из ознака за јединицу.
- Заменом датих физичких величина у коначан израз.
- Извршити израчунавање вредности непознате величине.
- Оценити добијену вредност, размислити има ли смисла коначан исход.
- Јасно изразити решење у видљивој форми.

#### **3.2. Основна подела задатака из физике**

Постоје две основне групе задатака:

- Репродуктивни задаци (задаци којима се развија памћење).



- Продуктивни задаци (задаци којима се развијају перцепције, представе, мишљење и машта).

-Репродуктивни задаци су они на којима се увежбава одређена радња, усмерени су ка неговању памћења ученика и неопходни су у настави.

-Продуктивни задаци од ученика траже да за одговорима трагају, истражују, да посматрају, анализирају, упоређују, синтезирају, уопштавају, закључују. При трагању за решењима оваквих задатака, ученици морају бити мисаоно активни и зато су продуктивни задаци погоднији за мисаони развој ученика јер до нових чињеница долазе властитом интелектуалном активношћу.

### **3.3. Подела задатака према условима**

Према условима задаци из физике могу бити:

- текстуални
- експериментални
- графички

**Текстуални задаци** имају најбољу примену у наставном процесу. Текстуални задаци могу бити:

- квалитативни (задаци - питања)
- квантитативни (рачунски задаци)

-Квалитативни задаци су они чије је решење у виду одговора који се мора образложити.

-Квантитативни задаци су задаци чијим решавањем се добијају бројне вредности уз примену одговарајућих формул и обављања низа рачунских операција.

Овакви задаци су највише заступљени у настави физике.

**Експериментални задаци** подразумевају рад у лабораторији или кабинету физике, коришћењем одговарајућих апаратура и наставних средстава како би се очигледније потврдила веродостојност физичких правила.

**Графички задаци** се базирају на изради графика где се утврђује зависност две физичке верличине.

### **3.4. Подела задатака према степену тежине**

Према степену тежине задаци из физике могу се поделити на:

- једноставне

- сложене
- комбиноване (проблемске)

**Једноставнији задаци** су они код којих се до траженог решења долази уврштавањем бројних вредности у формулу која повезује дате и тражене физичке величине.

**Сложени задаци** су они код којих се до решења може доћи након мисаоних процеса који подразумевају добро познавање физичких појава уз коришћење сложенијег математичког апарата.

**Комбиновани задаци** се свставају у најсложенију категорију задатака који подстичу ученике на креативно размишљање.

#### **4. КВАНТНА ФИЗИКА**

Квантна физика се развила крајем 19. века. Класична физика је до тада дошла до важних открића. У озбиљним научним круговима се сматрало да је склопљена мање више цела слика описа физичких појава. Електрицитет, магнетизам, светлост, маханика, космологија, гравитација, описани су уз помоћ релативно једноставних једначина. Међутим, остале су још неке појаве које нису у потпуности биле описане. У првом реду ту је била немогућност објашњења класичном физиком зрачење тела (тзв. црног тела), затим појаве које се дешавају када се површина метала обасја светлошћу (данас позната као фотоефекат) као и примећено спонтано зрачење појединих хемијских елемената (данас познато као радиоактивност).

##### **4.1. Појам кванта енергије**

Квант, у физици, означава невидљиву, дакле, најмању количину енергије која се јавља у елементарним процесима. На пример, фотон је квант електромагнетне интеракције, глуон је квант јаке интеракције, Z-бозон слабе интеракције, гравитон (експериментално још недетектован) квант гравитационог деловања.

Откриће да је свет око нас квантне природе представља једно од највећих достигнућа модерне науке. Реч квант потиче од латинске речи (quantum) што значи количина, мноштво, свота, износ, део.

##### **4.2. Планкова квантна хипотеза**

Максвелова теорија је изванредно описала многе особине електромагнетних таласа, али није била у стању да тачно опише спектар ЕМ зрачења које емитују атоми и

молекули. По тој теорији осцилатори могу да емитују зрачење било које енергије и таласне дужине. Наиме, тако нешто је допуштено само код макроскопских осцилатора, али не и у микросвету. Да би објаснио ову неусаглашеност, Планк је поставио две хипотезе:

- Атоми и молекули емитују енергију у засебним количинама, тј. зрачење се емитује у „пакетићима“ који садрже тачно одређену количину енергије. Те „пакетиће“ Планк је назвао квантима.
- Енергија кванта зависи од фреквенције тј. таласне дужине емитованог зрачења:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = \frac{h}{2\pi} \cdot 2\pi\nu = \hbar\omega \quad (4.2.1.)$$

$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$  (Планкова константа)

$\hbar = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$  (редукована Планкова константа, користи се нуклеарној физици)

Атоми и молекули апсорбују и емитују енергију која може бити једнака само целобројном умношку једног кванта тј.:

$$E = nh\nu = n\hbar\omega, n = 1, 2, 3... \quad (4.2.2.)$$

Енергија је квантована! Макс Планк је добио Нобелову награду 1918. за квантну теорију.

#### **4.3. Нилс Бор**

Будући да је опажено веома чудно понашање електрона које није у складу са њутновским законима, тј. прескакање са једне на другу орбиту уз губитак или добитак енергије (квантни скок), дански физичар Нилс Бор утврдио је математичке законитости које су објашњавале и предвиђале орбитално понашање електрона. Бор је свој рад надовезао на рад Макса Планка и својим радом зачео квантну теорију заснованој на Радерфордовом моделу атома. Међутим дилема је и даље била наразрешена.

#### **4.4. Ајнштајнова фотонска хипотеза**

Ајнштајн је 1905. допунио Планкову хипотезу претпоставком да се светлост простире у виду кваната енергије који су касније названи фотони.

- Енергија фотона је једнака:

$$E_f = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (4.4.1.)$$

Фотон је квант електромагнетног зрачења. Преносилац је електромагнетне силе која делује међу наелектрисаним честицама. Фотон нема масу мировања и истовремено је своја античестица. Фотон се у вакууму креће брзином светлости.

- Количина кретања фотона је једнака:

$$p_f = \frac{h}{\lambda} \quad (4.4.2.)$$

- Маса фотона је једнака:

$$m_f = h \cdot \frac{\nu}{c^2} \quad (4.4.3.)$$

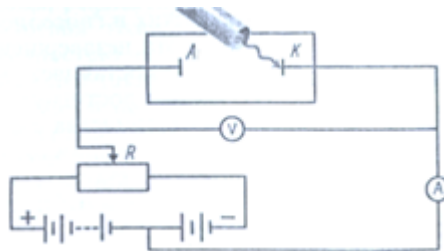
Доказано је да фотон није наелектрисан и да је стабилан тј. не распада се сам по себи.

#### 4.5. Фотоелектрични ефекат

Фотоелектрични ефекат је појава избијања електрона из метала (или неког другог материјала) помоћу светлости. Да би електрон напустио метал, он мора примити енергију како би могао да изврши рад против електричне силе којом га привлаче позитивни јони из кристалне решетке. Минимална енергија коју треба да прими електрон да би напустио површину метала зове се излазни рад,  $A_i$ . За већину метала излазни рад износи неколико електронволти.

У контакту светлости (фотона) са површином метала (електрона из атомског омотача), фотон нестаје, а електрон напушта атом. Електрони избачени из метала помоћу светлости називају се фотоелектрони.

