



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
ДЕПАРТМАН ЗА ФИЗИКУ



мр Мирко Г. Нагл

## Примена научног метода у настави физике у друштвено – језичком смеру гимназије

– докторска дисертација –

Нови Сад, 2011.

## Предговор

*Брз научно – технолошки развој ствара кумулацију научног материјала који образовни систем мора да селекује и развије методе ефикасног учења, односно стицања знања и вештина која ће бити употребљива и применљива за дужи низ година. Гимназије, по својој концепцији опште образовне установе, су добар предуслов за развој метода и уклапање у савремене друштвене тенденције. Научни метод је саставни део физике, који од сваког ученика ствара малог проналазача и усмерава га да ужива у открићу, сазнању – спознаји. У друштвено – језичком смеру гимназије физика је једина од природних предмета који се изучава током сва четири разреда. Наставник се често нађе у ситуацији да одговара на већ познато питање ученика „зашто то учимо и зашто нам то треба?“ Преобиман наставни план и програм спречавају наставника да често користи научни метод, иако је он неопходан у савладавању градива. У супротном, када ситуација дозвољава, и ученици и наставник забораве када је час почео јер су радозналост и задовољство истраживања својствени људском духу!*

*Водећи се овим чињеницама докторска дисертација представља допринос истраживању метода за ефикасно учење. Примена научног метода у настави физике је показала да усвојена знања тада имају већи квантум, квалитет и ретенцију.*

*Уз дужно поштовање и са великим задовољством захваљујем се:*

- ◆ др Душанки Обадовић, редовном професору Природно – математичког факултета, Департмана за физику, мом ментору, на великој помоћи и подршци у вези са избором и реализацијом проблематике, али и на великом стрпљењу и ангажовању у свим фазама рада;
- ◆ др Милану Пантићу, редовном професору Природно – математичког факултета, Департмана за физику, свом духовном ментору, који је искусним саветима утицао да истрајем на дугом путу од почетка до краја дисертације;
- ◆ др Мирјани Сегединац, редовном професору Природно – математичког факултета, Департмана за хемију и др Споменки Будић, доценту Филозофског факултета, на саветима и помоћи;
- ◆ Шабачкој гимназији, ученицима, колективу и директору који су ми омогућили да спроведем истраживање;
- ◆ својој породици, супрузи Јелени и ћеркама Анђели и Валерији, на безграничној љубави, разумевању и толеранцији што су били запостављени због моје посвећености раду;
- ◆ родитељима Љиљани и Горану Нагл, који су увек очекивали од мене истрајност и одговорност и у томе ме подржавали;
- ◆ професору српског језика Мирјани Јевтић – Коленц за лектуру и коректуру;

<b>1. УВОД</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1. Проблеми наставе у савременом друштву</b> .....	<b>5</b>
<b>1.2. Настава физике у школама Србије</b> .....	<b>7</b>
1.2.1. Настава физике у основним школама .....	7
1.2.2. Настава физике у гимназијама.....	9
<b>2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1. Научни метод у настави физике</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2. Квалитет знања ученика</b> .....	<b>38</b>
<b>3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА</b> .....	<b>43</b>
<b>3.1. Проблем истраживања</b> .....	<b>43</b>
<b>3.2. Циљ истраживања</b> .....	<b>43</b>
<b>3.3. Задаци истраживања</b> .....	<b>44</b>
<b>3.4. Хипотезе и варијабле истраживања</b> .....	<b>44</b>
<b>3.5. Технике и инструменти мерења</b> .....	<b>45</b>
<b>3.6. Методе истраживања</b> .....	<b>48</b>
<b>3.7. Статистичка обрада резултата истраживања</b> .....	<b>49</b>
<b>3.8. Узорак испитаника</b> .....	<b>50</b>
<b>3.9. Узорак градива</b> .....	<b>56</b>
3.9.1. Класична механика .....	58
3.9.1.1. Класични принцип релативности .....	61
3.9.1.2. Галилејеве трансформације.....	62
3.9.2. Елементи опште теорије релативности .....	64
3.9.3. Кеплерови закони.....	67
3.9.3.1. Први Кеплеров закон .....	71
3.9.3.2. Други Кеплеров закон.....	72
3.9.3.3. Трећи Кеплеров закон.....	73
3.9.4. Њутнов закон гравитације.....	74
3.9.5. Кевендишов оглед.....	77
3.9.6. Гравитационо поље. Јачина гравитационог поља .....	79
3.9.7. Гравитационо поље Земље.....	81
3.9.8. Сила Земљине тежа. Тежина тела.....	82
3.9.9. Кретање тела у гравитационом пољу Земље .....	84
3.9.9.1. Слободни пад.....	84
3.9.9.2. Вертикални хитац наниже .....	85
3.9.9.3. Вертикални хитац увис .....	85
3.9.9.4. Хоризонтални хитац.....	86
3.9.9.5. Коси хитац .....	87
3.9.9.6. Бестежинско стање.....	90
<b>4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА</b> .....	<b>93</b>
<b>4.1. Организација и ток истраживања</b> .....	<b>93</b>
<b>4.2. Модели часова реализовани применом научног метода</b> .....	<b>95</b>
4.2.1. Примена научног метода у реализацији наставне јединице Кеплерови закони.....	95
4.2.2. Примена научног метода у реализацији наставне јединице Њутнов закон гравитације .....	98
4.2.3. Примена научног метода у реализацији наставне јединице .....	99
Гравитационо поље и Јачина гравитационог поља.....	99
4.2.4. Примена научног метода у реализацији наставне јединице Слободни.....	100

---

пад, Вертикални хитац увис и наниже .....	100
4.2.5. Примена научног метода у реализацији наставне јединице .....	101
Хоризонтални хитац .....	101
4.2.6. Примена научног метода у реализацији наставне јединице .....	102
Коси хитац .....	102
4.2.7. Примена научног метода у реализацији наставне јединице .....	104
Бестежинско стање .....	104
<b>4.3. Утицај примене научног метода на квантум знања ученика у физици .....</b>	<b>105</b>
<b>4.4. Утицај примене научног метода на квалитет знања ученика у физици .....</b>	<b>112</b>
<b>5. ЗАКЉУЧАК .....</b>	<b>117</b>
<b>6. ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>119</b>
<b>7. ПРИЛОЗИ .....</b>	<b>132</b>
<b>7.1. Прилог 1. – Припреме за експерименталне вежбе .....</b>	<b>132</b>
7.1.1. Марсова Орбита .....	132
7.1.2. Слободни пад повезаних новчића .....	136
7.1.3. Бестежинско стање .....	139
7.1.4. Слободни пад .....	141
7.1.5. Хоризонтални хитац .....	143
7.1.6. Коси хитац .....	145
<b>7.2. Прилог 2. – Контролне вежбе .....</b>	<b>147</b>
<b>7.3. Прилог 3. – Изабрана питања ученика на крају часа .....</b>	<b>150</b>

## Глава I

### 1. УВОД

#### 1.1. Проблеми наставе у савременом друштву

Открића природних наука, операционализована техничким, а пре свега информационам технологијама, условила су нагомилавање научног материјала, његову бржу обраду, а што је најважније, релевантно тумачење експерименталних резултата (Трубников, 1990; Ципро, 1990, Niess, 2005). Обрада експерименталних резултата, или теоријских модела, која је седамдесетих трајала и више година, у двехиљадитим траје сатима или минутима. Информационе технологије омогућују бржу комуникацију између научних радника, али и јавност и доступност информација ненаучним круговима, тако да наука постаје делом и власништво сваког појединца (Fensham et al, 1985; Hassard & Weisberg, 1999; Angeli, 2005).

Физика као фундаментална наука предњачи у открићима, сама или у сарадњи са другим наукама, почевши од нуклеарне физике, астрофизике, биофизике, медицинске физике (Baird, 2003; Chang, 2004; Friedman, 2001)... Мали је број људи који нису чули за CERN (European Organization for Nuclear Research), за проблеме са покретањем реактора и могућност стварања црних рупа, искоришћену од стране медија за причу о смаку света! Овај и слични примери указују на неминовност повезивања са једне стране друштва као целине са научницима и научним открићима са друге стране (Korolija i Stanišić, 2009).

Међутим, студије показују да је за научно образовање потребан узајаман и непосредан однос између технологије и науке, у смислу да је учешће технологије кроз експеримент и очигледност најбоље промовише конгитивна достигнућа науке, која кроз технологију постаје доступна и широкој популацији (Tala, 2009). Управо такво стање навело је креаторе образовне политике широм света да у оквиру програма – курикулима (Томашевић и сар, 2009)

---

имплементирају достигнућа природних наука у наставни процес у циљ стицања знања и вештина употребљивих у ширем контексту, односно другим наукама, као и у свакодневном животу (STS – пројект, Aikenhead, 2002; Pedretti, 2005). Одговор Европске уније је усвајање стратешких циљева образовања и обуке: унапређење квалитета и ефикасности система образовања и обуке, олакшање приступа образовним системима и системима обуке, као и отварање система образовања и обуке ка широј популацији.

Схватајући значај природних наука за просперитет друштва у целини (Duit & Treagust, 1998; Duit, 2004), један од задатака је био да се број уписаних студената на природне факултете мора повећати, како би Европа пратила развој САД – а и Јапана (European Council, 2001). Сагласно циљевима, осмишљени су пројекти који обсервирају затечна стања – PISA (OECD, 2004), али и они који полазећи од затеченог пружају решења као што је TIMSS – курикулум (Martin et al, 2004). Суштински је то био одговор Европе на реформска документа у области науке и образовања САД – а, од којих су два најзначајнија: Пројекат 2061 – Наука за све Американце (American Association for the Advancement of Science, 1989) и Национални научни образовни стандарди – NSES (National Research Council, 1996).

Два су императива садржана у оба документа, један је инсистирање на сарадњи између научних дисциплина, односно настава базирана на интегрисаним темама и други да настава буде организована на педагошком искуству и методама које дају везу између свакодневног искуства ученика и наставе (Campanario, 2002). Један од значајних принципа на којима се базирала операционализација ових императива био је „мање је више“. Он је подразумевао детаљно разумевање и усвајање редукованог скупа брижљиво одабраних појмова, који за последицу има да је ученик на крају образовног циклуса (основна школа, средња школа или факултет) *научно описмењен*. То је потребан и довољним условом за наставак школовања, запошљавање или квалитетан свакодневни живот (Lederman, 1998).

Србија је учесник PISA и TIMSS пројеката. Резултати ових истраживања показују: да су садржаји и теме у оквиру природних наука слични садржајима и

---

темама у земљама Европске уније, али да им је слаба (или непостоји) појмновна структура; да је настава оријентисана ка садржајима, а не ка постигнућима; да су интегрисани садржаји природних наука минимално заступљени или скоро непостоје (постојање фиока знања односно сматра се да су одређени наставни појмови везани само за једну науку); да су методе учења у највећој мери традиционалне, односно усмерене ка нагомилавању чињеница. Ученици у Србији од три конгитивна домена (познавање чињеница, разумевање појмова, анализа и резоновање), највише познају чињенице, донекле разумевају појмове, а скоро никад не анализирају нити резонују (Луковић и Вербић, 2009). Питање сврсисходности таквог знања, указује на неопходност иновирања постојећег школског система, јер само флексибилна школа, спремна да прати промене, може ученицима да омогући стицање потребних знања и вештина на основу којих је могуће целог живота учити, радити и стварати (Нагл и Обадовић, 2008).

## **1.2. Настава физике у школама Србије**

### **1.2.1. Настава физике у основним школама**

Настава физике у основним школама Србије базира на наставном плану и програму физике који је настао још 1984 – 1985. године, а који се званично примењује од 1990. године (Службени гласник, 1990). Усвојени циљеви наставе физике су да ученици упознају природне појаве и основне природне законе, оформе основу научног метода и да се усмере према примени физике у животу и раду (Dancy & Henderson, 2007). Из циљева су изведени задаци који подразумевају да ученици: упознају основне законе природе; упознају значај коришћења метода експеримента; оспособе се за квалитативно решавање физичких задатака и проблема; развијају мишљење и расуђивање; развијају радне навике и заинтересованост за физику и природне науке; упознају став човека према природи и развијају правилан однос према заштити природне средине; стекну основе за техничко образовање; стекну навике да штеде енергију; развијају смисао за рад у радним групама и тимовима, као и позитивне особине личности нужне за конструктивну сарадњу при решавању задатака



---

(Basarić, 1979; Влаховић и Жарковић, 1995). Мора се признати заиста језгровит, јасан, респектабилан, надасве савремени приказ циљева и задатака наставе физике! У чему је проблем и зашто је он реално неостварљив? Суштина проблема је у преобимности наставних садржаја и великом броју појмова за предвиђени број часова наставе и необучености наставника за употребу ефикасних метода учења. Мора се истаћи да је релативно малом броју наставника омогућено учешће у адекватних програмима едукације који му помажу у превазилажењу наведених проблема (Mestre, 2001).

Слични проблеми постоје и у образовним системима других држава. Међутим они су, на пример у Америци, препознати као „имератив регрутовања и задржавања високо – квалификованих наставника физике кроз обуку, као кључну важност за Америчку глобалну конкурентност“ (McDermott, 2001; Singh et al, 2010). На конференцији Интернационалне комисије за науку (ICSU) у Пекингу јасно су назначени, и данас актуелни, циљеви обуке наставника и његово континурано образовање преко:

- наставничких факултета;
- перманентног регрутовања преко социјалног и економског сатуса;
- кохерентног наставног плана и програма (ICSU, 2000).

Наставник је тако стављен у професионалну дилему да се, уколико жели да реализује све наставне садржаје и појмове, определи за монолошку – екс катедра методу и да често часове предвиђене за понављање, утврђивање или експерименталне вежбе претвори у часове „предавања градива“. На тај начин наставник добија само штуре или скоро никакве информације о нивоу постигнућа ученика (Desimone, 2002; Cahyadi & Butler, 2007). Друга могућност је да се наставник определи, уложи напор и уведе друге наставне методе. Њихова реализација је захтевнија, али тада наставник добија сталну информацију о нивоу постигнућа ученика и могућим корекцијама током наставе. Од посебног значаја је увођење научног метода у свакодневну школску праксу (Léna & Quéré, 2004) који је заживео у основним школама Србије увођењем изборног предмета „Рука у тесту“ (Шарпак, 2001), од првог до четвртог разреда основног образовања 2003. године (Бошњак и Обадовић, 2009;

Jokić, 2006; Obadović и сар, 2007). Пројекат „Рука у тесту“ је, за релативно кратко време имплементације, показао да настава заснована на експериментима из области природних наука, који могу бити изведени и у најнеопремљенијим школама, за последицу има ученике, који су када заврше основну школу оспособљени да нађу своје право место у друштву којим доминира наука и техника. Најкраће речено, ученици су оспособљени за будућност и живот у њој.

Различите студије показују да ученици имају урођене склоности ка 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, када интерес нагло пада, а у доби од 14 година њихов став и интерес за проучавање науке је у великој мери формиран” (Pugh et al, 2009). Дакле, ако се жели повећање популације ученика оријентисаних ка природним наукама, који касније уписују средње школе и факултете природних оријентација, мора се више посветити пажња мотивисању како ученика, тако и наставника (Häussler & Hoffmann, 2000; Pintrich, 2002; Scherr, 2003).