Експеримент:



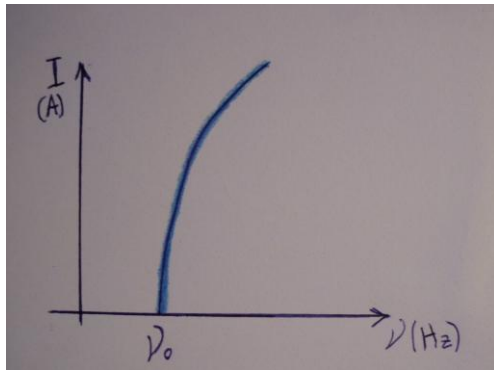
Сл.1. Апаратура за испитивање фотоефекта

Са слике 1. видимо да ако се на катоду усмери сноп светлости у колу се може успоставити електрична струја чији су носиоци фотоелектрони. Експеримент показује да:

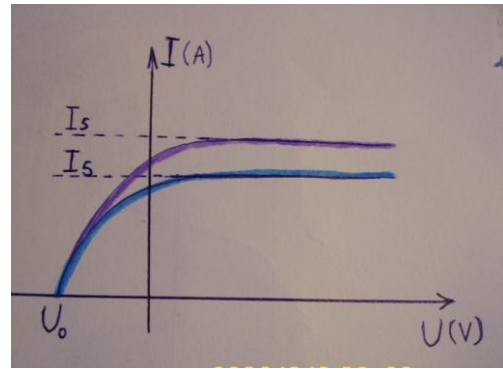
-Постоји минимална фреквенција  $\nu_0$  при којој долази до фотоефекта (слика 2.).  $\nu_0$  је тзв. црвена граница фотоелектричног ефекта и карактеристика је материјала који се користи.

-При негативном напону  $U_0$  (закочни напон) до аноде стиже само део електрона захваљујући кинетичкој енергији која износи:

$$\frac{m_e v_e^2}{2} = qU_0 \quad (4.5.1.)$$



Сл.2.График интензитета струје у функцији од фреквенције



Сл.3.График интензитета струје у функцији од напона

(слика 3.). При одређеном напону сви ослобођени електрони стижу до аноде и имамо засићену струју (сатурациону струју),  $I_s$ , која зависи од интензитета светлости.

Из закона одржања енергије проистиче Ајнштајнова једначина фотоефекта (за коју је добио нобелову награду 1921.):

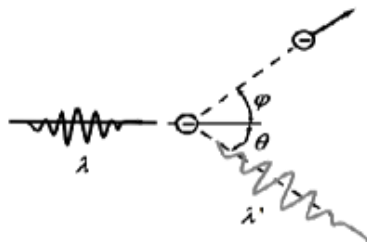
$$E_f = A_i + E_k \quad (4.5.2.)$$

$$h \cdot \nu = A_i + \frac{m_e v_e^2}{2} \quad (4.5.3.)$$

Фотоефекат има веома широку примену. Разни детектори, фотодиоде, фототранзистори, па чак и соларне ћелије се заснивају на појави ослобађања електрона под дејством светлости.

#### 4.6. Комптонов ефекат

Амерички физичар Артур Комптон показао је да фотон и електрон могу да се сударе на сличан начин као две билијарске кугле (еластичан -„честични“ судар), чиме је 1923. убедљиво доказано постојање фотона.



Сл.4.Еластичан судар фотона са електроном

При судару фотона са електроном (слика 4.), фотон предаје део енергије електрону, па тако расејани фотон има нижу енергију него упадни фотон и већу таласну дужину  $\lambda'$ . Та разлика износи:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda \quad (4.6.1.)$$

Овај поремећај зависи од угла под којим су се фотони расејали:

$$\Delta\lambda = \lambda_c (1 - \cos \vartheta) \quad (4.6.2.)$$

где је  $\lambda_c$  тзв. Комптонова таласна дужина и она има израз:

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0 c} \quad (4.6.3.)$$

и када је у питању судар са електроном она износи  $2,43 \cdot 10^{-12} m$ . Коначно,

$$\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c (1 - \cos \vartheta)} \quad (4.6.4.)$$

Комптонов ефекат је дао коначан одговор на питање о природи светлости тј електромагнетног зрачења. Наиме светлост може да се понаша и као честица и као талас (мада никада истовремено на оба начина), у зависности са чиме интерагује.

#### **4.7. Таласна својства материје – Де Брољева теорија**

Пошто је доказано да светлост може да се понаша и као талас и честица поставља се питање да ли и честица има двојну природу? Одговор на ово питање дао је један француски постдипломац који је у Паризу 1923. писао докторску дисертацију, а звао се Луј Виктор де Брољи. Де Брољи је закључио да двојна природа зрачења може да буде основно својство целе природе. Уствари, он је предложио теорију по којој честице имају енергетски пулс којим емитују таласе. Сама формула је врло једноставна и де Брољи полази од Ајнштајновог израза за количину кретања фотона проширујући га и на друге честице:

Енергија фотона као таласа је:

$$E_f = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (4.7.1.)$$

а као честице:

$$E_f = m_f \cdot c^2 \quad (4.7.2.)$$

Сређивањем ових релација добија се израз за импулс фотона:

$$p_f = \frac{h}{\lambda} \quad (4.7.3.)$$

па ако је  $p = mv$ , одатле следи:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad (4.7.4.)$$

где  $\lambda$  представља таласну дужину било које честице. Дакле, свакој честици која се креће може се придодати одговарајући талас тзв. де Брољев талас. Претпоставка да би честице могле имати таласну функцију, као и да би таласи могли да показују честична својства, може деловати као задовољавајуће помирење.

#### **4.8. Хајзембергов принцип неодређености**

Немачки научник Вернер Хајзенберг формулисао је своје начело неодређености. Што тачније покушавамо да измеримо положај честице, то мање прецизно можемо да измеримо њену брзину (импулс) и обрнуто, (што је одређенији положај честице, то је неодређенији импулс). Хајзенберг је доказао да производ положаја и импулса (брзине и масе) честице не може бити мањи од одређене величине која је позната као Планкова константа  $h$ . Квантна механика се темељи на принципу неодређености. У овој теорији честице немају одређен положај у простору нити брзину кретања, већ имају квантно стање које представља комбинацију положаја и импулса (брзине). При истовременом одређивању положаја  $\langle x, y, z \rangle$  и импулса  $\langle p_x, p_y, p_z \rangle$  „талас-честице“ постоје неодређености ових величина повезаних релацијама:

$$\Delta x \Delta p_x \geq h, \Delta y \Delta p_y \geq h, \Delta z \Delta p_z \geq h \quad (4.8.1.)$$

Уствари, у квантној теорији честице више нису честице, а таласи нису само таласи, већ уводи дуалистичку природу материје. Ова теорија не предвиђа јединствено решење, већ предвиђа низ могућих решења и говори нам о томе какви су изгледи сваког од њих. Дакле, квантна механика уводи неизбежан елемент непредвидљивости у науку.

### **5. ТЕКСТУАЛНИ ЗАДАЦИ – ПРИМЕРИ**

#### **5.1. Квалитативни задаци – задаци питања**

Питања – задаци се морају образложити. Код ових задатака треба применити логичко расуђивање и правилно закључивање. По тежини ови задаци могу бити лаки, али и веома тешки чак веома загонетни.

- *Питање:* У чему је разлика између Планкових кваната и Ајнштајновог појма фотона?
- *Одговор:* Планков квант представља најмању количину енергије која се јавља у елементарним процесима у ширем смислу. На пример, фотон је квант електромагнетне интеракције, глюон је квант јаке интеракције, Z-бозон слабе интеракције, гравитон (експериментално још недетектован) квант

гравитационог деловања. Ајнштајнов фотон је најмања количина светлосне енергије коју атом може да израчи.

- Чињеница је да су та два појма повезана једно са другим. Одговор лежи у коректној примени наученог градива са циљем дубљег разумевања истог.

## **5.2. Квантитативни задаци – рачински задаци**

То су задаци код којих мора бити примењена одговарајућа формула, математички мора бити обрађен, а решење задатка је нумерички изражено. Код ових задатака неопходна је систематичност у решавању. Да би се у довољној мери извежбао принцип рада рачунских задатака потребни су, поред школског рада, и домаћи задаци којима ученици код куће могу да утврђују стечене вештине.

- *Питање:* Колику енергију (у eV) и импулс имају фотони таласне дужине 400nm?

- *Решење:*

$$\lambda = 400 \text{ nm} = 400 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$E_f = ?$$

$$p_f = ?$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$E_f = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{400 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = \frac{20 \cdot 10^{-26} \text{ Jm}}{400 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 0,05 \cdot 10^{-17} \text{ J}$$

$$p_f = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{400 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 0,0165 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

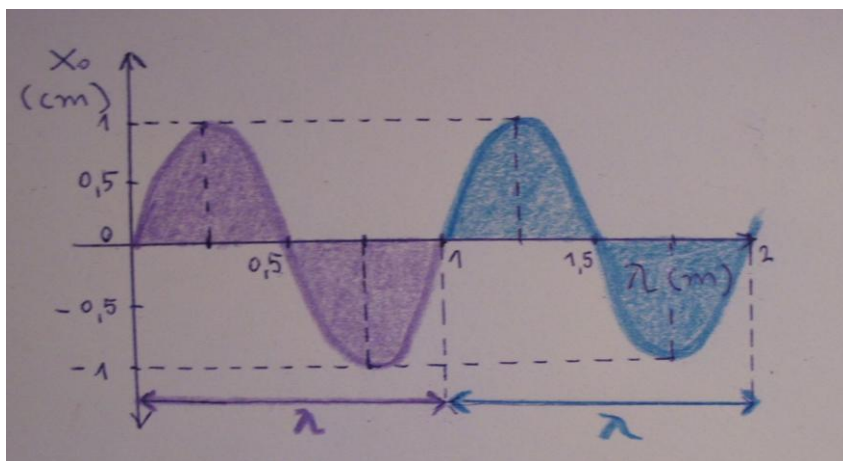
- Простом применом формула и заменом бројних вредности лако се долази до решења задатка са циљем усвајања нових физичких величина и њихових мерних јединица. За грубо представљање график се може цртати и слободном руком, али за прецизније увиде треба радити на милиметарском папиру и уз помоћ лењира. График је систем од две праве које се секу у координатном почетку у коме су нулте вредности одговарајућих физичких величина на осама.



## 6. ГРАФИЧКИ ЗАДАЦИ - ПРИМЕРИ

График сликовито представља физички проблем. Из њега се лакше могу уочити неке физичке величине. Графичка писменост даје ученицима могућност увида и извођења закључака у ширем смислу.

- *Питање:* Уочи величине које описују таласно кретање и напиши њихове вредности. На апциси (x оси) је представљена таласна дужина у метрима, а на ординати (y оси) Растојање тачке од равнотежног положаја изражена у центиметрима.



- *Решење:*

-таласна дужина:  $\lambda = 1m$

-амплитуда:  $x_0 = \pm 1cm = \pm 1 \cdot 10^{-2}m = \pm 0,01m$

-елонгација:  $-0,01m < x < +0,01m$

-фреквенција:  $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{1m} = 3 \cdot 10^8 s^{-1} = 3 \cdot 10^8 Hz$

-период:  $T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{3 \cdot 10^8 Hz} = 0,33 \cdot 10^{-8} s$

- Овај график има за циљ да ученици увиде сличности и разлике датих физичких величина, као и да стекну дојам да већа таласна дужина светлости има мању снагу (енергију) него талас чија је таласна дужина мања, јер је његов график гушћи, те одаје визију јачине.

## **7. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАЦИ - ПРИМЕРИ**

Експериментални задаци су најчешће комбинација кратког експеримента, логичког размишљања и одговарајућих израчунавања. Значај експерименталних задатака у настави физике је изузетно велики. Овакви задаци су деци најинтересантнији. Деца кроз рад самостално долазе до закључака, мотивисана су и лако памте уочене појаве. Овим се повезује теорија са праксом.

- Експериментални задаци су из области квантне физике теже изводљиви па из тих разлога се у замену може користити метода симулације уз помоћ видео бима и интернета. За ову област погледати кратак експеримент са јутјуба.

\_\_\_\_\_ Youtube-квантна физика, Томислав Гуњача \_\_\_\_\_

- Из приложеног учити двојну природу таласа и честица.

## **8. ЈЕДНОСТАВНИ ЗАДАЦИ - ПРИМЕРИ**

Једноставни задаци се користе одмах након реализације наставних јединица. За циљ имају да деца увежбају нове формуле које су обрађене. Пожељно је да текст задатака буде из реалног живота како би се уочила присутност физике свуда око нас.

1. *Задатак:* Израчунати енергију фотона светлости фреквенције  $10^{15} \text{ Hz}$ .

- *Дати подаци:*

$$E_f = ?$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$\nu = 10^{15} \text{ Hz}$$

- *Формула:*  $E_f = h \cdot \nu$
- *Анализа:* Овакав задатак деца зову „замени слова бројевима“. Ипак овакав задатак захтева напор у смислу препознавања формуле и умеање математичког израчунавања.
- *Решење:* Енергија фотона се рачуна из Планкове квантне хипотезе.

$$E_f = h \cdot \nu$$

$$E_f = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$E_f = 6,626 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

2. *Задатак:* Израчунати фреквенцију фотона енергије  $2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

- *Дати подаци:*

$$\nu = ?$$

$$E_f = 2 \cdot 10^{-19} J$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} Js$$

- *Формула:*  $E_f = h \cdot \nu \Rightarrow \nu = \frac{E_f}{h}$

- *Анализа:* Код овог задатака треба препознати непознату и изразити је формулом.

- *Решење:*

$$\nu = \frac{E_f}{h} = \frac{2 \cdot 10^{-19} J}{6,626 \cdot 10^{-34} Js}$$

$$\nu = 0,3 \cdot 10^{15} Hz$$

3. *Задатак:* Кинетичка енергија фотоелектрона емитованих са површине цезијума је  $3 \cdot 10^{-19} J$ . Наћи енергију светлости која је изазвала фотоефекат ако је излазни рад за цезијум  $2,88 \cdot 10^{-19} J$ .

- *Дати подаци:*

$$E_f = ?$$

$$E_k = 3 \cdot 10^{-19} J$$

$$A_i = 2,88 \cdot 10^{-19} j$$

- *Формула:*  $E_f = A_i + E_k$

- *Анализа:* Осим што треба изразити формулу за фотоефекат и изразити непознату, израчунати, решење би могло и речима бити исказано.

- *Решење:*

$$E_f = 2,88 \cdot 10^{-19} J + 3 \cdot 10^{-19} J$$

$$E_f = 5,88 \cdot 10^{-19} J$$

4. *Задатак:* Колики је излазни рад електрона из матала ако је црвена граница фотоелектрона 500nm?

- *Дати подаци:*

$$A_i = ?$$

$$\lambda_0 = 500 \text{ nm} = 500 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

- *Формула:*  $E_f = A_i + E_k$

$$h \cdot \nu = A_i + E_k$$

$$h \cdot \nu_0 = A_i, E_k = 0 \text{ J}$$

$$A_i = h \cdot \frac{c}{\lambda_0}$$


---

- *Анализа:* Овде треба препознати специфичан моменат када је конетичка енергија једнака нули тј. сва енергија фотона се троши само на излазни рад. То је гранични случај, зато величине  $\lambda$  и  $\nu$  имају индекс 0.
- *Решење:*

$$A_i = \frac{h \cdot c}{\lambda_0} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{500 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$A_i = \frac{20 \cdot 10^{-26} \text{ Jm}}{500 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$A_i = 0,04 \cdot 10^{-17} \text{ J}$$

Излазни рад се обично изражава у електронволтима тако што се користи израз за елементарно наелектрисање електрона. Следи:

$$0,04 \cdot 10^{-17} \text{ J} = \frac{4 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 2,5 \text{ eV}$$

**5. Задатак:** Наћи таласну дужину честице чији је импулс  $1 \text{ kgm/s}$ .

- *Дати подаци:*

$$\lambda = ?$$

$$p = 1 \text{ kgm/s}$$


---

- *Анализа:* Дуална природа је особина свих објеката микросвета, дакле, молекула, атома и ситнијих честица. Тако се овој честици може придодати талас чија се таласна дужина рачуна из Де Бројеве релације.
- *Решење:*

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\lambda = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ m}$$

## 9. СЛОЖЕНИ ЗАДАЦИ - ПРИМЕРИ

Сложени задаци се реализују након једноставних задатака, када су деца научила формуле и одговарајуће мерне јединице. Већини деце сада применом више формула у једном задатку неби требао да ствара проблеме. То је средње тешка категорија задатака. Према многим педагошким анализама сматра се да највећи број задатака треба да припада управо овој категорији.