### 1.2.2. Настава физике у гимназијама

Гимназије се налазе у коренима образовног система. У класичној Грчкој, „gymnasion” је представљао јавно вежбалиште за младиће изнад 18 година, који су обликовали своје тело (*gymnos* – наг). Као и у старом Риму уједно су и место окупљања филозофа. Хуманисти у XV и XVI – веку почињу да употребљавају овај назив за школску установу (Савица, 2003).

У западној Европи, гимназија се развила из манастирских и катедралних школа и представљала је у извесном смислу „латинску школу“ (школу латинског језика). Прва гимназија је основана у Стразбуру 1537. године од стране Јоханеса Штурма (Johannes Sturm, 1507 – 1589). У време хуманизма и ренесансе, у XV и XVI – ом веку, гимназија је била оријентисана на духовне, научне, уметничке и етичке идеале антике. Личност је центар пажње, а циљ образовања је самостално и критичко мишљење ученика. Време неохуманизма доноси удаљавање од античких принципа, али и утемељење гимназија у стубове образовања. Гимназијско образовање је тада подразумевало одсуство сваке

---

сврсисходности, примат развоја целовите личности над специјализацијом у једном правцу и поимање грчке антике као узора највишег хуманитета. У наставном програму су преовлађивали предмети језичког карактера. Садржаји хуманистичке гимназије игнорисали су индустријску револуцију, негујући несврсисходност и практично били неупотребљиви у припреми за вршење неког практичног позива, тачније то је била „школа за репродукцију градива“!

Данашње гимназије у Европи, имају природно – математичко, или језичко усмерење. Образовни садржаји су чвршће повезани са животом у модерном друштву, примарно оспособљавајући ученика за наставак школовања, али и за улазак у свет рада (Андрић и сар, 2005; Rado, 1999).

На нашим просторима, у саставу Аустро – Угарске монархије, после 254 године од оснивања прве гимназије у Европи, основана је у Сремским Карловцима 1791. године гимназија заснована на хуманистичким принципима. Ова гимназија имала је класични карактер, али је наставни програм обухватао и природне предмете (Петровић, 1992).

У Србији прва гимназија отворена је 1830. године у Београду, а 1833. године пресељена је у Крагујевац. Истовремено, 1836. године, оснивају се гимназије у Шапцу, Чачку и Зајечару. Касније, гимназије су по својим програмима и садржајима нешто другачије. Успеси у постигнућима природних наука, ширење хоризоната сазнања о свету, путовања, експедиције и истраживања чине неопходним учење и знање модерних језика, а социјални програми и пројекти преображавања друштва појачавају интерес за друштвене науке што продукује промену садржаја образовања. Као основа се узимају реална знања и дисциплине о емпиријској стварности и тако настају реалне гимназије или реалке (на латинском *realia* – ствар од значаја за практични живот). Крајем XIX – века гимназије представљају базу из које израстају факултети и она постаје стабилан систем средњег образовања, који води ка даљем школовању, али са својим практичним карактером и раду. Почетком XX – века гимназије се по програму деле на класичне (читај језичке), реалне (општи тип) и реалке (сада стручне школе). После Другог светског рата, оснивају се прве стручне школе, усмерене ка раду, а гимназије дефинитивно

---

остају школе општег образовања усмерене ка даљем школовању. Од 1967. године у Србији су озакоњени смерови друштвено – језички, природно – математички и математичка гимназија. Године 1974. се доноси Резолуција којом се оспоравају све школе које не припремају за рад, тако да су 1979. године гимназије укључене у систем усмереног образовања. Првобитан назив и улога враћају се гимназијама 1992. године, али се уводе и смерови са прерађеним програмима и садржајима (Недовић, 2000).

У суштини, основни недостатак гимназија састојао се, и пре сто година као и сада, у замени ученичког интересовања, слободе и спонтаности строго прописаним наставним плановима и програмима и фиксираним садржинским појмовима, који се у том периоду масовно уводе у школе у Европи (Ковач – Церовић, 2000) чинећи суштинску супротност идеалу развоја слободе и креативне личности ученика. Тако се догодило да главни проблем гимназија није настао као непредвиђен ефект случајних околности, већ је био утемељен у самом устројству школе. У Европи се одговор на то састојао у разблаживању круте унутрашње структуре, увођењу унутрашње диференцијације профила и модуларне наставе (Klieme, 2003). У гимназијама у Србији степен мотивисаности ученика за савлађивање градива организованог по застарелим принципима је веома незадовољавајући, баш као што је био и случај пре сто година у осталим деловима Европе (Нагл, 2005).

Из природе околности у којима се сада налазимо, проистиче да је гимназија у Србији данас по правилу у великој мери усмерена ка традиционалном методу учења односно реализовању крутог, недовољно савременог наставног плана и програма. При томе, готово сви заинтересовани, наставници, затим родитељи и ученици знају или интуитивно осећају да гимназија мора да има неку другу сврху од ове коју виде и доживљавају (Ковач – Церовић и сар, 2004). Она младим треба да помогне да слободно размишљају, да постану аутономне личности са поверењем у властито знање и способности, кадре да наставе школовање или се пак остваре у свету рада (Кнежевић и сар, 2002). Ту треба споменути и одговоран однос према периоду од четири године, који млади људи проводе у гимназији у напону својих интелектуалних способности. Време се углавном троши олако. Велики је број

---

изгубљених часова услед слабе организације школе или немотивисаности наставника („бели штрајк“). Губи се време због одсуства усаглашености програма, одустајања од тематског приступа настави и непостајању сарадње између наставника. Од ученика се тражи да велики део времена утроше учећи садржаје за које они сами не виде смисао, нити им било ко релевантан у процесу образовања објашњава сврху истога (Шадриков и Старовойтенко, 1987). Често се инсистира на механичком учењу, који мали број ученика уме да синтетизује у неку форму знања. Крајњи исход, после четири године, је да ученик нема ни довољно сигурности ни знања за даље студије, нити је у потребној мери квалификован за вршење неког занимања. Ове чињенице потврђују анализе резултата заинтересованости ученика за упис у гимназије.

Основна карактеристика ученика виших разреда, а посебно у друштвено – језичком смеру, је превасходно добра вербална комуникација и слободоуман дух. Ипак и код „најгласнијих“ приметан је умор заснован на досадашњој примени традиционалног метода учења, помешан са растућим обавезама условљеним завршетком школовања и припремом уписа на факултет. Ученици су загубљени између добијања завршних оцена и индивидуалног спремања за пријемне испите на факултету (Петровић, 1998; Јокић, 2005). Од професора, а посебно професора физике, се тражи смањивање школских обавеза. Наставник се професионално, али и лично, налази у дилеми како реализовати обавезне програмске садржаје, а да се ученицима остави довољно времена за нарасле активности! Наставник је у ситуацији да проблем система образовања решава као појединац и у већини случајева се одлучује за компромис, тако што скраћује обим неких тематских делова. У оваквим случајевима велику улогу игра искуство наставника, студије показују да се искусни наставници боље прилагођавају оваквим захтевима, било да се ради о већ реализованим наставним темама или о новим (Freitas et al, 2004).

Једно од могућих решења је увођење научног метода који је саставни део физичког, односно природног, поимања стварности и који представља суштинску разлику између слепог веровања и откривања истине. Добре резултате показује и примена конструктивистичког метода, заснованог на Пијажеовој теорији конгитивног развоја (Пијаже, 1968) или

---

смислено – рецептивна метода по Аусбеловом смисленом учењу (Ausubel, 1968) чији су резултати примене приказани на примеру наставе хемије (Zarotiadou & Tsaparlis, 2000). Најновија истраживања показују да на тај начин стечена знања, умења и вештине показују виши квантум, квалитет и ретенцију. Када ученици активно учествују у настави и упознају процес научног откривања истине, тада боље разумеју процес образовања и своју улогу у њему (Lawson et al, 2001; Lawson, 2009).

Многи наставници следе смернице различитих институција (Друштва физичара, Предметне комисије за физику, Заједнице гимназија) и врше реорганизацију и оплемењивање наставе физике. Резултати оваквих напора резултирају оснивањем нових смерова међу којима је и Информатички смер гимназије реализован први пут школске 2006/2007. године као оглед у десет школа у Србији, као и у Шабачкој гимназији (Нагл, 2006). Заинтересованост ученика је порасла, тако да се и после четири године пријављује двоструко више кандидата у односу на број који се прима на тај смер. Међутим, наставни садржаји, као и методе наставе информатичких предмета су измењени, али за остале предмете су преузети из постојећих смерова гимназије, дакле остали су традиционални. Настава треба да је организована тематски, са инсистирањем на интегрисаним темама и међуобласној сарадњи. У савременом образовању постоје примери појединачне добре праксе, као и читави пројекти базирани на интегрисаним темама које превасходно припремају наставнике: „...јер наставне теме често превазилазе оквире једне научне дисциплине, као што су енергија, њена промена и одрживост, њена структура...” (Luera et al, 2005).

Светска искуства показују да школа и наука морају бити у тесној повезаности, наиме и поред великог труда и улагања у образовање и везу науке и школе, истраживања показују да младе људе и даље мобилише наивно схватање науке, те да они не увиђају повезаност свакодневног живота са науком и школом коју похађају (Richard & Vader, 2009)! Садржаји у школама, тематски и методолошки, требају да буду такви да ученици уоче, вежбају и усвоје знања и умења, која су им корисна у свакодневном животу, али да им она дају и одговоре на техничко – технолошки и социолошки развој друштва као целине (Lederman et al, 2002).

---

Наставу физике у гимназији, карактерише проблем преобимности садржаја који је мање изражен у природно – математичком смеру, због већег фонда часова (2+3+3+5, од I до IV разреда респективно), у односу на друштвено – језички смер у коме је фонд часова мањи (2+2+2+2, од I до IV разреда респективно – Недовић, 2000). Иако је ниво садржаја у друштвено – језичком смеру незнатно релаксиран у односу на природни смер (Службени гласник, 1990), незинтересованост ученика за наставу физике оријентисаних ка друштвеној групи предмета, резултује често питањем да ли су њима садржаји физике уопште потребни (Ивић и сар, 2003)? Ипак и поред првобитне оријентације ка друштвеним предметима, неретко се догађа да услед активности наставника на осавремењивању процеса наставе физике, ученици друштвено – језичког смера упишу факултете природних наука, укључујући и смерове физике на неком од природно – математичких факултета. Дакле, образовању ученика из физике у средњим школама, а посебно у гимназији терба посветити посебну пажњу, јер оне представљају регрутну базу студената како за факултете природних наука тако и техничке факултете. Професори на факултетима тада „могу јасно уочити разлику у квантуму и квалитету усвојених знања студената из различитих средина и профила школа” (Sadler & Tai, 1997).

Савремено друштво захтева ефикасне методе учења, са акцентом на научном методу, које се не заснивају превасходно на учењу резултата науке (Kirschner & Erkens 2006; Mayer, 2003), већ на конструктивној изградњи нових знања заснованих на емпиризму и истраживању. Таква знања воде ка неопходном егзактном закључивању у решавању проблема које намеће савремен живот (Millar & Driver 1987; Nola 1998; Hodson 1986).

## Глава II

### 2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО

#### 2.1. Научни метод у настави физике

Научни метод сједињује у себи све карактеристике научних поступака и представља резултат развоја научних сазнања (Уео, 1986; Наиг, 2005). То је метод којим се најефикасније обављају истраживања која воде до потпуног описивања предмета – појаве, а подразумева три етапе (фазе): 1) непосредно емпиријско истраживање и опис чулно – конкретних запажања предмета – појава; 2) прелазака са чулно – конкретних запажања на исходно – апстрактне особине, односно познавању особина предмета – појава; 3) повратак ка процесу апстраховања на основу знања о особинама предмета – појава, односно, процесу преласка од исходне апстракције ка целокупном теоријско – конкретном познавању предмета – појаве. Наведене етапе (фазе) представљају пут ка конкретном, суштинском научном мишљењу, способном да се примени у пракси (Kosso, 2009). У табели 2.1. приказани су принципи, форме и методе научног сазнања.

**Табела 2.1.** Принципи, форме и методе научног сазнања

<b>Основни принципи знања</b>	<b>Основне форме знања</b>	<b>Основне методе знања</b>
Принцип јединства објективног и субјективног	Чулна и рационална; Формална и садржајна.	Посматрање. Експеримент. Моделирање. Анализа и синтеза.
Принцип јединства историјског и логичког	Емпиријска и теоријска (чињеница, идеја, хипотеза, теорија).	Индукција и дедукција. Историјски и логички методи.
Принцип јединства апстрактног и конкретног	Истина	Метод закључивања од апстрактног ка конкретном.



Може се уочити да свака колона започиње са простим, а завршава са сложеним, конкретним принципима, формама и методама, али тако да претходни елемент у колони не исчезава, већ се утапа у следећи. Веза по хоризонтали није тако очигледна, но такође постоји, нарочито у финалној врсти, где су по Хегелу (Georg Wilhelm Friedrich Hegel, 1770 – 1831.) истина и конкретност синоними. Закључујемо да се одређени принцип, примењен у пракси на предмету – појави, претвара у метод, на пример принцип историјског претвара се у историјски и логички метод. Функционална повезаност у табели по колонама може се представити као грађење знања и поредити се са грађењем знања, дакле принципи су темељ, форма је грађевински материјал, а метода је технологија грађења знања односно знања! (Ристић, 1995).

Многи аутори су траг почетака научног метода и експериментисања тражили код старих народа: Грка, Арапа, Шпанца, и других. Аристотел (Ἀριστοτέλης, 384 – 322. п.н.е.) као врхунски мислилац био је један од зачетника процедуре метода, сматрајући да се посматрањем и размишљањем може стићи до поузданог сазнања. Роџер Бејкон (Roger Bacon, 1214 – 1294.), ослањајући се на дела арапских научника, описивао је поновљени циклус научног метода: посматрање, хипотезу, експеримент и верификацију (Clegg, 2003). У модерној култури Галилеју (Galileo Galilei, 1564 – 1642.) се приписује да је отац научног метода. У енциклопедији Британика од 1970. пише: „Док је Франсис Бејкон (Francis Bacon, 1561 – 1626.) био филозоф, научни метод је први употребљавао Галилеј који је уз комбинацију посматрања, хипотеза, математичког закључивања и образложеног експеримента, основао науку динамику”. Ф. Бејкон је објаснио овај метод у *Novum Organum*, објављен 1622. године и он се често помиње у литератури за допринос научној методи. Декарт (René Descartes, 1596 – 1650.) у свом делу „*Discourse on Method*”, 1637. године расправља о методама и на тај начин даје допринос развоју научне методе. Оригинално, научни метод је назван експерименталним методом или методом науке. Као најраспрострањенији метод у науци коначно је заокружен у XIX веку и назван научни метод (Laudan, 1968).