6. *Задатак:* Колика је таласна дужина пушчаног зрна масе 10g које лети брзином 600m/s?

- *Дати подаци:*

$$\lambda = ?$$

$$m = 10 \text{ g} = 0,01 \text{ kg}$$

$$v = 600 \text{ m / s}$$

- *Формула:*  $\lambda = \frac{h}{p}$

- *Анализа:* Пушчано зрно можемо третирати као ситну честицу и пририсати јој таласну дужину коју можемо израчунати преко Де Брољеве релације. Импулс честице рачуна се као производ масе и брзине исте.

- *Решење:*

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{0,01 \text{ kg} \cdot 600 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{6 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\lambda = 1,1 \cdot 10^{-34} \text{ m}$$

7. *Задатак:* Наћи импулс и таласну дужину фотона енергије 1eV?

- *Дати подаци:*

$$E_f = 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda = ?$$

$$p = ?$$

- *Анализа:* Комбинацијом већ познатих формула долазимо лако до решења. Треба водити рачуна о пребацивању мерних јединица у основне. Треба нагласити да се таласне дужине често изражавају у нанометрима.
- *Решење:*

$$E_f = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E_f} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$$

$$\lambda = 12,5 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 1250 \text{ nm}$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{12,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}}$$

$$p = 0,53 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

8. *Задатак:* Коликом брзином треба да се креће електрон да би његов импулс био једнак импулсу фотона таласне дужине 520nm?

- *Дати подаци:*

$$\nu = ?$$

$$p_e = p_f$$

$$\lambda = 520 \text{ nm} = 520 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

- *Анализа:* Познавањем формула за импулс као честице и импулс као таласа и пратећи услове задатка долазимо до следећег решења. Иако није дата у задатку маса електрона се третира као позната.

- *Решење:*

$$p_e = m_e v$$

$$p_f = \frac{h}{\lambda}$$

$$m_e v = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow v = \frac{h}{\lambda m_e}$$

$$v = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{520 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}$$

$$v = 0,0014 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,4 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

9. **Задатак:** Брзина фотоелектрона је 1000km/s. Наћи таласну дужину светлости која је изазвала фотоефекат ако је излазни рад за цезијум 1,8eV.

- Дати подаци:

$$\lambda = ?$$

$$v = 1000 \text{ km/s} = 10^6 \text{ m/s}$$

$$A_i = 1,8 \text{ eV} = 1,8 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,88 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

- Решење:

$$E_f = A_i + E_k$$

$$h \cdot \nu = A_i + E_k$$

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = A_i + \frac{m_e v^2}{2} = 2,88 \cdot 10^{-19} \text{ J} + \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot \left(10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2}$$

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = 2,88 \cdot 10^{-19} \text{ J} + 4,55 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 7,43 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{7,43 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7,43 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$$

$$\lambda = 2,69 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 268 \text{ nm}$$

10. **Задатак:** Излазни рад за платину је 6,3eV. Колика је максимална таласна дужина светлости која може довести до фотоефекта на платини?

- Дати подаци:

$$\lambda_0 = ?$$

$$A_i = 6,3 \text{ eV} = 6,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 10 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 10^{-18} \text{ J}$$

- Анализа: Применићемо Ајнштајнову једначину прага за постизање фотоефекта, дакле кинетичке енергије нема.

- Решење:

$$E_f = A_i + E_k$$

$$h \cdot \nu = A_i + E_k$$

$$h \cdot \nu_0 = A_i, E_k = 0J$$

$$h \cdot \frac{c}{\lambda_0} = A_i$$

$$\lambda_0 = \frac{h \cdot c}{A_i}$$

$$\lambda_0 = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} Js \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{10^{-18} J}$$

$$\lambda_0 = 20 \cdot 10^{-8} m = 200 nm$$

11. **Задатак:** Ако се катода обасја светлошћу таласне дужине 310nm, заочни напон је 1,7V. Колики је излазни рад метала од кога је направљена катода?

- Дати подаци;

$$A_i = ?$$

$$\lambda = 310 nm = 310 \cdot 10^{-9} m$$

$$U_0 = 1,7V$$


---

- Анализа:** При фотоелектричном ефекту струја тече и при негативном напону између катоде и аноде, иако катода тада привлачи, а анода одбија електроне. То се објашњава тиме да фотоелектрони по изласку из катоде имају неку кинетичку енергију са којом могу да врше рад против електричне силе и да стигну до аноде. Напон при којем та струја престане да тече назива се заочни напон.
- Решење:**

$$E_f = A_i + E_k$$

$$E_k = eU_0$$

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = A_i + eU_0 \Rightarrow A_i = h \cdot \frac{c}{\lambda} - eU_0$$

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,626 \cdot 10^{-34} Js \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{310 \cdot 10^{-9} m} = 0,064 \cdot 10^{-17} J$$

$$0,064 \cdot 10^{-17} J = \frac{0,064 \cdot 10^{-17}}{1,6 \cdot 10^{-19}} eV = 0,04 \cdot 10^2 eV = 4eV$$

$$A_i = 4eV - 1,7eV = 2,3eV$$



12. **Задатак:** Наћи Де Брољеву таласну дужину електрона чија је кинетичка енергија 10keV.

- Дати подаци:

$$\lambda = ?$$

$$E_k = 10\text{keV} = 10^4 \text{eV} = 10^4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{J} = 1,6 \cdot 10^{-15} \text{J}$$

- Решење:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \cdot \frac{m}{m}$$

$$E_k = \frac{m^2 v^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}$$

$$p = \sqrt{2mE_k}$$

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{J}}{\sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg} \cdot 1,6 \cdot 10^{-15} \text{J}}}$$

$$\lambda = 1,2 \cdot 10^{-11} \text{m}$$

$$\lambda = 0,012 \text{nm}$$

13. **Задатак:** Проценити брзину кретања електрона у атому ако се зна да је полупречник атома реда величине  $10^{-10} \text{m}$ .

- Дати подаци:

$$v = ?$$

$$r = 10^{-10} \text{m}$$

- Анализа: Из релације неодређености одредићемо неодређеност брзине  $\Delta v$ .

- Решење:

$$\Delta p \geq \frac{h}{\Delta x}$$

$$m\Delta v \geq \frac{h}{r}$$

$$\Delta v \geq \frac{h}{mr} \Rightarrow \Delta v \geq \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{Js}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg} \cdot 10^{-10} \text{m}}$$

$$\Delta v \geq 7 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Логично је претпоставити да брзина не може бити мања од неодређености брзине ,  
 дакле  $v \geq \Delta v$ . То значи да је брзина реда величине  $10^6 \frac{m}{s}$ .

### 10. КОМБИНОВАНИ ЗАДАЦИ -ПРИМЕРИ

Комбиновани задаци ангажују, у највећој мери, више мисаоне процесе: решавање проблема и креативност. Треба повезивати све типове задатака како би ученици створили што јаснију слику излаганог градива.

14. *Задатак:* Графички представити величине које описују светлост таласне дужине  $\lambda = 400nm$  и амплитуде  $x_0 = 1nm$ . На основу приложених подата израчунати фреквенцију и период исте светлости.

- *Дати подаци:*

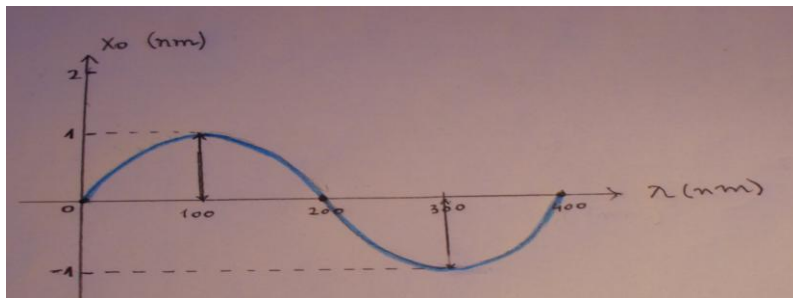
$$\nu = ?$$

$$T = ?$$

$$\lambda = 400nm = 400 \cdot 10^{-9}m$$

$$x_0 = 1nm = 10^{-9}m$$

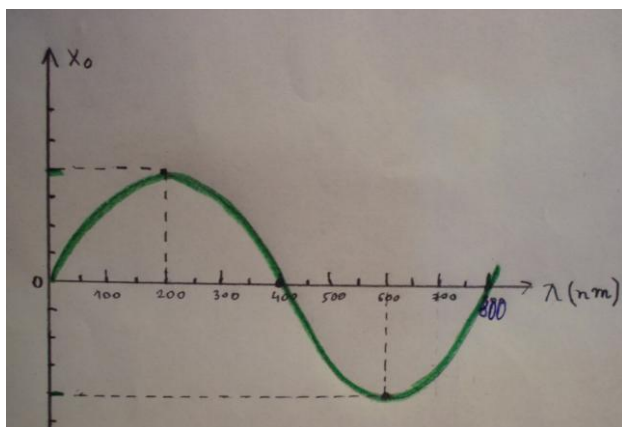
- *Анализа:* треба повезати графички приказ са рачунским делом задатка. Овај тип задатака ученици углавном умеју да ураде без муке. Треба водити рачуна о баждарењу скала на графику.
- *Решење:*



$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{400 \cdot 10^{-9}m} = 0,0075 \cdot 10^{17} Hz$$

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{0,0075 \cdot 10^{17} Hz} = 133,3s$$

15. *Задатак:* На основу графика израчунај енергију датог таласа.



- Дати подаци:

$$\lambda = 800 \text{ nm} = 800 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$E_f = ?$$


---

- Решење:

$$E_f = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{800 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$E_f = 0,025 \cdot 10^{-17} \text{ J}$$

16. **Задатак:** При некој вредности заочног напона  $U_1$  престаје да тече струја чија је катода обасјана светлошћу фреквенције  $\nu_1$ . Ако се фреквенција светлости промени 1,5 пута, заочни напон треба повећати 2 пута. Колика је фреквенција  $\nu_1$  ако је излазни рад за катоду 2,3eV?

- Дати подаци:

$$\nu_2 = 1,5\nu_1$$

$$U_2 = 2U_1$$

$$h\nu_1 = A_i + eU_1 \Rightarrow eU_1 = h\nu_1 - A_i$$

$$A_i = 2,3 \text{ eV} = 2,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$


---

- Анализа: Из  $h\nu = A_i + eU$  види се да се напон повећава ако се повећава фреквенција.

- Решење:

$$h\nu_2 = A_i + eU_2$$

$$1,5h\nu_1 = A_i + 2eU_1$$

$$1,5h\nu_1 = A_i + 2(\nu_1 - A_i)$$

$$1,5h\nu_1 = A_i + 2h\nu_1 - 2A_i$$

$$1,5h\nu_1 - 2h\nu_1 = -A_i$$

$$-0,5h\nu_1 = -A_i$$

$$0,5h\nu_1 = A_i$$

$$h\nu_1 = 2A_i \Rightarrow \nu_1 = \frac{2A_i}{h} = \frac{2 \cdot 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}} = 1,1 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

17. **Задатак:** Црвена граница фотоефекта за неки метал је 700nm. Тај метал озрачи се најпре светлошћу таласне дужине 600nm, а потом светлошћу таласне дужине  $\lambda_2$ . Однос максималних брзина фотоелектрона у та два случаја 3:4. Наћи  $\lambda_2$ .

- Дати подаци:

$$\lambda_2 = ?$$

$$\lambda_0 = 700 \text{ nm}$$

$$\lambda_1 = 600 \text{ nm}$$

$$\nu_1 : \nu_2 = 3 : 4 \Rightarrow \frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{3}{4}$$

- Решење:

$$\frac{m\nu_1^2}{2} = hc \left( \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$$

$$\frac{m\nu_2^2}{2} = hc \left( \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$$

- Дељењем ових једначина добија се:

$$\left( \frac{\nu_1}{\nu_2} \right)^2 = \frac{\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_0}}{\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_0}} = \frac{\frac{\lambda_0 - \lambda_1}{\lambda_1 \lambda_0}}{\frac{\lambda_0 - \lambda_2}{\lambda_2 \lambda_0}} = \frac{\lambda_2 (\lambda_0 - \lambda_1)}{\lambda_1 (\lambda_0 - \lambda_2)}$$

$$\left( \frac{3}{4} \right)^2 = \frac{\lambda_2 (\lambda_0 - \lambda_1)}{\lambda_1 (\lambda_0 - \lambda_2)}$$

$$\frac{9}{16} = \frac{\lambda_2 (\lambda_0 - \lambda_1)}{\lambda_1 (\lambda_0 - \lambda_2)}$$

$$0,56 = \frac{\lambda_2 (\lambda_0 - \lambda_1)}{\lambda_1 (\lambda_0 - \lambda_2)}$$

$$0,56 \cdot 600 \cdot 10^{-9} m - 100 \cdot 10^{-9} m - \lambda_2 = \lambda_2 \cdot 100 \cdot 10^{-9} m$$

$$235200 \cdot 10^{-18} m^2 - \lambda_2 \cdot 336 \cdot 10^{-9} m = \lambda_2 \cdot 100 \cdot 10^{-9} m$$

$$436 \cdot 10^{-9} m \cdot \lambda_2 = 235200 \cdot 10^{-18} m^2$$

$$\lambda_2 = \frac{235200 \cdot 10^{-18} m^2}{436 \cdot 10^{-9} m}$$

$$\lambda_2 = 540 \cdot 10^{-9} m = 540 nm$$

18. **Задатак:** Наелектрисана честица убрзана напоном 200V им деброљевску таласну дужину 2,02pm. Наћи масу честице ако је њено наелектрисање једнако наелектрисању електрона.

- Дати подаци:

$$m = ?$$

$$\lambda = 2,02 pm = 2,02 \cdot 10^{-12} m$$

$$U = 200V$$

$$q_e = e$$


---

- Решење:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$E_k = eU$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \cdot \frac{m}{m}$$

$$E_k = \frac{m^2 v^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}$$

$$p = \sqrt{2mE_k}$$

$$\frac{h}{\lambda} = \sqrt{2meU} \Rightarrow m = \frac{h^2}{2eU\lambda^2}$$

$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} kg$$

- Анализа: Из резултата се види да се ради о протону.

19. **Задатак:** Колика је минимална неодређеност брзине електрона ако је неодређеност његовог положаја 1μm ?

- Дати подаци:

$$v = ?$$

$$\Delta x = 1\mu m = 10^{-6} m$$


---

- Решење:

$$\Delta p \geq \frac{h}{\Delta x} \Rightarrow m\Delta v \geq \frac{h}{\Delta x}$$

$$\Delta v \geq \frac{h}{m\Delta x} \Rightarrow \Delta v \approx 700 \frac{m}{s}$$

### **11. ЗАНИМЉИВИ ЗАДАЦИ - ПРИМЕРИ**

Ови задаци су најпожељнији, јер развијају такмичарски дух, мотивишу и потстичу на активан рад ученика. Научно је доказано да деца најефективније раде кроз игру. Колико год изгледало једноставно овај тип задатака обезбеђује знање које остаје релативно трајно.

1. *Задатак:* Избаци (заокружи) уљеза и образложи: маса, енергија, импулс, таласна дужина, фреквенција.