*Научни принцип* (од латинског *principium* = *начело*) је водећи у систему дидактичких принципа (Грнавац и Ђорђевић, 1998) и као такав изражава научну одредбу наставе у савременој школи и идејну оријентацију наставног процеса. Научни принцип непосредно произлази из карактера природних и друштвених појава и процеса, односно научне заснованости свих појава и процеса и научног погледа на свет. Самим тим појам научности се односи на сва подручја и аспекте науке, оријентацију наставних садржаја у правцу савременог развоја наука, научно излагање и тумачење наставних садржаја, методику наставе која је заснована на науци. Принцип научности захтева: да ученици током свих година учења и школовања усвајају научно проверена знања која одговарају савременом нивоу науке, тендецијама и перспективама њеног развоја; да ученици сагледавају повезаност и односе унутар сваке наставне дисциплине или појединих дисциплина: да се код ученика формирају потребе и навике да самостално стичу научна знања; да се ученици упознају са методама науке и основама научног метода и техника које се примењују у истраживањима на начин који је ученицима доступан (Грибанова, 2006).

Традиционална дидактика принцип научности разматра у емпиријском значењу, од конкретног ка апстрактном, док савремена, супротно, у дијалектичком значењу, од апстрактног ка конкретном. То подразумева да је процес сазнања усмерен ка формирању апстракција како на теоријском, тако и на емпиријском плану. Сам начин формирања апстракција, уопштавања и схватања, не заснива се на упоређивању формално једнаких предмета већ на анализи суштинских ознака система који се уче. Дакле, принцип научности захтева да током наставе ученици упознају суштинске, битне ознаке и својства неког предмета, као и везе између предмета и појава (Tang et al, 2009).

Успешна реализација принципа научности је везана за узраст ученика. У основним школама у Србији настава се претежно изводи на емпиријски заснованим садржајима, који се ретко када повезују са појмовима. Она је прагматички оријентисана, подржава и учвршћује формално – логичке начине емпиријског уопштавања, а спорадично и недовољно се утиче на

---

оспособљавање ученика да *умеју да мисле*. Ове слабости се могу избећи ранијим увођењем општих појмова, а у каснијој фази они треба да буду доминантни, тако да се у кретању од општег ка појединачним код ученика развија умеће да потпуно овлада апстракцијама, као и да се у даљој анализи конкретних емпиријских појава ослањају на појмове (Lehrer, 1990).

У настави, као и у науци, потребно је спровести одговарајуће специфично истраживање и направити откриће да би се дошло до општег принципа. Резултате својих истраживања научник излаже посредством садржинских апстракција, генерализација и теоријских појмова. Према схватању представника развијајуће наставе, ученик приступајући неком наставном садржају треба да уз помоћ наставника анализира тај садржај са циљем да открије у њему неки изходни, општи однос који се појављује у другим деловима (случајевима) садржаја одређеног наставног предмета. Када тај општи однос фиксира у некој знаковној форми он тиме обавља садржинску апстракцију проучаваног садржаја. Настављајући даље анализу, ученик ће открити закониту повезаност откривеног општег односа са његовим различитим манифестацијама у градиву. На тај начин ученик ће као и научник поред садржинске апстракције обавити и садржинску генерализацију (Давыдов, 1996).

Један од најважнијих проблема спровођења научног принципа је што научно – технички напредак цивилизације у значајној мери превазилази брзину имплементације савремених открића у наставу. У таквој ситуацији посебан значај добија избор *фундаменталних знања и метода* која су предпоставка ефикасног система савременог општег образовања. У науци све више долази до изражаја процес генерализације научних концепција, система и метода (Куликов, 2001; Сериков, 1999).

Упознавање ученика са организацијом, методама и техникама научно – истраживачког рада и њихове примене, полази од једноставнијих самосталних истраживања и постепено прелази на све сложенија, у мери која је доступна ученицима одређеног узраста (Komenski, 1954). То је важан задатак принципа научности у настави, који се не односи само на садржаје већ и на

усавршавање наставних метода и поступака и примену различитих наставних облика (Репкин, 1997).

У складу са научним принципом настао је, развијао се и операционализовао научни метод. Конкретно од Галилео Галилеја, који уводи експеримент у науку (Naylor, 1990), процедура научног метода је заокружена и таква је и данас. Научни метод је постао фундаменталан метод за изучавање стварности, помоћу кога се све информације и тврдње морају доказати пре него што се прихвате. То значи да се ништа не сме узимати априори тачним само на основу нечијег ауторитета. Све тврдње морају бити проверене и само оне које добију експерименталну потврду могу се прихватити као истините. Уколико се појаве такве да докази и/или чињенице указују на њихову нетачност, дате тврдње се морају преиспитати, одбацити или модификовати, како би биле у складу са новим подацима, или се морају заменити адекватнијим тврдњама (Шулежко, 2003).

Физика је фундаментална наука која на рационалан начин истражује стварност. Базирана је на научном принципу, од несамерљивог је значаја у откривању истине, нарочито ако се упореди са ирационалним или мисаоним хаосом, религијама или мистицизмом где се износе различите, често бизарне, тврдње при чему се дато не може довести у питање, проверити или побољшати. Стављајући научни принцип у први план, наука се издвојила, као најмоћнија и најзначајнија метода за откривање стварности. Давидов (Давыдов, 1992) сматра да наставни задатак треба да се формулише у складу са процесом настанка научног знања. Неопходна претпоставка за његово решавање је да ученик у сажетој и скраћеној форми понови процес који је довео до настанка одговарајућих научних знања. Тиме ученик не усваја знања у готовом облику, већ открива и реализује реалан процес који је довео до њиховог настанка у науци. Тада ученик примењује исту методологију која је довела до конституисања знања и појмова у науци. На тај начин он ставља себе у сличну ситуацију у којој је био научник, и превазилази при томе одређене (не све) противречности које се у том процесу јављају.

Научни метод има своје карактеристике што подразумева:

- **Објективност сазнавања.** – Под тим подразумевамо да сазнање као процес мора да има природан, али ипак одређен однос – узајамност, интерактивност према стварности. Стварност проучавамо одређеним поступцима и на тај начин долазимо до истинитог сазнања о њој. Једна од важних одлика дијалектичког закључивања које је саставни део научног метода је инстистирање на проучавању стварности;
- **Упорност и истрајност научника, мислиоца, истраживача.** – Особине које се пре свега односе на личност истраживача, али које представљају потребан и довољан услов, без којих није могуће постићи егзактне, валидне и трајне резултате. Истраживач мора бити упоран при решавању проблема јер је за њихово решавање, скоро увек, потребан дуг временски период. Такође је неопходно да истраживач буде истрајан у својим намерама и напорима који воде решавању проблема;
- **Егзактност и проверљивост резултата.** – Процес и резултати научног истраживања морају бити такви да се сазнања стичу, уређују, систематизују и излажу тако да их било ко други може проверити. То подразумева да свако поново, на исти начин и под истим условима истраживања, може добити исте резултате које је добио неки истраживач раније;
- **Рационално – емпиријски став.** – Сазнање проистиче из искуства истраживача, али и искуства осталих истраживача, те као такво има одређени однос према искуству истраживача, али и према искуству ненаучних кругова, односно искуству друштвене заједнице. Научник према искуству или стварности зато мора имати рационалан став, операционализован кроз рационалан метод који

---

подразумева стално тражење разлога на путу разума и ума, за нешто или против нечега;

- *У науци се одбија прихватање ауторитета као аргумента.* – Бројни су примери у ненаучним, али и у научним круговима, да се неко позива на велика имена у науци, на мисли великих људи и слично, међутим, то углавном нема значај доказивања. Метод позивања на ауторитет је у ствари метод религија и идеологија. Религија се ослања на веровање и то веровање које је нужно у вези са неким одређеним бићем – богом, схваћеним као нешто натприродно, што се не да објаснити и схватити. У науци таквог веровања нема, иако и у науци може да се наиђе на прихватање одређених претпоставки „на поверење”. Овакво прихватање је привремено, што треба проверити и доказивати. У религији, митологији и у неким другим облицима свести, наилази се на позивање на ауторитет било великих мислилаца, или неких личности, било на позивање на ауторитет разних списа. Као такав спис важи Библија или неку други свети спис. Они, наравно, не могу бити аргумент. То не значи да у таквим списима нема нечега од оног што се може назвати сазнањем. Али, позивање на ауторитет списа и мислилаца или великих личности уопште заснива се на претпоставци о непогрешивости било списа или мислиоца. Таква претпоставка је неоснована. У списима код великих мислилаца наилази се на различите логичке противречности, што говори против кохерентности мишљења у списима и код таквих аутора. Међутим, научно сазнање је играло велику улогу управо у одабирању таквих ауторитета, путем критике, путем налажења противречности у њима, а то је у вези са напретком и објективношћу научног сазнања (Шешић, 1982). У средњем веку су коришћени разни методи присиле, управо у вези са питањем ауторитета и позивањем на ауторитет. Ти методи присиле су били усмерени против слободе мишљења и на тај начин су кочили развој научног сазнања и ометали примену научне методе. Један од

---

стравичних примера борбе религије против прогреса научног сазнања је спаљивање Ђордана Бруна (Giordano Bruno, 1548 – 1600.) и борба против хелиоцентричног система. Поред тога постоје и предрасуде које такође коче развој сазнања, које људи не осећају као присилу или као нешто што им је наметнуто, а што је ипак у супротности са научним сазнањем, и омета развој научног сазнања. Тако је научно сазнање могуће развијати само уз одбацивање и критику таквих предрасуда. Оне су утолико већи негативни фактор развоја научног мишљења што су, обично, дубоко укоренење и што се не осећају као сметње;

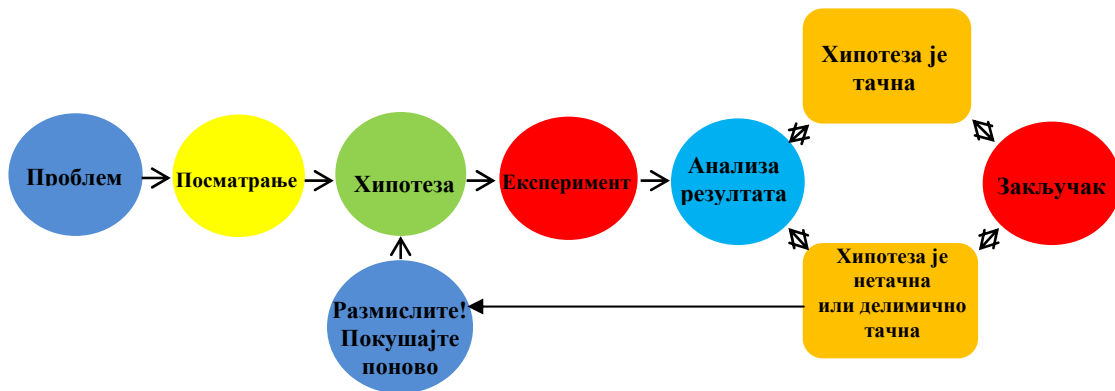
- **Научни метод се не ослања на интуицију.** – Метод интуиције је био присутан у раним фазама научног сазнања, тако да се не може занемарити као део научног метода. Сазнавање се тада ослањало на очигледност или самоочигледност. Ово се пре свега односи на Аристотела и његову школу, јер све што би он уочио, стварно или интуитивно, без доказа сматрало би се истином – научним сазнањем, што наравно није тачно. Каснији развој научне мисли подразумевао је да се бар неки принципи научног сазнавања морају ослањати на интуицију. Савремена наука метод интуиције разматра као историјску тековину у развоју сазнања. Развој критичког мишљења показао је да су такозване самоочигледности најчешће резултат навика из свакодневног живота и резултат васпитања. Међутим, као момент креативног стваралаштва, интуиција има одређену улогу у процесу истраживања;
- **Критички став према стварности.** – Важна карактеристика научног метода је критика према научном сазнању. Научник мора бити самокритичан према самом себи, према својим ставовима и истраживању уопште. Због тога је процес истраживања стално подвргнут сумњи и провери добијених резултата. Научни метод подстиче и развија сумње у све што није доказано и проверено. Као последица таквог поступка и рада, у науци остаје само оно што је

више пута проверено и дало исте резултате. Сумња као таква је неодвојиви елемент метода научног сазнања. То је незаобилазан пут научног прогреса одакле произлази гомилање научног сазнавања. Ово је важна карактеристика научног сазнања, што подразумева да се сазнања унапређују из генерације у генерацију истраживача, што за последицу има прогресивни раст знања. Међутим, сумња не треба да прерасте у скептицизам или нихилизам. Скептицизам је једна крајност у примени сумње, када се сматра да ништа није извесно, да се ништа не може доказати и да ниједно сазнање није сигурно. Још већа крајност је нихилизам, који пориче значај оног што је постигнуто, који негира свако научно сазнање. Ни скептицизам ни нихилизам, као филозофске оријентације, немају неке нарочите вредности у научној сазнању, односно оне нису креативне.

Научни метод, према изложеном је значајан метод научног сазнања, развијен током еволуције научног сазнавања различитих наука. У суштини, он је комплексан метод који подразумева одређене фазе, претпоставке и услове да би могао да буде успешан. Елементи научног метода су разни методски поступци, односно фазе, које за сврху имају креативно стварање научног сазнања (Зајечариновић, 1974).

Научна метода се састоји из низа логичних поступака. Фазе научног метода су: дефиниција проблема, прикупљање података, формулација хипотезе, експеримент, тестирање хипотезе и закључак (слика 2.1). Уводећи научни метод у наставу ученици усвајају одређен начин размишљања (постављање хипотеза, њихово експериментално потврђивање, доношење закључка и решавање насталих проблема), који им олакшава решавање проблема не само у науци, него и у свакодневном животу (Gaugch, 2003).





Слика 2.1. Шематски приказ поступка научног метода

- **Дефиниција проблема**

Опис и прецизна дефиниција предмета интересовања, једног добро дефинисаног сегмента природе, подложног испитивању представља основну аналитичку фазу сваког истраживања. Под дефиницом проблема подразумева се дефинисање скупа објеката и њихових интеракција, као и мерљивих параметара који описују ове објекте и интеракције. Предуслов за ово је свакако извесно претходно разумевање суштине предмета интересовања, односно постојање предзнања, или бар интуитивно осећање о томе да ли је предмет истраживања физички процес, минерал, звезда, одређен тип појава у коме дефинисани објекти учествују, ... Ово се најчешће постиже пажљивим посматрањем, али и циљаним експериментисањем.

Проблем мора бити питање из чијег одговора ће се научити нешто ново о природи. Подразумева се да на то питање нико још не зна одговор. Раније, када су комуникације биле слабе, често се дешавало да једно те исто откриће направе научници не знајући један за другог и са неколико десетина година размака. Дакле, предмет истраживања је нешто што још није испитано, а не нешто о чему истраживач нема појма. Ово друго би се звало учење, а не наука. На пример, када би се неко данас гласно упитао, „Да ли је Земља центар Свемира?“, свако би му рекао да се то учи у трећем разреду основне школе, или да отвори

интернет и гледа у Свемир директно. Међутим, у време Галилеја оваква питања су угрожавала не само егзистенцију него и живот оног ко их поставља.