- *Решење:* Уљез је импулс, јер је то једина векторска величина међу скаларима.

2. *Задатак:* Реши укрштеницу:

- *Хоризонтално:* 1. Део језгра атома, 2. Немачки физичар, творац квантне теорије, 10 слово азбуке, 3. једно агрегатно стање, талас (хрватски ј.) 4. Почетно слово имена данског физичара Нилса, Име немачког физичара Планка, 5. Квант светлости, 6. Радерфорд, пети елемент космоса.
- *Вертикално:* 1. Научи, понови, градиво, физике (скр.), 2. писмени рад у коме је стручно обрађена нека тема, 3. Удружење астронома Србије (скр.), Физичка ознака за период, 4. Тесла Никола (иниц.), мисаона осцилаторна енергија (скр.), 5. Најмања количина енергије у елементарним процесима, 6. нула, атомска катастрофа (скр.), физичка ознака за рад, 7. Презиме данског физичара Бора, разумевање (скр.)

- *Решење:*

|   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Н | Е | У | Т | Р | О | Н |
| 2 | П | Л | А | Н | К |   | И |
| 3 | Г | А | С |   | В | А | Л |
| 4 |   | Б |   | М | А | К | С |
| 5 | Ф | О | Т | О | Н |   |   |
| 6 |   | Р |   | Е | Т | А | Р |
|   |   | А |   |   |   |   |   |
|   |   | Т |   |   |   |   |   |

3. Задаток: Заокружи тачне формуле:

а)  $E_f = m_f \cdot c^2$

б)  $E_f = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$

в)  $p_f = \lambda / h$

г)  $E_f = A_i - E_k$

д)  $\Delta x \Delta p_x \geq h$

- Решење: а), б), д)

4. **Задатак:** Повежи физичке величине са одговарајућим мерним јединицама.

- |                             |                                                |
|-----------------------------|------------------------------------------------|
| а) Енергија фотона $E_f$    | 1. херц - Hz                                   |
| б) Таласна дужина $\lambda$ | 2. килограмметар по секунди - $kg \frac{m}{s}$ |
| в) Фреквенција $\nu$        | 3. метар по секунди - $\frac{m}{s}$            |
| г) Брзина светлости $c$     | 4. електрон волт - eV                          |
| д) Импулс $p$               | 5. килограм - kg                               |
| ђ) Маса $m$                 | 6. метар - m                                   |
| е) Излазни рад $A_i$        | 7. џул - J                                     |

- Решење: а-4 или 7, б-6, в-1, г-3, д-2, ђ-5, е-4 или 7.

5. **Задатак:** Заокружи нетачне исказе:

- а) Фотон је квант електромагнетне интеракције.
- б) Само светлост може да се понаша и као талас и као честица.
- в) Енергија фотона је директно сразмерна фреквенцији, а обрнуто сразмерна својој таласној дужини.
- г) Електрон емитује светлост при прелазу са нижег на виши енергетски ниво.
- д) Што тачније покушавамо да измеримо положај честице, то мање прецизно можемо да измеримо њену брзину (импулс) и обрнуто.

- Решење: б), г)

6. **Задатак:** Допуни изразе:

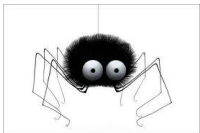
- Фотон је квант \_\_\_\_\_ интеракције. (електромагнетне)
- Само макроскопски осцилатори могу да емитују зрачење било које \_\_\_\_\_, али у микросвету то није дозвољено. (енергије)
- Макс Планк је претпоставио да атоми и молекули апсорбују и емитују енергију која може бити једнака само целобројном умношку једног кванта, тј. енергија је \_\_\_\_\_. (квантована)
- Алберт Ајнштајн је претпоставио да се светлост простира у виду кваната енергије који су касније названи \_\_\_\_\_. (фотони)
- Фотоефекат и Комптонов ефекат су доказ да се светлост понаша и као \_\_\_\_\_ и као \_\_\_\_\_. (честица, талас.)



- Луј де Брољи је предложио теорију по којој честице имају енергетски пулс којим емитују \_\_\_\_\_. (таласе)
- Закључило се да је природа \_\_\_\_\_ двојна. (зрачења)
- \_\_\_\_\_ је основно својство микросвета. (Дуалност)

7. Решити ребусе:

- 100год.  П=Р (\_\_\_\_\_)

- Н“  А (\_\_\_\_\_)

- К=Д  О  П=Ц (\_\_\_\_\_)

-  Н (\_\_\_\_\_)

- *Решења:* вектор, наука, добра оцена, фотон.

## 12. КОНТРОЛНИ ЗАДАТАК

- а) Шта је излазни рад? (1)  
 б) Шта је фотоелектрични ефекат? (1)  
 в) Шта значи дуална природа зрачења и микрочестица? (1)
- Колика је енергија светлости која пада на катоду и изазива фотоефекат ако је излазни рад материјала од кога је направљена катода  $6,3\text{eV}$ , а кинетичка енергија фотоелектрона износи  $3\text{eV}$  (1)

3. Наћи таласну дужину и импулс фотона енергије  $2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . (2)
4. Излазни рад кадмијума је 4eV. Колика је максимална таласна дужина која може да изазове фотоефекат у овом случају? (2)
5. При некој вредности заочног напона  $U_1$  престаје да тече струја чија је катода обасјана светлошћу фреквенције  $\nu_1$ . Ако се фреквенција светлости промени 1,5 пута, заочни напон треба повећати 2 пута. Колика је фреквенција  $\nu_1$  ако је излазни рад за катоду 2,3eV? (3)
6. *додатни задатак:* Заокружи тачне формуле: (3)
- а)  $E_f = m_f \cdot c^2$
  - б)  $E_f = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$
  - в)  $p_f = \lambda / h$
  - г)  $E_f = A_i - E_k$
  - д)  $\Delta x \Delta p_x \geq h$

### **12.1. Кључ контролног задатка**

1. а) Излазни рад је минимална енергија коју треба да прими електрон да би напустио површину катоде (метала).
- б) Фотоелектрични ефекат је појава избијања електрона из метала уз помоћ светлости.
- в) Дуална природа зрачења и микрочестица значи се они могу понашати или као таласи или као честице, те да је основно својство природе дуализам.

$$\lambda = ?$$

$$p = ?$$

$$2. \quad E_f = 2 \cdot 10^{-19} J$$

$$\underline{h = 6,626 \cdot 10^{-34} Js}$$

$$E_f = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{E_f}$$

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} Js \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{2 \cdot 10^{-19} J} = 10^{-6} m = 1 \mu m$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} Js}{10^{-6} m} = 6,626 \cdot 10^{-28} kg \frac{m}{s}$$

$$E_f = ?$$

$$3. \quad A_i = 6,3 eV$$

$$\underline{E_K = 3 eV}$$

$$E_f = A_i + E_k$$

$$E_f = 6,3 eV + 3 eV = 9,3 eV$$

$$9,3 eV = 9,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} J = 14,9 \cdot 10^{-19} J$$

$$4. \quad A_i = 4 eV = 4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} J = 6,4 \cdot 10^{-19} J$$

$$\lambda_{\max} = ?$$

$$E_f = A_i + E_k$$

$$h \cdot \nu = A_i + E_k$$

$$h \cdot \nu_0 = A_i$$

$$E_k = 0 J$$

$$h \cdot \frac{c}{\lambda_{\max}} = A_i$$

$$\lambda_{\max} = \frac{h \cdot c}{A_i}$$

$$\lambda_0 = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} Js \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{6,4 \cdot 10^{-19} J}$$

$$\lambda_0 = 3,1 \cdot 10^{-7} m = 310 nm$$

5.

$$\nu_2 = 1,5\nu_1$$

$$U_2 = 2U_1$$

$$h\nu_1 = A_i + eU_1 \Rightarrow eU_1 = h\nu_1 - A_i$$

$$A_i = 2,3\text{eV} = 2,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$h\nu = A_i + eU$$

$$h\nu_2 = A_i + eU_2$$

$$1,5h\nu_1 = A_i + 2eU_1$$

$$1,5h\nu_1 = A_i + 2(h\nu_1 - A_i)$$

$$1,5h\nu_1 = A_i + 2h\nu_1 - 2A_i$$

$$1,5h\nu_1 - 2h\nu_1 = -A_i$$

$$-0,5h\nu_1 = -A_i$$

$$0,5h\nu_1 = A_i$$

$$h\nu_1 = 2A_i \Rightarrow \nu_1 = \frac{2A_i}{h} = \frac{2 \cdot 3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}} = 1,1 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

6.

a), б), д)

### **12.2. Бодовање и оцењивање**

Додатни задатак даје могућност замене једног од задатака који ствара проблеме са додатним којег ученик зна да уради, како би ипак добио жељену оцену.