- ***Прикупљање података***

Прикупљање емпиријских података о особинама и начину приказивања унапред одређеног предмета истраживања, односно о одређеној, или о свим, особинама појаве која се истражује представља основну компоненту научног метода. На овај начин сакупљају се подаци, који омогућују изналажење емпиријских законитости у зависности од особина за које се претпоставља да су релевантне за појаву која се истражује. У случају комплексних вишепараметарских система од посебног су значаја квантитативна истраживања изражена реалним бројевима, у циљу математичког описивања појаве и утврђивања степена поузданости или тачности, тог истраживања. Придруживање бројних вредности датим особинама природе, представља мерење. Од посебног интереса је прикупљање што објективнијих информација тако да резултат не зависи од оног ко врши истраживање.

- ***Формулација хипотезе***

Формулација хипотезе је можда најважнији елемент научног метода. Анализа прикупљених података проширује се на још непознато и тада се поставља хипотеза. Претпостављање и утврђивање дубљих разлога због којих предмет истраживања има дато емпиријски утврђено понашање, подразумева проналажење зависности његових особина од особина објеката од којих је сачињен или са којима интерагује. Достизање овог нивоа знања подразумева стварање мисаоних слика о предмету интересовања, односно хипотеза које треба да су на основу целокупног ранијег сродног искуства интуитивно прихватљиве. Такође могу бити хеуристичне, релативно необразложене, али стимулативне за даљи развој, подложне корекцијама и усавршавањима ако се за то укаже потреба.

- **Посматрање (експеримент)**

Активно експериментисање садржи веома разноврсне и у свакој конкретној ситуацији различите радње од стране експериментатора са циљем детаљног, обично квантитативног упознавања неке особине појаве која се истражује. У овој аналитичкој фази истраживања о појави која се истражује прикупљају се најобјективније информације. Експеримент се првенствено састоји у контролисаном проучавању предмета истраживања. Класични, функционални експеримент, може да се изводи у две варијанте. Двопараметарски експеримент, користи се у физици или хемији, при чему се, бројне вредности свих параметара система стално држе под контролом. Један од параметара се бира за независно променљиву величину, други, чија вредност зависи само од вредности првог, представља зависно променљиву, а сви остали се држе константним. На тај начин је могуће одредити тип каузалне везе између независно и зависно променљиве величине, била да је она класично или статистички детерминисана. Ако на такав начин установимо везе између свих параметара система, тада о њему поседујемо потпуно емпиријско знање.

У другој варијанти функционалног експеримента, такозваном мултипараметарском експерименту, прилагођеном комплексним системима код којих је тешко или неизводљиво контролисати мноштво параметара који их описују, као што су то живи системи или њихове заједнице, дозвољава се симултано варирање већег броја параметара, па се специјалним методама анализе закључује о њиховим узајамним корелацијама или зависностима. Утврђене правилности у приказивању датог сегмента природе називамо емпиријским законитостима. Оне могу бити формулисане математички, или ако то није могуће описно, односно квалитативно.

- **Тестирање хипотезе**

Проверавање хипотеза као и њихово усавршавање у смислу повећања тачности описа је стална активност која чини срж научног метода. Ово је аналитичко – синтетичка фаза истраживања у којој се поред објективности може појавити и доза субјективности. Да би хипотезе биле валидне морају да задовољавају опште принципе чије је важење захтевано од стране целокупног ранијег искуства или математичким и логичким аргументима. При формулисању хипотеза и теорија корисно је бити свестан чињенице да ниједна појава у природи ни под каквим условима не може да наруши ниједну општу правилност утврђену у оквирима физике. Све што није забрањено овим законима, има коначну ненулту вероватноћу догађања. Дакле, посматрањем или експериментом, хипотеза се може потврдити или оспорити. Ако се потврди онда расте и вероватноћа да смо на правом путу у проналажењу одговора, а ако је експеримент оспори, враћамо се назад и постављамо нову хипотезу.

- **Закључак**

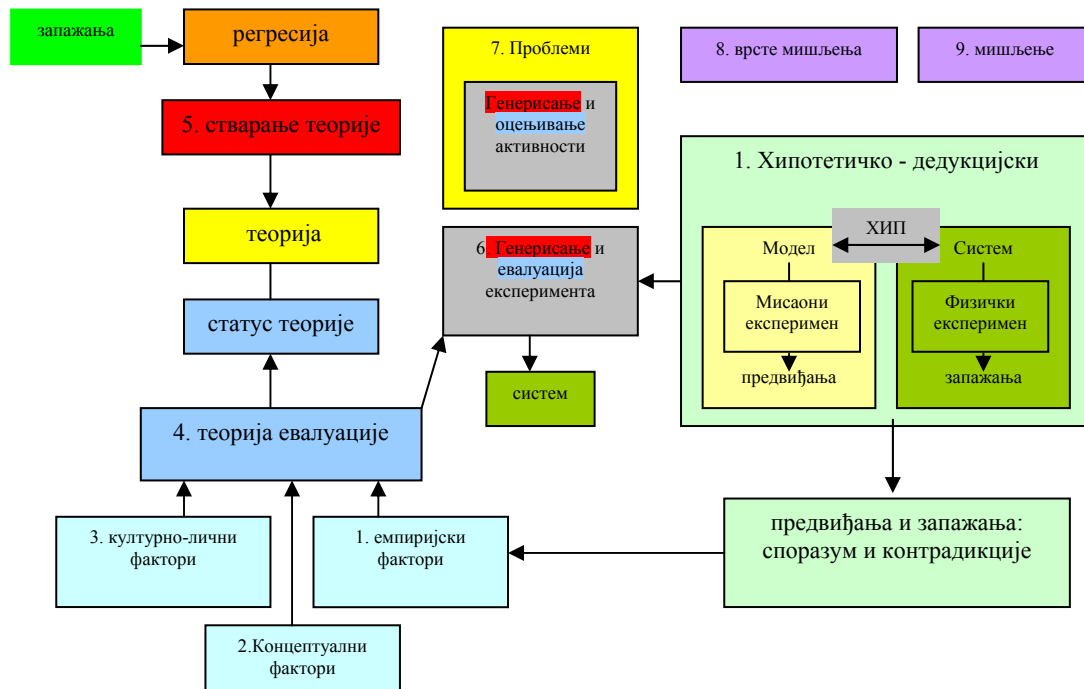
На основу једне или више потврђених хипотеза извлачи се закључак о постављеном питању, који касније може да послужи за формулисање нове теорије. Теорија је хипотеза која је преживела низ провера. Највиши ниво представља математичка формулација испитиване појаве. Теорије могу бити чисто квалитативне, каква је теорија еволуције која поједностављено, описно објашњава начин на који интеракције живих бића доводе до њихове еволуције, или на пример ултра квантитативних, каква је рецимо квантна електродинамика. Она у математичкој форми објашњава појаве које следе из интеракција наелектрисаних честица и које се са стварношћу слажу до на ни у којој другој ситуацији превазиђених десетак сигурних цифара. Теорије треба да образложе дате емпиријске законитости, али и да на основу својих општих разматрања омогуће разумевање понашања сегмената природе који нису директно послужили за њихово формулисање.

У случају Галилеја, свако ко би погледао кроз дурбин видео би исто, па чак и онда када би неко други сам саставио дурбин и погледао. Значи исто се дешава и у поновљеном експерименту. У овом случају стара хипотеза геоцентричног система је оспорена, тако да се истим експериментом доказује супротно, односно да Земља није центар Свемира (хелиоцентрични систем), јер за сателите Јупитера, он представља центар. Прича је утолико поучна што у науци ништа није коначно тако да експериментима претходне хипотезе бивају често оспорене. Тада се предлаже нова хипотеза, а разматрају се само оне, које још нису експериментално оспорене. Такве, ако су универзалне, прво зовемо правилима, па принципима и на крају законима. Најбољи пример за то су закони термодинамике (нулти, први, други и трећи). Ми не можемо да их потврдимо, али хипотезе из којих су настали још нису оспорене у ваљаном експерименту. Научни метод овако приказан, можда изгледа апстрактно, али да није тако можемо да се уверимо на једноставним примерима из свакодневног живота (Gower, 1997).

Савремена схватања научног метода, показују да се он без изузетка може применити у било којој научној дисциплини или области науке. Та констатација је важно јер примена научног метода у настави је тема истраживања ове дисертације. У сврху свеопште примене у науци осмишљен је метод, познат под називом Интегрални научни метод – ИСМ (Integrated Scientific Method – Rusbult, 1997).

Према Rusbult – у, ИСМ омогућава флексибилност (прилагодљивост) и импровизацију (креативност) током свих фаза метода, тако да се током његове употребе кроз све фазе смењују процеси питања и одговора, све до оног тренутка када се хипотезе било путем мисаоног или физичког експеримента провере или одбаце. Он наглашава сталну интеракцију између мисаоног и делатног, анализе и синтезе, индукције и дедукције, хипотезе и теорије, истичући у свакој фази научног метода проверљивост као једину исправну делатност.

ИСМ показује како је узајамна интеракција између вештине креативности и критичког мишљења интегрисана кроз решавање проблема у метод који користе научници. У ту сврху је дао општу шему ИСМ – а (слика 2.2). У моделу ИСМ – а јасно се уочавају стални радни – делатни односи између 9 категорија, 1 – 3 (три врсте критеријума за евалуацију: емпиријски, идејни и културно – лични), 4 – 6 (користе се за генерисање и евалуацију теорије и експеримента), 7 и 8 (користе се за евалуацију у истраживању и мишљењу) и 9 (категорија критичког мишљења).



Слика 2.2. Шематски приказ ИСМ - а

Прво поље чине емпиријски фактори и то су: експериментални систем, теорије, допунске теорије, предвиђања, хипотетичко – дедуктивна логика, степен сагласности, претходне и текуће хипотезе и слично. Друго поље чине идејни (концептуални) фактори, као што су: логичка систематичност, поједностављени модели, суочавање са сложености, интеракције између конфликтних критеријума, теорија когнитивне структуре и корисности, спољни

фактори и слично. Треће поље су културно – лични фактори и то: радост ка сазнању, други психолошки мотиви и практични разлози, идеолошки принципи, мишљења о „власти“, друштвено – институционални контекст (наука утиче на културу и култура утиче на науку), лична доследност и повратне информације и слично. Четврто поље је теорија оцена – евалуације које обухвата: процену унутрашњег стања и осталих релевантних стања, променљиве снаге закључака и хипотеза, сукобе између критеријума и слично. Пето поље је теорија генерисања и обухвата: избор и проналазак, регресију и хипотетичка закључивања, домен – теорије и теорије система, стратегије уопштавања, генерисање и евалуацију, спољни фактори и слично. Шесто поље представља експериментални дизајн што подразумева генерисање и евалуацију експеримента користећи: поље студија, учења о системима и теоријама, учење о експерименталним техникама, логичке стратегије за експериментални дизајн и слично. Седмо поље представља циљеве и акције које воде решавању проблема: припреме, циљ – ограничења, секундарне циљеве, примарне циљеве, формулисање пројекта и одлука, акције генерисања и евалуације, закључак, убеђивања, интеракције између фаза и активности, интеракције између и у оквиру нивоа и слично. Осмо поље представља мисаоне активности и подразумева: дефиниције, утицај на посматрање и тумачење, концептуалне стилове, варијанте заједнице у конфликту и слично. Девето поље представља обавезну мисаону активност која разматра: продуктивност мишљења, мотивацију, памћење, креативност и критичко мишљење.

Научни метод у ширем смислу омогућава ученицима да у даљем животу „корачају сигурнијим корацима“, али и да анализирајући сваки корак или план, постаје могуће антиципирати будућност и припремити се за њу унапред. Метод нам омогућава да одредимо смернице деловања и моралног процењивања које одговара ширем погледу него што су погледи на основу физичког надражаја и органског одговора (Колесникова, 1991).

Усвајање научног метода од стране ученика је један од предуслова за живот у савременом друштву и једна је од најважнијих битки које као крајњи исход имају научно описмењавање популације, спремне да се суоче са изазовима свакодневнице, али и да се сналазе у другим областима науке или

живота. То такође подразумева детаљну реформу образовног система у области садржаја, броја новоусвојених појмова у смисли „мање је више“, као и организације времена, како појединих предмета – часова, тако и боравка у школи, као и временског трајања образовних циклуса, од предшколског до факултетског образовања (Lederman, 1998).

Различита истраживања крајем XX века показала су да ученици на крају основног и средњег образовања немају позитивну слику о науци, као и да нису довољно успешни у решавању постављених научних проблема. У циљу превазилажења овакве ситуације амерички нобеловац Ледерман (Leon M. Lederman, 1922 – ...) први започиње са иницијативом увођења научног метода, као и једноставних експеримената („Hands on“) у свакодневну школску праксу. Он је један од најактивнијих учесника покрета „Physics first“, који се залаже да у првој години средњег образовања, у америчким школама, физика буде заступљенија од осталих природних наука (биологије и хемије).

Уз консултације са Ледерманом, под покровитељством Академије наука, нобеловац Жорж Шарпак (Georges Charpak, 1924 – 2010.), промовише у Француској идеју о увођењу научно – истраживачког приступа у основне школе, под називом „*La main à la pâte*“ 1996. године. Француска експертиза као и позитивно искуство учинили су да се пројекат прихвати и у другим земљама широм света: Немачкој, Аргентини, Белгији, Камбоџи, Камеруну, Чилеу, Колумбији, Сенегалу, Словачкој, Шведској, Швајцарској, Тунису, Вијетнаму, Кини, Бразилу... (Офре, 2004). Сарадња се проширује и на: Авганситан, Алжир, САД, Хаити, Иран, Луксембург, Мадагаскар, Мексико, Перу, Филипине, Того. Под називом „Рука у тесту“ овај пројекат у Србији покреће 2001. године др Стеван Јокић, научни саветник из Института за нуклеарне науке у Винчи.

Увођење научног метода у свакодневну школску праксу ставља у први план стицање знања кроз истраживање, експеримент, постављање питања и дискусију, насупрот традиционалног учења сувопраних исказа, које само треба меморисати. Основни мото је учи радећи – учи грешећи, исправљајући грешке уз помоћ наставника без санкција у првом кораку, пиши и прикажи текст



другима, кроз дискусију изложи своје мишљење, али и прихвати туђе уз аргументе.

Научни метод се заснива на следећим принципима:

1. Ученик посматра блиске предмете и феномене из реалног света и експериментише на њима;
2. Током истраживања ученик размишља и доказује, размењује са другим ученицима стечена искуства, дискутује добијене резултате, ...
3. Наставник је медијатор, посредник између науке и ученика и као експерт води активности тако да се остварује прогресивни напредак у учењу. Помаже при формулацији закључака, који су у сагласности са добијеним експерименталним резултатима и ставља их у контекст научних знања. Посебна пажња је посвећена развијању матерњег језика, кроз усвајање нових појмова;
4. Активности су организоване у више наставака са циљем да се оствари напредак у учењу, а ученицима се оставља велика аутономија. Свакој теми је посвећено од 2 до 8 часова у току више недеља, односно довољно дуго времена да би се омогућило преправљање, реформулација и стабилизација стечених знања;
5. Сваки ученик има свеску са експериментима и она је један од основних елемената који препоручује иницијатива „Рука у тесту”. Свеска омогућава увид не само наставнику, него и родитељима, као и ученику у постигнуте резултате и напредак;
6. Основни циљ је постепено усвајање научних концепата и експерименталне технике, што као једну од последица има консолидацију писменог и усменог изражавања;
7. Омогућује се породици и локалној заједници да прате непосредан рад ученика;
8. Универзитети, факултети и научни институти подржавају иницијативу отварајући за ученике лабораторије, а наставницима помажу у превазилажењу конкретних проблема при реализацији наставе.

Наведени принципи указују на знатно промењену улогу наставника, који предлаже ситуације које омогућују ученику да смислено истражује, понекад полазећи и од питања које је поставио ученик. Он усмерава ученике уместо да ради уместо њих, помаже им да искажу свој став и дискутују. Од посебног значаја је не санкционисати грешке које ученик прави на самом почетку или током истраживања. Грешка се не сматра погрешком, она је обавезна и инхерентна је процесу учења. Реч је о прелазу од обичног на научно мишљење. То је нека врста перманентне интелектуалне гимнастике коју треба реализовати да би се променила тачка гледишта заснована на свакодневном искуству. Ученик постаје свестан разлике између своје концепције и неке друге, која је знатно ваљанија, а на тај начин се омогућује боље овладавање научним концепцијама које је потребно усвојити.

Групни рад се у одељењу не успоставља спонтано, организује га наставник формирајући групе најчешће од по четири ученика. Овакав тип рада омогућује конфронтацију идеја, фаворизује истраживање, вербалну и процедуралну размену мишљења између ученика, олакшава постављање хипотеза, њихово тестирање, посматрање, аргументовано објашњавање добијених експерименталних резултата, комплетнију претрагу литературних података... Све наведене фазе истраживања увек се реализују у два нивоа, групном и индивидуалном, а тако се фаворизује прогресивна конструкција научних знања ученика.

Један од циљева увођења научног метода кроз пројекат „Рука у тесту“ је употреба српског језика као оруђа комуникације. Ученички текстови, као и свеска за експерименте, омогућују наставнику да сагледа њихов напредак, као и начине савладавања евентуалних потешкоћа. Свеска омогућује како наставнику тако и ученику сагледавање развоја његових научних сазнања, али и фаворизовање писменог изражавања.

Међусобна комуникација и толеранција при конфронтацији у прихватању туђих ставова посебно је изражена при интерпретацији испитиваних појава, као и добијених резултата. Сваки експериментални

резултат је подложен дискусији у вези самог експеримента, услова, заснованости, валидности...

Улога наставника као медијатора између науке и ученика, или између ученика, своди се на организацију комуникације не губећи из вида основни циљ – тежњу ка остваривању што је могуће тачнијег научног сазнања. Наставник даје информације, фаворизујући научни метод, инсистирајући на значају и улози експеримента. Наставник предлаже одређене начине истраживања постављајући питања, води активности везане за писање текстова, ствара услове за конструктивна размишљања и конфронтацију ставова ученика у вези појаве која се истражује, реализацију експеримента и приказ резултата. У случају да ученик постави питање на које наставник не може одмах да одговори, проблем се решава заједнички, јер наставник није једини власник свих знања. Он располаже компетенцијом логичког третмана информација, што му омогућује да уочи где треба да тражи информацију, као и да прати ученике у овој претрази. У случају оваквих питања наставник постаје део тима са ученицима, при чему заједнички решавају проблем, или помоћу новог експеримента, или претрагом литературе.

Ученици поседују у великој мери несистематизовано предзнање стечено искуством, или путем литературе и различитих медија, операционализовано кроз идеје, појмове и начин размишљања, односно концепције које могу бити компатибилне, или не, са научним теоријама. Улога наставника је да помогне ученицима да ове концепције јасно изразе, да би их затим евентуално кориговали са циљем стицања одговарајућег научног знања. Један од услова је превазилажење традиционалног приступа у коме наставник решава проблем уместо ученика. Научно образовање подразумева разумевање начина успостављања научног сазнања, односно неопходност непрекидног постављања питања. Ученици треба да науче да постављају питања, а њихове активности треба да су организоване тако да могу да предложе смислен одговор. Ученик треба да научи шта значи бити научник и да се не задовољи догматским одговором. Један од веома битних елемената је охрабрити ученике да размишљају о нечем што већ знају и примене ова знања у новим ситуацијама?

Када се примени у решавању свакодневних проблемских ситуација, стечено знање тада постаје корисно, односно сврсисходно.

Најчешћи кораци у реализацији научног метода у свакодневној школској пракси су: посматрање, прикупљање података, хипотеза, експеримент, објашњење резултата, закључак, што резултује усвајањем нових појмова. Међутим, идеја да се прво врши посматрање је дискутабилна, јер је посматрање увек оријентисано у оквиру мишљења, које за последицу има да је та или она чињеница узета у обзир и сматра се релевантном, док се нека друга не узима у обзир. Радови Гастона Башелара (Gaston Bachelard, 1884 – 1962.) показују да наука полази од проблема и питања која из њега произилазе, као и постављених хипотеза са циљем да се она реше. Са друге стране, експеримент претпоставља да је могуће на селективан начин мењати факторе који проузрокују одређене ефекте, које је могуће опазити. На пример, у астрономији није могуће мењати места звезда или њихову светлосну емисију па се зато организује њихово посматрање.

На основу изложеног са сигурношћу се може написати да је научни метод једини успешан начин да се појача љубав према истини. Он развија интелектуалну храброст да се суочимо са тешкоћама савременог живота и да савладамо илузије које су привремено пријатне, али на крају штетне. Пут науке, а и самим тим физике и њене дидактике, отворен је за све и захтева непристрасност и несебичност и представља пут слободоумне, рационалне, практичне, интелектуално јаке особе које знају да се сналазе у непознатим ситуацијама примењујући научни метод као неприкосновено исправан (Коен и Нејгел, 2006).

Методе које су коришћене приликом реализације примене научног метода (Poljak, 1985):

- **Метода демонстрације.** – Демонстрација у дидактичком погледу у настави је приказивање свега онога што је могуће перцептивно доживети. Демонстрирати се могу: статички

предмети – изворна материја, материјални производи људског рада, модели (дидактички прерађен изворни предмет у три димензије), слике, шематски цртеж, динамичке природне појаве, практичне активности, активности изражавања и интелектуалних активности (Распоповић, 1992). У овом истраживању наставник и ученици користили су демонстрациони експеримент као метод приликом реализације теоријског дела часа;

- **Метода практичних радова.** – То је метода лабораторијских радова, која подразумева постојање одређених услова за практичан рад: материјал, енергија, предмет рада и оруђе за рад (Jelavić, 1994). Ова метода је коришћена приликом реализације експеримената које су радили ученици током примене научног метода;
- **Метода цртања.** – Она подразумева да се поједини делови наставних садржаја изражавају цртежом: цртање графичких знакова (волтметар, топографски и картографски знакови...), графичких симбола (грб, мач...), геометријски цртеж, графичко приказивање квантитативних односа, шематско цртање предмета, шематско приказивање процеса, цртање на основу посматрања и слика природних предмета, конкретизација апстракције, илустровање фабуле... Методу цртања користили су ученици приликом представљања путање планете Марс, а наставник за састављање писаних припрема за експерименте и контролне вежбе;
- **Метода писања.** — Може бити: *везани или репродуктивни писмени радови* (преписивање, писање на школској табли), *полувезани или полуслободни писмени радови* (диктати, допуњавање и проширивање текста, писмени одговори на питања, белешке за време предавања, концептирање), *самостални писмени радови* (скице, молбе, извештаји, репортаже,

реферати, књижевни радови, научни радови...). Метода је реализована кроз белешке ученика током теоријског дела часа и резултата експеримената, писања питања за наставника на крају часа, писања извештаја са експеримената, писања одговора на питања са контролних вежби, креирања презентација наставника...

- **Метода читања и рада на тексту.** – Она обухвата: читање, мишљење, изражавање, посматрање и практичан рад (Журавлев, 1989). Предуслов примене ове методе је савладавање вештине читања. Методу су користили ученици приликом читања припрема за експеримент, читања текста презентације, састављања извештаја са експеримента... Наставник га је користио за реализацију примене научног метода (литература, интернет садржаји...), током читања извештаја ученика са експеримената, током састављања и прегледа контролних вежби...
- **Метода разговора.** – Подразумева дијалог између ученика и наставника или између ученика. Може бити: *катехетички облик разговора* – који се примењује се код репродуктивног понављања и проверавања егзактних података; *Сократова* (Σωκράτης, 469 – 399. п.н.е) *метода разговора* – одређеним системом питања и одговора помоћи саговорнику да истина из дубине изрони на површину његове свести; *хеуристички облик разговора* – помоћу питања ученик се укључује у процес откривања нових спознаја; *слободни облик разговора* – везан је за одређену тему, али ток разговора није унапред одређен; *дискусија* (полемика, дебата, расправа) – представља највиши и најекстензивнији облик разговора, у којем се супростављају мишљења, побијају аргументи саговорника и износе нови аргументи (Петровић, 1994). Сви облици методе разговора су коришћени током примене научног метода: *катехетички облик* – уводни део часа; *метода разговора* – формулисање хипотезе експеримента у

разговору између ученика и наставника; *хеуристички облик разговора* – наставник питањима стимулише ученика током реализације примене научног метода; *слободни облик разговора* – ученици често постављају питања наставнику у циљу боље реализације експеримента или током усвајања нових садржаја у теоријском делу часа; *дискусија* – дискутовани су резултати експеримената, наставни садржаји и појмови везани за њих...;

- **Метода усменог излагања.** – Начин рада у настави када наставник или ученик вербално излажу неке делове наставног садржаја. Назива се још и монолошка метода. То је једна од најстаријих метода. Облици методе усменог излагања су: *приповедање* (епско, лирско, драмско), *описивање* (уметничко и научно), *образложење* (детаљније упознавање одређене констатације), *објашњење* (користимо за излагање апстракција) и *расуђивање* (гласно размишљање). Методу користи наставник за теоријски део часа у сврху описивања, образложења и објашњења наставних садржаја и појмова. Код ученика се јавља у облику расуђивања – гласног размишљања (обично када им није нешто јасно).

## 2.2. Квалитет знања ученика

Да би се испитао квалитет знања ученика потребно је познавати таксономију или класификацију образовних и васпитних циљева. Она се може поделити у домене, односно начине усвајања одређених садржаја на:

- Когнитивни домен – усвајање знања,
- Афективни домен – ставови, вредности и интересовања,
- Психомоторни домен – вештине.

Сваки од ових домена има своје нивое усвајања информација. Блумова таксономија (Benjamin S. Bloom, 1913 – 1999.) образовних и васпитних циљева и задатака наставе, заснована је на наведеним доменима. Домени се састоје од категорија, а категорије од поткатегија. Унутар когнитивног домена идентификовао је шест различитих нивоа учења:

- знање – ученик памти претходно научени садржај,
- схватање (разумевање) – ученик овладава значењем садржаја,
- примена – ученик користи научено у новим и конкретним ситуацијама,
- анализа – ученик разуме садржај и структуру проблема,
- синтеза – ученик формулише и гради нове структуре од постојећих знања и вештина,
- евалуација – ученик квалитативно и квантитативно процењује вредности садржаја за дату сврху.

Дубина усвојених садржаја се може проверити на следећи начин (Bloom, 1981):

- Знање – ученик дефинише проблем, прави графички или табеларни приказ резултата, репродукује садржаје....
- Схватање (разумевање) – ученик дискутује о резултатима мерења, објашњава појаву, наводи примере....
- Примена – ученик демонстрира експеримент, разликује променљиве, излаже проблем, ради рачунске задатке, илуструје кретање планета....
- Анализа – ученик упоређује резултате мерења, анализира њихове бројне вредности, испитује везу, закључује....
- Синтеза – ученик креира и планира експеримент, склапа апаратуру, доводи у везу физичке величине и појаве....
- Вредновање (евалуација) – ученик приказује резултате експеримента, оцењује резултате, критички их разматра, изводи закључке....



Знање укључује оне облике понашања и испитних ситуација у којима је наглашено памћење, било де се оно огледа у препознавању или у репродуковању идеја, наставног градива или различитих појава. При томе се сматра да понашање ученика у репродукцији треба да буде врло слично његовом понашању за време учења. У току учења ученик усвоја извесну информацију, памти је, да би је затим репродуковао или да би је препознао. Иако може доћи до неке измене садржаја у памћењу ученика, то за појам знања, као и за његово испитивање, није од важности. Знање искључује и процесе стварања односа и просуђивања. Наиме, од ученика се очекује да ће одговорити и на питања која се донекле разликују од питања у оригиналној ситуацији учења (табела 2.2).

Табела 2.2. Блумова таксономија образовних циљева

Вредновање (евалуација)	Ученик процењује, вреднује информације на основу неког критеријума, даје аргументацију.	Вредновање, аргументација, препоручивање, образлагање
Синтеза	Ученик од понуђених информација ствара неку нову целину, креира нешто за њега ново, нови производ.	Креирање, осмишљавање, развијање, планирање
Анализа	Ученик понуђене информације расчлањује, класификује, доводи у везу.	Расчлањивање, поређење, разликовање.
Примена	Ученик уз минимална упуства бира и користи информације како би решио неки проблем.	Употреба, промена, решавање, демонстрирање
Схватање (разумевање)	Ученик својим речима интерпретира, објашњава или образлаже информације које има.	Објашњавање, сажимање, описивање, давање примера.
Знање	Ученик се присећа или препознаје информације у облику у ком је научен.	Навођење, набрајање, именовање, дефинисање.

Схватање обухвата интелектуалне способности и вештине које се у школи вероватно највише наглашавају. Кад се ученик нађе пред неким саопштењем, од њега се очекује да зна шта му се саопштава и да се може служити садржајима и идејама тог саопштавања – предавања. Саопштавање или комуникација може бити у усменој или писменој форми, може имати вербалан или неки други симболички облик. Ако термин комуникација употребљавамо у ширем смислу, онда се он може односити и на конкретне појаве као и на оно што је изражено неким знаковима на папиру. Тако на пример, сматра се да ученик треба да схвати неки демонстрациони експеримент из физике, неки облик рељефа на излету, грађевинску форму на објекту која демонстрира архитектонски смер, музичко дело из неке епохе...

Примена подразумева да је ученик овладао претходним конгитивним доменима, односно знањем и схватањем. Категорија примене је у складу са претходним захтевом, односно да би се нешто применило, пре свега то треба схватити као методу, теорију, принцип или апстракцију. Наставник очекује од ученика да ако он нешто схвата – разуме, онда ће то моћи и применити. Међутим, да ученик схвата, показује се тиме што се може служити задатим апстракцијама. Да ученик може применити знање доказује се тиме што се он са њим може исправно служити у ситуацији у којој путеви и начини решавања нису одређени. Дакле, примена подразумева знање и коришћење неке генерализације или одговарајућег принципа на задати проблем.