-Од 4 до 5 бодова – довољан (2)

-Од 6 до 7 бодова – добар (3)

-Од 8 до 9 бодова – врло добар (4)

-Од 10 до 11 бодова – одличан (5)

У одељењу правни техничар, друга година економско трговинске школе у Зрењанинама има 30 ученика, који су показали успешност овог теста графиком представљене.

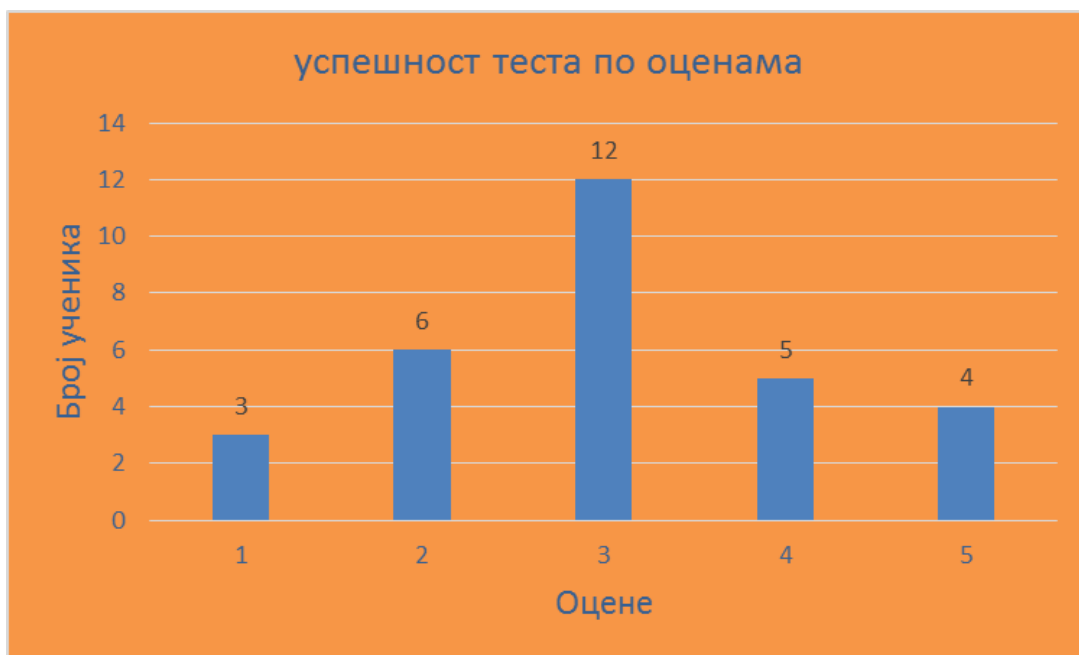


График 1. Успешност теста по оценама



График 2. Успешност теста по оценама након поправљања

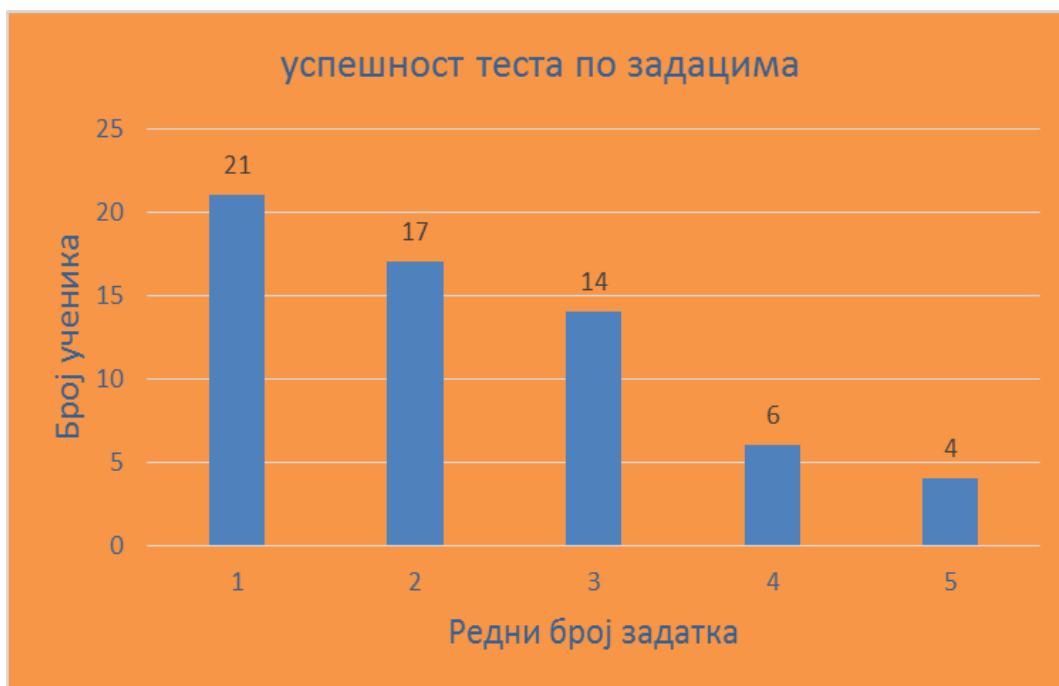


График 3. Успешност теста по задацима

Из приложених података можемо видети да ученици најуспешније раде текстуалне и једноставне рачунске задатке. Док мањи број њих уради сложене и комбиноване рачунске задатке који захтевају дубину разумевања штива као и добро познавање математичких операција. Након првог круга задатака средња оцена теста је 3,03. Ученици са недовољним оценама и незадовољни оценом су допунском наставом надокнадили у раду, те поправили оцене и подигли просек на 3,26.

Мотивација и жеља за бољим оценама су веома важне, јер је ова наставна тема поприлично апстрактна, тако да се овакав резултат може сматрати сасвим солидним.

### **13. ЗАКЉУЧАК**

Квантна физика јесте физика трећег миленијума. Физика која би могла да одговори на најмодернија и најневероватнија питања која нас муче.

Ученици показују изузетну заинтересованост за изазовне теме, за духовност. Вапе за расправама о смислу живота, такође постављају таква питања где можемо закључити да деца све лакше увиру у дубину природе и збивања у њима самима.

У раду је дат кратак теоријски увод и начин решавања рачунских задатака. Задаци код ученика развијају логично размишљање, подстиче упорност за савлађивање тешкоћа, те јача вољу за рад. Решавање задатака је озбиљан, сложен, дуготрајан али изнад свега занимљив процес. Посебну пажњу наставник треба посветити задацима јер управо они обезбеђују дуготрајно знање из физике на свим нивоима квалитета.

Задаци су незамењив део наставног процеса јер омогућавају ученицима увежбавање и примену на конкретним случајевима.

### **БИОГРАФИЈА**

Живановић Снежана, рођена 17.01.1976. у Земуну. Основну школу и гимназију (природно математички смер) завршила у Панчеву.

2002 године добијам звање професор физике и основа технике на физичком факултету Универзитета у Београду, након чега уписујем последипломске студије у класи проф. др. Ивана Аничина на катедри за нуклеарну физику. 2006. године добијам звање специјалиста физичких наука. 2013. уписујем мастер студије на Природно-математичком факултету у Новом Саду, физика наставни модул.