Анализа наглашава разбијање градива – садржаја на његове саставне делове, као и откривање односа између тих делова и начина на који су они повезани. Анализа може бити усмерена и на технике и средства помоћу којих се саопштава неки садржај или изводи закључак саопштавања. Анализу не треба схватити као саму себи довољну, односно пуку вежбу ради откривања организације и структуре комуникације, већ као педагошку импликацију која помаже потпунијем и целовитијем схватању – разумевању проблема, или као увод у евалуацију градива. Између анализе и схватања, са једне стране и анализе и евалуације, са друге стране не може се повући јасна граница. Схватање се односи на садржај градива, док анализа и на садржај и на облик. Када се говори о критичкој анализи, анализа се тада неприметно претвара у евалуацију

или када се анализира однос елемената неког доказа, онда се тим чином и просуђује – евалуира каква је вредност тог доказа.

Синтезу дефинишемо као састављање елемената и делова у неку целину. То представља процес њиховог комбиновања како би се добио неки поредак или структура, која пре тог процеса комбиновања није постојала. У томе је већином садржана нова комбинација делова претходног искуства примењеног на ново градиво које треба реконструисати у нову, мање – више добру интегралну целину. То је она категорија конгитивног домена у којој највише долази до изражаја креативност ученика, која није у потпуности ослобођена, јер се од ученика очекује да ради у границама које намеће задани проблем, градиво или неки теоретски, односно методолошки проблем. Схватање, примена и анализа такође садрже извесно састављање елемената и конструкцију значења, али су те операције у служби у тим категоријама само делимичне и некомплетне, док су у синтези од пресудног значаја.

Евалуација – вредновање се дефинише као просуђивање вредности за неку сврху различитих идеја, радова, решења, метода, садржаја и слично. Вредновање се заснива на употреби критеријума и стандарда којима се процењује колико су појаве које еволуирамо тачне, ефикасне, економичне или задовољавајуће. Просуђивање може бити квантитативно или квалитативно, а критеријуми могу ученику бити задани или их он сам мора одредити. Евалуација је у таксономији смештена на последње место, јер се јавља касно у комплексним процесима у којима имамо комбинацију свих осталих конгитивних облика – знања, схватања, примене, анализе и синтезе. Оно што се у евалуацији додаје су критеријуми и стандарди. Евалуација у неким случајевима може бити увод у стицање нових знања, нов покушај схватања или примене, или увод у нову анализу и синтезу.

Истраживање ове дисертације је засновано на основу Блумове таксономије, односно инструменти мерења – контролне вежбе су креиране тако да задаци у њима мере три категорије конгитивног домена: знање (памћење, репродукција...), схватање – разумевање (тумачење дијаграма, цртање графика...) и примену (рачунски задаци).

## Глава III

### 3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

#### 3.1. Проблем истраживања

Анализа постојећег стања наставе физике указује на њену недовољну ефикасност, као и несклад између постављених циљева и квантума и квалитета знања ученика. Несклад се огледа у ниској вредности постигнућа квантума и квалитета знања ученика, у недовољној применљивости стечених знања, у запостављању могућности бржег стицања знања ученика, као и у недовољној мотивисаности за учење (Tang et al, 2009; Nagl i Obadović, 2010).

Проблем ниског постигнућа квантума и квалитета знања ученика из области природних наука, као и физике, намеће неопходност истраживања које се бави применом различитих метода учења, са акцентом на примени научног метода у настави, како би се квантум, квалитет и ретенција усвојених знања повећали (Koronen & Mantyla, 2006; Koronen, 2007). Ово истраживање представља покушај решавања актуелних проблема у настави физике применом научног метода (Никитин, 2001). Рудолф (Rudolph, 2002; 2005а,б) сматра да је научни метод једини сигурни метод („the only safe method”), који гарантује квантум и квалитет усвојених знања, а процес наставе чини активном и занимљивом како за ученике тако и за наставнике.

#### 3.2. Циљ истраживања

Циљ истраживања је да утврди да ли примена научног метода у настави физике у гимназији друштвено – језичког смера, доводи до повећања квантума, квалитета и ретенције знања ученика у односу на наставу која се спроводу на традиционалан начин. Примена научног метода као једног од савремених метода наставе, има за циљ оспособљавање ученика за самосталан и истраживачки рад, усвајање метода као основе за друге научне дисциплине, као и примену у свакодневном животу.

### 3.3. Задаци истраживања

Задатак истраживања је био:

(1) Мерење квантума знања ученика пре и после примене научног метода и поређење са квантумом знања када се настава изводи на традиционалан начин;

(2) Мерење ретенције квантума знања после примене научног метода и поређење са квантумом знања када се настава изводи на традиционалан начин;

(3) Мерење квалитета знања пре и после примене научног метода и поређење са квалитетом знања када се настава изводи на традиционалан начин.

(4) Мерење ретенције квалитета знања после примене научног метода и поређење са квалитетом знања када се настава изводи на традиционалан начин;

### 3.4. Хипотезе и варијабле истраживања

У складу са дефинисаним циљевима формиране су хипотезе:

(1) Примена научног метода у настави физике резултује повећањем квантума знања ученика у односу када се настава изводи на традиционалан начин;

(2) Примена научног метода у настави физике резултује повећањем ретенције квантума знања ученика у односу када се настава изводи на традиционалан начин;

(3) Примена научног метода у настави физике резултује повећањем квалитета знања ученика у односу када се настава изводи на традиционалан начин;

(4) Примена научног метода у настави физике резултује повећањем ретенције квалитета знања у односу када се настава изводи на традиционалан начин;

Независна варијабла је научни метод, који је примењен у настави кроз тему *Гравитација*. Зависне варијабле су квантум и квалитет знања ученика мерени на контролним вежбама.

### 3.5. Технике и инструменти мерења

У раду је коришћено тестирање као техника истраживања и контролна вежба као инструмент (Богнар и Матијевић, 2002). Контролне вежбе је саставио аутор по угледу на контролне вежбе које ученици решавају током наставе физике у основној (Комар, 2000а,б,в; 2005а,б,в; Милошевић и Томић, 1991а,б,в; Распоповић и сар, 1999а,б,в; Томић и Радивојевић, 2001а,б,в; Чалуковић, 2003а) и средњој школи (Цветковић, 2002; Чалуковић, 2001ц, 2003б; Шетрајчић и Цветковић, 2005) и које се могу наћи код домаћих издавача. Тиме је обезбеђено да се ученици први пут несусрећу са врстама питања и категоријама знања која су та питања мерила. Како се истраживање спроводи први пут, тестови немају мерних карактеристика тако да представљају контролне вежбе. Сви ученици су четири пута тестирани, два пута пре и два пута после увођења научног метода, под истим експерименталним условима, истовремено. Планирано време трајања контролних вежби је 45 минута. Тестирање је показало да су ученици контролне вежбе завршили у предвиђеном року. Контролне вежбе се налазе у Прилогу 2 дисертације.

Контролну вежбу 1 радило је свих 90 ученика првог разреда друштвено – језичког смера и служила је за одабир узорка испитаника, односно експерименталне и контролне групе ученика. Контролна вежба се састојала од 30 питања и задатака различитих врста, сврстаних по Блумовој таксономији у три категорије знања (знање, схватање и примена) и подељених у четири групе, која покривају садржаје физике основне школе. Већина питања је носила 1 бод, а укупан број бодова је био 50. Групе питања су направљене водећи рачуна о врстама питања. Наиме, прву и другу групу питања чинила су затворена питања, док су трећу и четврту групу чинила отворена питања. Прву групу питања чинила су затворена питања вишеструког избора са једним тачним одговором, другу групу питања чинила су затворена питања упаривања. Трећа група питања су била отворена питања допуњавања – непотпуне, незавршене реченице. Четврту групу питања чинила су отворена питања са кратким одговором. На прву групу питања одговор се добијао заокруживањем једног тачног одговора

од више понуђених (питања вишеструког избора). Код друге групе питања требало је повезати понуђене физичке величине и њихове мерне јединице, или инструменте помоћу којих се мере (питања упаривања). Трећа група питања била је отвореног типа, где су се реченице требале допунити речима: расте, опада, остаје исто (питања допуњавања). Четврта група питања је била отвореног типа са задатком: што краће одговори, или реши задатак (отворена питања са кратким одговором).

Контролна вежба 2 је иницијална и мерила је квантум и квалитет знања ученика – испитаника из теме *Гравитација* из основне школе. Састојала се од 26 питања која су носила укупно 30 бодова. Групе питања су направљене водећи рачуна о врстама и категоријама (знање, схватање и примена) питања. Прву групу питања чинила су затворена питања вишеструког избора са једним тачним одговором, а другу групу питања чинила су затворена питања упаривања. Трећа група питања су била отворена питања допуњавања – непотпуне, незавршене реченице. Четврту групу питања чинила су отворена питања са кратким одговором. На прву групу питања одговор се добијао заокруживањем једног тачног одговора од више понуђених (питања вишеструког избора). Код друге групе питања требало је повезати понуђене физичке величине и њихове мерне јединице (питања упаривања). Трећа група питања била је отвореног типа где су се реченице требале допунити са речима расте, опада, остаје исто (питања допуњавања). Четврта група питања је била отворена, а захтевала је да се да што краћи одговор, или реши задатак.

После примене научног метода урађена је финална, контролна вежба 3, која се састојала се од 31 – ог питања подељених у три категорије по Блумовој таксономији (знања, схватања и примене) и три групе по врстама питања. Прву групу питања чинила су питања отвореног типа, питања допуњавања – непотпуне или незавршене реченице. Друга група питања су затворена питања упаривања (повежи одговајуће појмове). Трећа, четврта, пета и шеста група питања су била затворена питања вишеструког избора (одговори са да или не; одговори са  $A > B$ ,  $A < B$  или  $A = B$ ; одговори са повећава се, смањује се или не мења се; заокружи тачан одговор). Укупан број бодова на овој контролној вежби је био 50. Треба истаћи да су питања из различитих група

контролне вежбе повезана, тако да је одговор на питање из једне групе водио ка одговору на неко питање из друге групе. Нажалост, било је ученика који ту везу нису уочили, тако да су одговорили тачно на једно, а нетачно на друго питање

Контролна вежба 4 је поновљена финална вежба, која је мерила ретенцију квантума и квалитета знања ученика експерименталне и контролне групе након два месеца од спровођења истраживања.

За потребе истраживања квалитета знања ученика, како експерименталне тако и контролне групе ученика, питања на контролним вежбама су сврстана у три категорије знања по Блуму: знање, схватање и примена (Segedinac i Nalaši, 1998). Питања разврстана по категоријама знања на контролним вежбама дата су у табели 3.1, на основу којих ће се у глави Резултати и дискусија испитати утицај научног метода на квалитет знања ученика у односу на традиционалну наставу.

**Табела 3.1.** *Питања са контролних вежби разврстана по категоријама знања*

Контролна вежба	Категорије знања (Блумова таксономија)					
	знање		схватање		примена	
	Број питања	Ук.	Број питања	Ук.	Број питања	Ук.
1.	1,2,5,27,28	5	3,6,8,9,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,26	15	4,7,10,21,22,23,24,25,29,30	10
2.	1,2,3,4,5,6,8,9	8	7,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22	13	10,23,24,25,26	5
3.	1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,15,26	12	10,12,13,14,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25	14	27,28,29,30,31	5
4.	1,2,3,4,5,6,7,8,9,11,15,26	12	10,12,13,14,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25	14	27,28,29,30,31	5



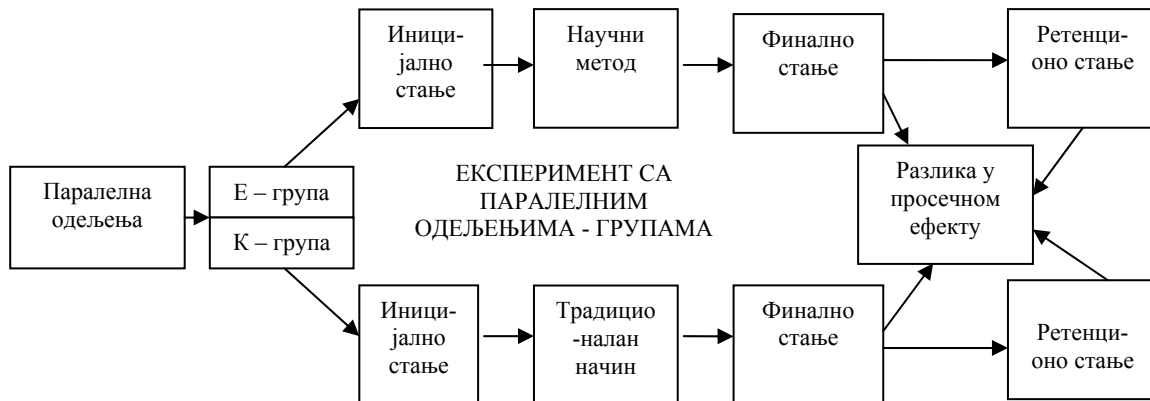
### 3.6. Методе истраживања

У овом истраживању коришћена је експериментална метода јер се жели проучити каузална (узрочно – последична) веза између примене научног метода и квантума и квалитета знања ученика (Муџић, 2004). Већина методолога истичу да је суштинска карактеристика експеримента *намерно* изазивање појаве ради научног испитивања ефикасности утицаја (Cohen et al, 2001). Метод експеримента посебно је истакао Р. Бејкон, познати енглески филозоф и научник, који је сматрао да се наука и научно сазнање могу развијати само у најужој вези са искуством и уз помоћ експеримента.

Експериментална метода је реализована методом *експеримента са две паралелне групе* (Банђур и Поткоњак, 1999), од којих се једна назива експерименталном – *E* (уноси се нови васпитно – образовни поступак, научни метод), а друга контролном – *K* (ради се на уобичајни, традиционални – класични – конвенционални начин). Одабир паралелних група – одељења урађен је на основу контролне вежбе 1. Провера уједначености група урађена је на основу контролне вежбе 2, односно њихиве аритметичке средине (мере просека) и стандардне девијације (мере варијабилности) које су биле приближно једнаке. Тада се сматра да су групе (*E* и *K*) уједначене.

Метод педагошког експеримента са паралелним групама подразумева: почетно мерење којим се утврђује иницијално стање квантума и квалитета знања у експерименталном и контролном одељењу (у *E* и *K* групи) и анализу добијених резултата статистичким методама; затим се примењује научни метод у експерименталном одељењу, по коме ученици тог одељења раде (ученици контролног одељења за то време раде на конвенционалан, уобичајан начин); прати се дејство – утицај научног метода (независна варијабла) на квантум и квалитет знања ученика (зависне варијабле); потом се, финалним мерењем, утврђује квантум и квалитет знања финалног – завршног стање у оба

одељења – групе. Након периода од два месеца мери се ретенција квантума и квалитета знања експерименталне и контролне групе – ретенционо стање (слика 3.1).



Слика 3.1. Ток експерименталног истраживања

На основу утврђене разлике у финалном и ретенционом стању која се статистички проверава, логички интерпретира – анализира и оцењује, доноси се закључак о ефикасности деловања научног метода у односу на традиционални, уобичајни начин рада у настави.

### 3.7. Статистичка обрада резултата истраживања

За обраду експерименталних података коришћена је дескриптивна статистика и SPSS пакет (*Statistical Package for the Social Sciences*, Bryman & Cramer, 2002; Suzić, 2007). Статистичка анализа добијених резултата је проистекла из циљева изведеног педагошког експеримента – истраживања. У статистичкој анализи добијених резултата изведеног експеримента као основне статистичке методе користили смо дескриптивне статистичке параметре. Они су нам омогућили описивање добијених експерименталних резултата и њихово тумачење. Током анализе коришћени су следећи дескриптивни статистички

параметари: аритметичка средина, стандардна девијација, стандардна грешка аритметичке средине, интервал варијације и коефицијент варијације.

Приликом тестирања и утврђивања статистички значајних разлика аритметичких средина квантума и квалитета знања између испитиваних група, коришћен је *студентов  $t$  – тест*. Добијене  $t$  – вредности су разматране за ниво статистичке значајности  $\alpha = 0.05$ . Ако је израчуната  $t$  – вредност за ниво значајности  $\alpha = 0.05$ , једнака или већа од неке граничне  $t$  – вредности (што статистички пакет аутоматски одређује), то подразумева да разлика између две аритметичке средине је статистички значајна на 5% нивоу значајности, односно са вероватноћом 95% се може тврдити да је та разлика значајна (није случајна), а само је 5% ризика да је направљена грешка у закључивању. Тада се сматра да постоји статистички значајна разлика између аритметичких средина експерименталне и контролне групе која је узрокована деловањем експерименталног фактора – научног метода.

### 3.8. Узорак испитаника

За одабир узорка испитаника ученика друштвено – језичког смера првог разреда Шабачке гимназије и формирања експерименталног –  $E$  и контролног –  $K$  одељења, спроведена је иницијална контролна вежба 1, која је мерила квантум и квалитет знања ученика из физике из основне школе, на укупно 90 ученика подељених у три одељења ( $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ ) од по 30 ученика.

Експериментални резултати квантума знања са иницијалне контролне вежбе 1, приказани у табели 3.2, изражени су као скорови (број тачних одговора ученика на контролној вежби) и аритметичке средине  $AS\%$  изражене у процентима (број тачних одговора ученика у односу на укупан број бодова на контролној вежби). Статистички параметри, са исте вежбе, који репрезентују узорак ученика друштвено – језичког смера дати су у табели 3.3.

Табела 3.2. Експериментални резултати квантума знања ученика са иницијалне контролне вежбе1

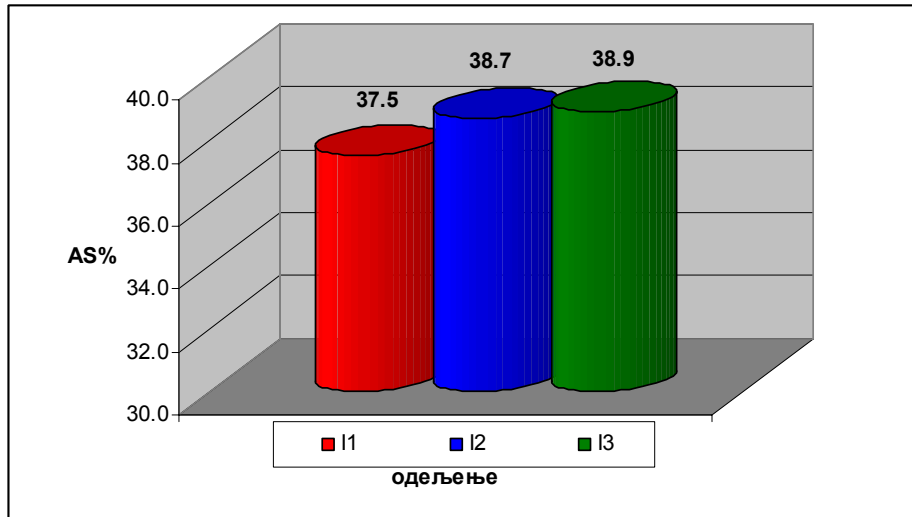
<i>N</i> (број ученика)	<i>I</i> <sub>1</sub> скор	<i>I</i> <sub>2</sub> скор	<i>I</i> <sub>3</sub> скор	<i>I</i> <sub>1</sub> AS%	<i>I</i> <sub>2</sub> AS%	<i>I</i> <sub>3</sub> AS%
1.	14	34	18	28	68	36
2.	25	9	16	50	18	32
3.	26	17	24	52	34	48
4.	16	24	25	32	48	50
5.	16	18	17	32	36	34
6.	25	24	23	50	48	46
7.	11	17	13	22	34	26
8.	18	13	15	36	26	30
9.	31	22	23	62	44	46
10.	15	29	17	30	58	34
11.	18	23	27	36	46	54
12.	15	13	20	30	26	40
13.	21	16	15	42	32	30
14.	22	15	21	44	30	42
15.	14	12	10	28	24	20
16.	16	18	17	32	36	34
17.	19	20	12	38	40	24
18.	22	21	19	44	42	38
19.	20	24	14	40	48	28
20.	15	20	20	30	40	40
21.	15	17	23	30	34	46
22.	12	19	26	24	38	52
23.	29	15	18	58	30	36
24.	19	24	20	38	48	40
25.	23	14	21	46	28	42
26.	14	16	27	28	32	54
27.	22	19	21	44	38	42
28.	19	22	18	38	44	36
29.	10	24	24	20	48	48
30.	21	21	19	42	42	38

Табела 3.3. Статистички параметри квантума знања на иницијалној контролној вежби I

Статистички параметри	одељење $I_1$	одељење $I_2$	одељење $I_3$
$N$	30	30	30
$AS$	18.77	19.33	19.43
$AS\%$	37.53	38.67	38.87
$S$	1.89	1.92	1.62
$SD$	10.36	10.51	8.85
$Var.$	27.59	27.18	22.76
$Min.$	20.00	18.00	20.00
$Max.$	62.00	68.00	54.00
$t$	-0.42		
	-0.54		
		-0.08	

$N$  – број ученика у одељењу,  $AS$  – аритметичка средина,  $AS\%$  – аритметичка средина у %,  $S$  – стандардна грешка,  $SD$  – стандардна девијација,  $Var.$  – коефицијент варијације,  $Min.$  – минимална средња вредност,  $Max.$  – максимална средња вредност,  $t$  – тестом добијена вредност за ниво значајности  $\alpha = 0.05$

На основу експерименталних резултата, табела 3.2. и 3.3, закључује се да су сва одељења имала скоро исте средње скорове  $AS$  ( $AS$  – аритметичка средина тачних одговора ученика по одељењу на контролној вежби) и то, одељење  $AS(I_1) = 18.77$ ,  $AS(I_2) = 19.33$  и  $AS(I_3) = 19.43$  или средње скорове изражене у процентима  $AS\%(I_1) = 37.53$ ,  $AS\%(I_2) = 38.67$  и  $AS\%(I_3) = 38.87$ . Стандардне девијације одељења  $SD(I_1) = 10.36$  и  $SD(I_2) = 10.51$  су сличне, док је стандардна девијација одељења  $SD(I_3) = 8.85$  мања. Слично разматрање следи, ако посматрамо и екстремне вредности ( $Min$ ,  $Max$ ) или коефицијенте варијације ( $Var$ ). Екстремне вредности ( $Min$ ,  $Max$ ) за одељења  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$  износе (20,62), (18,68), (20,54) респективно. Вредности коефицијента варијације ( $Var$ ) за одељења  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$  износе 27.59, 27.18, 22.76, респективно. Параметри дескриптивне статистике показују да одељење  $I_3$  има хомогеније распоређене резултате, али да они нису значајно различити од резултата  $I_1$  и  $I_2$ , тако да у укупном збиру дају сличне аритметичке средине што се може видети и на слици 3.2.



Слика 3.2. AS% квантума знања са иницијалне контролне вежбе 1

За испитивање статистичке значајности квантума знања ученика – сигнификантности резултата добијених након контролне вежбе 1. урађен је т – тест за задати коефицијент значајности  $\alpha = 0.05$ . Поређени су резултати различитих одељења и добијене т – вредности за парове одељења су:  $t(I_1, I_2) = -0.42$ ;  $t(I_1, I_3) = -0.54$ ;  $t(I_2, I_3) = -0.08$ . Добијене т – вредности показују да не постоји статистички значајна разлика квантума знања ученика између одељења друштвено – језичког смера, тако да она у односу на квантум знања из физике из основне школе чине хомогене групе.

За испитивање квалитета ученичких знања урађено је разврставање питања по Блумовим категоријама за сва три одељења тако да су питања подељена у три категорије: знање, схватање и примена. Резултати су приказани као аритметичке средине тачних одговора свих ученика једног одељења на једном питању изражене у процентима  $A\%$ , које у збиру дају аритметичку средину тачних одговора ученика по одељењу на контролној вежби изражену у процентима  $AS\%$ , табела 3.4:

Табела 3.4. Експериментални резултати квалитета знања ученика са иницијалне контролне вежбе 1

Блумове категорије	Иницијална контролна вежба 1.			
	Број питања	Одељења		
		A%(I <sub>1</sub> )	A%(I <sub>2</sub> )	A%(I <sub>3</sub> )
Знање	1	0.45	0.87	0.34
	2	1.35	1.07	1.03
	5	1.61	1.6	1.24
	27	0.13	0.13	0.21
	28	1.23	1.2	1.31
Укупно		4.77	4.87	4.13
Схваћање	3	0.13	0.6	0.55
	6	0.71	0.87	0.55
	8	0.77	0.2	0.55
	9	0.19	0.13	0.21
	11	6	5.8	6
	12	4.13	4.93	4.76
	13	7.23	6.73	6.34
	14	0.84	1	1.59
	15	0.77	1.13	1.38
	16	0.84	1	1.45
	17	1.1	1.13	1.17
	18	0.84	1.13	1.17
	19	1.29	1	0.97
	20	0.71	0.67	0.55
26	0.13	0.13	0	
Укупно		25.68	26.45	27.24
Примена	4	1.22	1.33	1.59
	7	0.39	0.2	0.21
	10	0.9	0.93	0.9
	21	2.19	2.67	2.83
	22	0	0	0.07
	23	0.06	0.07	0.07
	24	0.9	0.73	0.97
	25	0	0	0
	29	0.26	0.15	0.07
	30	1.16	1.27	0.79
Укупно		7.08	7.35	7.5
AS%		37.53	38.67	38.87

За испитивање статистичке значајности квалитета знања ученика – сигнификантности резултата добијених након контролне вежбе 1, урађен је  $t$ -тест за задати коефицијент значајности  $\alpha = 0.05$ , табела 3.5:

Табела 3.5. Статистички параметри квалитета знања ученика на иницијалној контролној вежби 1

		Одељење $I_1$			Одељење $I_2$			Одељење $I_3$		
Категорија знања		знање	схватање	примена	знање	схватање	примена	знање	схватање	примена
		$N$	5	15	10	5	15	10	5	15
$AP\%$	0.95	1.71	0.71	0.97	1.76	0.74	0.83	1.95	0.75	
$S$	0.28	0.57	0.22	0.24	0.56	0.27	0.23	0.56	0.29	
$SD$	0.63	2.21	0.71	0.54	2.16	0.85	0.52	2.10	0.90	
$Var.$	0.66	1.29	1.00	0.56	1.23	1.15	0.63	1.08	1.20	
$Min.$	0.13	0.13	0	0.13	0.13	0	0.21	0.21	0	
$Max.$	1.61	7.23	<sup>2.19</sup> 2.19	1.60	6.73	2.67	1.31	6.34	2.83	
$t$	-0.05									
			-0.06							
			-0.08							
	0.35									
			-0.13							
			-0.12							
				0.44						
			-0.07							
					-0.04					

$N$  – број питања по категорија знања,  $AP\%$  – аритметичка средина по категорији знања у %,  $S$  – стандардна грешка,  $SD$  – стандардна девијација,  $Var.$  – коефицијент варијације,  $Min.$  – минимална средња вредност,  $Max.$  – максимална средња вредност,  $t$  – тестом добијена вредност за ниво значајности  $\alpha = 0.05$

Поређене су исте категорије знања различитих одељења и добијене  $t$  – вредности за парове одељења су:  $t_{\text{знање}}(I_1, I_2) = -0.05$ ,  $t_{\text{схватање}}(I_1, I_2) = -0.06$ ,  $t_{\text{примена}}(I_1, I_2) = -0.08$ ;  $t_{\text{знање}}(I_1, I_3) = 0.35$ ,  $t_{\text{схватање}}(I_1, I_3) = -0.13$ ,  $t_{\text{примена}}(I_1, I_3) = -0.12$ ;  $t_{\text{знање}}(I_2, I_3) = 0.44$ ,  $t_{\text{схватање}}(I_2, I_3) = -0.07$ ;  $t_{\text{примена}}(I_2, I_3) = -0.04$ . Овакве



т – вредности показују да не постоји статистички значајна разлика квалитета знања између одељења друштвено – језичког смера, тако да она у односу квалитет знања из физике из основне школе чине хомогене групе.

Статистичка анализа иницијалне контролне вежбе 1 утврдила је да одељења првог разреда друштвено – језичког смера не показују статистички значајну разлику квантума и квалитета знања ученика из физике из основне школе. На основу оваквих резултата за експерименталну групу –  $E$ , где је примењен научни метод одабрано је одељење  $I_1$ , које је има 30 ученика,  $N_E = 30$ , а за контролну групу –  $K$ , где је настава извођена на традиционалан начин одабрано је одељење  $I_3$ , које такође има 30 ученика,  $N_K = 30$ .

### 3.9. Узорак градива

Тема *Гравитација* и примена научног метода у наставу кроз њу изабрана је пре свега због ученика којима је блиска у свакодневном животу и њиховог узраста, када почињу озбиљно да се питају и траже одговоре: „...о моралним законима у њима и звезданом небу над њима...“ (Кант, Immanuel Kant, 1724 –1804). Други, исто тако важан разлог је и афинитет аутора према небеском пространству које гравитација држи на окупу. Сличну тематику аутор је проучавао током основних и последипломских студија астрофизике.

Систем физичких знања из теме *Гравитација* обухвата појмове везане за разумевање структуре простора и времена. На нивоу схватања изучавају се појмови везани за универзални закон гравитације, класични принцип релативности, као и општа теорија релативности. На основу ових усвојених појмова, долази се до Кеплерових закона, разумевања појмова везаних за гравитационо поље, Њутнов закон гравитације ... На нивоу примене, захтева се примена претходно стечених знања на разумевање кретања тела у гравитационом пољу Земље (слободни пад, бестежинско стање, вертикални, хоризонтални и коси хитац). Усвајање ових садржаја, омогућује ученику разумевање и усвајање савременог концепта теорије гравитације.

Гравитација представља једну од четири данас познате фундаменталне интеракције у природи и она заузима посебно место како у савременој физици тако и у њеној историји. Гравитациона интеракција има универзални карактер и у њој учествују сви видови материје и сви објекти у природи, почевши од елементарних честица па све до галаксија. Она се увек јавља као сила привлачења. Гравитација представља основ за разумевање структуре простора и времена. Њутновим (Isaac Newton, 1643 – 1727.) открићем гравитационе силе започео је развој физике као егзактне науке. Он се сматра творцем класичне (њутновске) теорије гравитације. Данас је општеприхваћена теорија гравитационе интеракције позната као Ајнштајнова (Albert Einstein, 1879 – 1955.) општа теорија релативности (ОТР) или Ајнштајнова теорија гравитације. У овој теорији повезани су простор и време, односно простор – време са постојећом дистрибуцијом материје у универзуму.