Радим у средњој економско-трговинској школи „Јован Трајковић“ у Зрењанину.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Томас Гордон – Како бити успешан наставник – креативни центар, 2001.
2. Мр. Мирко. Г. Нагл – Примена научног метода у настави физике, [www.df.uns.ac.rs/files/.../mirko\\_nagl](http://www.df.uns.ac.rs/files/.../mirko_nagl) -
3. Петар Савић – Нова школа – Београд 2003.
4. Др Томислав Петровић - Дидактика физике, Београд 1994.
5. Мр Весна Дринчић – Рачунски задаци из физике, Београд 2010.
6. С. Мацура, ј. Радић-Перић, Атомистика, Службени лист, Бгд 2004.
7. Милан Милошевић, Ајнштајн за почетнике, [m.milan@EUnet.yu](mailto:m.milan@EUnet.yu)
8. Машински факултет Универзитета у Београду, „Модерна физика“, писани извод са предавања, 2008.
9. Ј. Илић, З.Трифковић, А.Васић, В.Павловић, Збирка решених испитних задатака из физике, Машински факултет, Београд, 2007.
10. Милан Милошевић, Ајнштајн за почетнике, основе квантне теорије, [static.astronomija.co.rs/teorije/relativnost/teorije/kvantna.htm](http://static.astronomija.co.rs/teorije/relativnost/teorije/kvantna.htm)
11. Речник езотерије, објашњење појма квантна теорија, [www.objave.com/recnik](http://www.objave.com/recnik)
12. Д.Ивановић, М.Распоповић, Д.Крпић, С.Божин, И.Аничин, В.Урошевић, С.Жегарац, Е.Даниловић, И. Васиљевић – Физика са збирком задатака и приручником за лабораторијске вежбе за први разред средњих четворогодишњих стручних школа, завод за издавање уџбеника, Бгд, 1991.
13. Youtube-квантна физика, Драган Ристић, анимације.
14. Youtube-квантна физика, Томислав Гуњача, анимације.
15. М.Маројевић, корпускуларна својства електромагнетних таласа, 2013. [bs.scribd.com/doc/126310427/Kvantna-fizika](https://bs.scribd.com/doc/126310427/Kvantna-fizika)
16. Н.Чалуковић, физика за 4.разред гимназије, Круг, Београд, 2008.

## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈА

Универзитет у Новом Саду

Природно-математички факултет, департман за физику

## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈА ИНФОРМАЦИЈА

|                                             |                                                                                                                          |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Редни број:<br>РБР                          |                                                                                                                          |
| Идентификациони број:<br>ИБР                |                                                                                                                          |
| Тип документације:<br>ТД                    | Монографска документација                                                                                                |
| Тип записа:<br>ТЗ                           | Текстуални штампани материјал                                                                                            |
| Врста рада (дипл., маг., докт.):<br>ВР      | Мастер рад                                                                                                               |
| Име и презиме аутора:<br>АУ                 | Снежана Живановић                                                                                                        |
| Ментор (титула, има, презиме, звање):<br>МН | проф. др Маја Стојановић                                                                                                 |
| Наслов рада:<br>НР                          | Решавање рачунских задатака при обради<br>наставне теме<br>„Квантна својства електромагнетног<br>зрачења и микрочестица“ |
| Језик публикације:<br>ЈП                    | српски                                                                                                                   |
| Језик извода:<br>ЈИ                         | српски                                                                                                                   |
| Земља публикавања:<br>ЗП                    | Република Србија                                                                                                         |
| Уже географско подручје:<br>УГП             | Војводина                                                                                                                |

|                                             |                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Година:<br>ГО                               | 2014                                                                                                                                                                                                |
| Издавач:<br>ИЗ                              | Ауторски репринт                                                                                                                                                                                    |
| Место и адреса:<br>МА                       | Природно-математички факултет, Трг<br>Доситеја Обрадовића 4, Нови Сад                                                                                                                               |
| Физички опис рада:<br>ФО                    | 13/47/16/0/4/3/0                                                                                                                                                                                    |
| Научна област:<br>НО                        | Физика                                                                                                                                                                                              |
| Научна дисциплина:<br>НД                    | Методика наставе физике                                                                                                                                                                             |
| Предметна одредница, кључне речи: ПО        | Рачунски задаци, квантна физика, настава физике.                                                                                                                                                    |
| UDK                                         |                                                                                                                                                                                                     |
| Чува се:<br>ЧУ                              | Библиотека департмана за физику, ПМФ-а у Новом Саду                                                                                                                                                 |
| Важна напомена:<br>ВН                       | нема                                                                                                                                                                                                |
| Извод:<br>ИЗ                                | У овом раду дат је кратак преглед поделе и значаја задатака из физике. Урађени су задаци различитог типа из области квантне физике. Приказан је контролни задатак и одговарајућа статистика.        |
| Датум прихватања теме од стране НН већа: ДП |                                                                                                                                                                                                     |
| Датум одбране: ДО                           |                                                                                                                                                                                                     |
| Чланови комисије:<br>КО                     | председник: др Миодраг Крмар, редовни професор ПМФ, Нови Сад<br><br>члан: др Соња Скубан, ванредни професор ПМФ, Нови Сад<br><br>члан: др Маја Стојановић, ванредни професор ПМФ, Нови Сад (ментор) |

University of Novi Sad

Faculty of Science, Department of Physics

Key word documentation

|                                |                                                                                                                      |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Accession number:<br>ANO       |                                                                                                                      |
| Identification number:<br>INO  |                                                                                                                      |
| Document type:<br>DT           | Monograph publication                                                                                                |
| Type of record:<br>TR          | Textual printed material                                                                                             |
| Contents code:<br>CC           | MSc thesis                                                                                                           |
| Author:<br>AU                  | mrs Snežana Živanović                                                                                                |
| Mentor:<br>MN                  | Maja Stojanović, PhD, Assistant professor                                                                            |
| Title:<br>TI                   | Solving computational problems in teaching theme "Quantum properties of electromagnetic radiation and microparticle" |
| Language of text:<br>LT        | serbian                                                                                                              |
| Language of abstract:<br>LA    | eng. / srp.                                                                                                          |
| Country of publication:<br>CP  | Republic of Serbia                                                                                                   |
| Locality of publication:<br>LP | Vojvodina                                                                                                            |
| Publication year:<br>PY        | 2014                                                                                                                 |

|                                        |                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Publisher:<br>PU                       | Author's reprint                                                                                                                                                                                                            |
| Publication place:<br>PP               | Faculty of Science, Trg Dositeja Obradovića 4,<br>Novi Sad                                                                                                                                                                  |
| Physical description:<br>PD            | 13/47/16/0/4/3/0                                                                                                                                                                                                            |
| Scientific field<br>SF                 | Physics                                                                                                                                                                                                                     |
| Scientific discipline<br>SD            | Physics education                                                                                                                                                                                                           |
| Subject, Key words<br>SKW              | Mathematical tasks, quantum physics, physics<br>education.                                                                                                                                                                  |
| UC                                     |                                                                                                                                                                                                                             |
| Holding data:<br>HD                    | Library of the Department of Physics, Faculty<br>of Science in Novi Sad                                                                                                                                                     |
| Note:<br>N                             | none                                                                                                                                                                                                                        |
| Abstract:<br>AB                        | This paper summarizes the division of<br>problems and their importance for physics.<br>Different types of problems of quantum physics<br>were presented. Test for students and the<br>corresponding statistics were showed. |
| Accepted on Scientific Board on:<br>AS |                                                                                                                                                                                                                             |
| Defended: DE                           |                                                                                                                                                                                                                             |
| Thesis Defend Board:<br>DB             | president: Ph.D. Miodrag Krmar, Full Professor<br>member: Ph.D. Sonja Skuban, Assistant<br>Professor<br>member: Ph.D. Maja Stojanović, Assistant<br>Professor                                                               |