Свака цивилизација је била фасцинирана потребом и потрагом за разумевањем простора (Земља, небо, Универзум) и времена (почетак, крај, промена). Данас се о простору размишља као о тродимензионалном континууму, док време протиче независно. Ајнштајн је упутио изазов класичној представи о апсолутности времена. Користећи једноставне мисаоне експерименте показао је, полазећи од тога да је брзина светлости универзална константа, иста за све посматраче, да поимање апсолутне истовремености догађаја губи смисао. Наиме, специјално одвојени догађаји који су за једног посматрача истовремени, за неког другог посматрача, који се креће униформно у односу на првог, то не морају бити. Ако је ово тачно, онда њутновски модел простор – времена може да се примени једино у случајевима када су брзине кретања тела знатно мање од брзине светлости.

У новом моделу, који је назван специјална теорија релативности (СТР), време је изгубило апсолутно значење. Ту привилегију задржао је само 4 – димензионални просторно – временски континуум. Дистанце простор – времена међу догађајима су добро дефинисане, али временски интервали или специјалне дистанце међу њима зависе од стања кретања посматрача, односно избора референтног система. Енергија и маса губе

идентитет и могу се трансформисати једна у другу, што је описано познатим изразом  $E = m \cdot c^2$ ; енергија садржана у граму материје могла би да осветљава осредњи град годину дана; близанац који је отишао на вишенедељно крстарење свемиром брзином блиском брзини светлости нашао би, по повратку, свог брата деценијама старијег. Ово су биле толико контраинтуитивне импликације да су многи филозофи касних тридесетих година прошлог века сматрали да је цела теорија погрешна. Ускоро је теорија показала да су филозофи погрешили. Наиме, нуклеарни реактори на Земљи и звезде на небу функционишу тако што врше конверзију масе у енергију. У лабораторијама високих енергија честице се рутински убрзавају до брзина блиских брзини светлости и, познато је, живе за ред величине дуже него њихови близанци у стању мировања.

Почетком 1916. године Ајнштајн објављује Општу теорију релативности у којој су простор и време здружени у један 4 – димензионални континуум. Геометрија овог континуума је закривљена и величина закривљености у одређеној области одређује гравитационо поље у њему. Значи, простор није инертан ентитет. Он делује на материју и обрнуто, што је језгровито описао амерички физичар Џон Вилер (John Archibald Wheeler, 1911 – 2008.): *„Материја говори простор времену како да се закривљује, а простор време говори материји како да се креће.“*

### 3.9.1. Класична механика

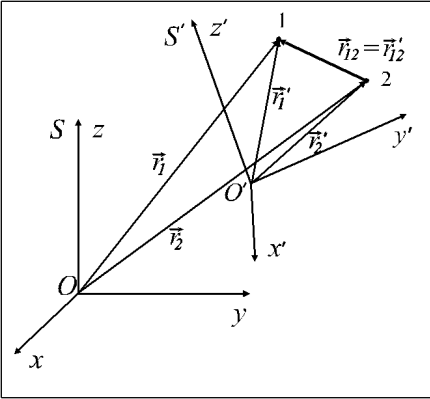
Основна физичка теорија динамике кретања тела, која је историјски прва настала, била је класична или Њутнова механика. У њеној основи леже три позната закона који говоре о својствима простора, времена и механичког кретања: (1) ако на тело не делује спољашња сила, или је резултанта свих спољашњих сила једнака нули, оно мирује, или се креће равномерно праволинијски; (2) брзина промена импулса тела једнака је резултујућој сили која на то тело делује; (3) дејство и противдејство (акција и реакција) су једнаки по величини и супротни по смеру. Ови закони се математички могу изразити:

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a} = 0, \quad \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}, \quad \vec{F}_{12} = \vec{F}_{21} \dots\dots\dots (3.1.)$$

Позитивна скаларна величина  $m$ , која улази у ове законе, карактерише степен инертности тела и назива се инертна маса. Њутнови закони су формулисани за апсолутно непокретне референтне системе, али важе и за бесконачан број система који се крећу константном брзином (у односу на апсолутни простор) и у којима важи први Њутнов закон – закон инерције. Оваква класа референтних система називају се *инерцијални референтни системи*. Референтни системи који се крећу убрзано у односу на инерцијалне референтни системе називају се *неинерцијални референтни системи*.

У инерцијалним референтним системима закони Њутнове механике имају најједноставнију форму. Њутн уводи појам *апсолутног простора* који је задат *а priori*, независно од распореда и кретања материје у њему. Инерцијални референтни системи се крећу константном брзином у односу на апсолутни простор, а инерцијалне силе се јављају као последица убрзања у односу на апсолутни простор. Апсолутност простора се испољава у томе што су растојања (дужине) независна од референтног система из кога се врши мерење. Другим речима, мерећи дужине неког предмета, посматрачи из свих инерцијалних система добијају исти резултат, без обзира на то коликим се брзинама крећу у односу на тај предмет. Ако се посматрају две тачке (1 и 2) из два различита референтна система  $S$  и  $S'$  у истом тренутку, вектори положаја ових тачака у систему  $S$  су  $\vec{r}_1$  и  $\vec{r}_2$ , док су у систему  $S'$  ови вектори  $\vec{r}'_1$  и  $\vec{r}'_2$ , (слика 3.3). У складу са концепцијом апсолутног простора, релативни вектори положаја између ових тачака су:

$$\vec{r}_{12} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2, \quad \vec{r}'_{12} = \vec{r}'_1 - \vec{r}'_2 \quad \dots \dots \dots (3.2.)$$



Слика 3.3. Вектори положаја посматрани из два система  $S$  и  $S'$

и они су једнаки ( $\vec{r}_1 = \vec{r}_2$ ) у било којим системима  $S$  и  $S'$ . Такође, важи и једнакост њихових интензитета:

$$|\vec{r}_{12}| = |\vec{r}'_{12}| \dots\dots\dots (3.3.)$$

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} = \sqrt{(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2 + (z'_2 - z'_1)^2} \dots\dots\dots (3.4.)$$

При прелазу из једног референтниг система у други, растојање између две фиксне тачаке се не мења, а исто важи и за инфинитезимално блиске тачке:

$$dl = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} \dots\dots\dots (3.5.)$$

Ова величина се назива *просторни интервал*.

Апсолутност времена се састоји у томе што оно протиче равномерно и једнако за све инерцијалне референтне системе. То значи да мерењем трајања неког догађаја посматрачи из различитих инерцијалних система добијају исти резултат:

$$\Delta t = \Delta t' \dots\dots\dots (3.6.)$$

где је  $\Delta t$  ( $\Delta t'$ ) временски интервал мерен у систему  $S$  (односно  $S'$ ). Због ове инваријантности временског интервала каже се да је време у класичној механици апсолутно, односно једнако тече за све системе у Вациони. Особина инваријантности временског интервала има за последицу да ако су два догађаја истовремена у једном референтном систему ( $S$ )  $\Delta t = 0$ , онда ће они бити истовремени и у сваком другом референтном систему ( $\Delta t' = 0$ ) без обзира на њихово кретање у односу на систем  $S$ .

Простор је, за посматрача у инерцијалним референтним системима, *хомоген* и *изотропан*, односно у њему нема привилегованих тачака и праваца. Међутим, време у инерцијалним референтним системима је *хомогено*. Хомогеност времена се састоји у томе да се физичке појаве одвијају на исти начин у разним временским тренуцима, односно не истичу се по било чему посебно издвојени тренуци времена, те је стога избор почетка рачунања времена

небитан. Ове особине простора и времена су очигледне кад је реч о апсолутно непокретним референтним системима.

Наведене особине постају мање очигледне кад се ради о инерцијалним референтним системима који се крећу у односу на апсолутно непокретне. Рекло би се да у покретним инерцијалним референтним системима изотропност простора не може остати очувана, јер постоји један издвојени правац – правац дуж кога се систем креће у односу на апсолутно непокретне системе. Међутим, физички закони су по својој природи такви да посматрач у оваквим референтним системима не може извршити ни један експеримент по коме би могао констатовати и мерити брзину свог кретања кроз Вациону, тако да је простор у покретним инерцијалним референтним системима лишен било каквих привилегованих правца. Према томе, хомогеност простора и времена у овим референтним системима остају очувани.

### 3.9.1.1. Класични принцип релативности

Приликом механичког кретања тела, увек се има у виду његово релативно кретање у односу на друга тела. Да би се математички описала кретања материјалних тела, за њих се чврсто вежу различити референтни системи. У сваком од система уведени су „сопствени” системи координата, док се времена у различитим тачкама мере часовницима који мирују у тим тачкама и који су међусобно синхронизовани. Међутим, у класичној механици се прећутно претпоставља да је довољан *само* један часовник који мирује у датом референтном систему. Један од референтних система се условно зове непокретан, а други, који се креће равномерно праволинијски, покретан.

Посматрајући кретање тела које је бачено вертикално навише, види се и из система који се креће, да се тело враћа у исту тачку из које је било избачно. Такође, тело бачно у правцу кретања система, доспева у дијаметралне тачке дуж правца кретања за једно те исто време, независно од правца кретања система, при чему је то време исто као и у систему који мирује. То значи да се сви механички процеси одвијају на исти начин у свим инерцијалним референтним

системима, а једначине класичне механике ће имати исти облик у различитим инерцијалним системима:

**Закони класичне механике имају исти облик у свим инерцијалним референтним системима.**

То је познати *Галилејев принцип релативности* или *класични принцип релативности*.

### 3.9.1.2. Галилејеве трансформације

Галилејеве трансформације дају везу између координата и времена једне исте тачке при прелазу из једног у други инерцијални референтни систем. Нека су координате једне тачке – догађаја  $(x, y, z, t)$  и  $(x', y', z', t')$  у два инерцијална система  $S$  и  $S'$  (слика 3.4) који се међусобно крећу релативном брзином  $\vec{u}$ . Сматрајући да су се координатни почаци оба система у почетном тренутку  $t = t' = 0$  поклапали, следи:

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{u} \cdot t \quad \wedge \quad t' = t \dots\dots\dots (3.7.)$$

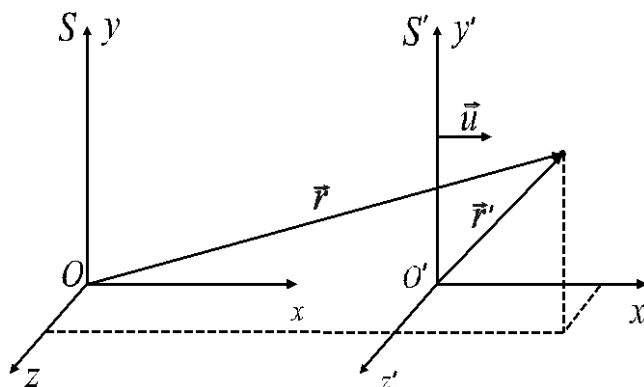
или, усмеравајући  $x$  – осу дуж  $\vec{u}$ :

$$x' = x - u \cdot t, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t \dots\dots\dots (3.8.)$$

Ове релације представљају математичку реализацију класичног принципа релативности и називају се *Галилејеве трансформације*. Једнакост  $t \rightarrow t'$  у (3.8) одражава апсолутни карактер времена. Из Галилејевих трансформација следи да су брзине и убрзања једне те исте тачке у референтним системима  $S$  и  $S'$  (слика 3.4) повезане изразима:

$$V'_x = V_x - u, \quad V'_y = V_y, \quad V'_z = V_z \dots\dots\dots (3.9.)$$

$$a'_x = a_x, \quad a'_y = a_y, \quad a'_z = a_z \dots\dots\dots (3.10.)$$



Слика 3.4. Векторски приказ класичног закона слагања брзина

Израз (3.9) представља познати класични закон сабирања брзина, док се из (3.10) види да је убрзање исто у оба референтна система, тако да једначине Њутнове механике у систему  $S$  и  $S'$  имају исти облик, односно:

$$m \frac{d^2 \vec{r}_i}{dt^2} = \sum_{k \neq i} \vec{F}_{ik}, \quad m \frac{d^2 \vec{r}'_i}{dt'^2} = \sum_{k \neq i} \vec{F}'_{ik}, \quad \dots \quad (3.11.)$$

Према томе, облик Њутнових једначина се не мења при прелазу са једног инерцијалног система  $S$  на други инерцијални систем  $S'$ . Другим речима, основна једначина класичне механике је инваријантна у односу на Галилејеве трансформације. Овде је потребно истаћи једну веома важну особину сила интеракције каја важи у класичној механици, а то је њихова независност од избора референтног система где су  $\vec{F}_{ik}$  и  $\vec{F}'_{ik}$  силе интеракције у два различита инерцијална референтна система  $S$  и  $S'$ :

$$\vec{F}_{ik} = \vec{F}'_{ik} \quad \dots \quad (3.12.)$$

Њутнов закон гравитације заснива се на идеји тренутне интеракције, односно тренутног преношења гравитационе интеракције између тела на било ком растојању и универзалности те интеракције (Пантић, 2005).

Почетком XX – века наметнула се потребна за егзактнијом теоријом простора и времена, тада 1905. године настаје савремена теорија простора,



времена и кретања – специјална теорија релативности. Теорија разматра простор и време као јединствени континуум чија својства не зависе од маса које се налазе у њему. Она је уопштење основних представа њутновске механике на област великих брзина. Ово уједињење простора и времена у јединствено простор – време представља једно од њених епохалних открића. Ајнштајн ипак истиче ограниченост ове теорије, која важи само за инерцијалне референтне системе, док убрзана кретања и гравитација нису обухваћена.

### 3.9.2. Елементи опште теорије релативности

Почетком 1916. године Ајнштајн поставља Општу теорију релативности (ОТР), која представља класичну релативистичку теорију гравитације (Hartle, 2002). У основи ОТР лежи принцип еквивалентности, сагласно коме се својства кретања у неинерцијалном референтном систему иста као и у инерцијалном систему у присуству гравитационог поља. На тај начин неинерцијални референтни систем еквивалентан је неком гравитационом пољу. Из принципа еквивалентности следи да све појаве које су условљене неинерцијалношћу референтног система, могу посматрати у инерцијалном систему као резултат дејства силе гравитације или Земљине теже. Из оптике је познато да се у вакууму, у одсуству било каквих поља, светлосни зрак простире праволинијски. Дакле светлосни зрак који има праволинијску путању у инерцијалном референтном систему, у неинерцијалном систему путања му се закривљује и добија форму параболе. У складу са принципом еквивалентности такво закривљавање путање зрака светлости може се видети и из инерцијалног референтног система под дејством гравитационог поља нормалног на зрак. То значи да су светлосне честице – фотони подвргнути дејству силе привлачења (гравитације).

На основу специјалне теорије релативности, псеудоеуклидско време у 4 – димензионалном простору, у одсуству гравитационог поља је такође је равно. Међутим, приликом преласка у неинерцијални референтни систем простор – време постаје закривљено. Сви досадашњи експериментални подаци указују на то да је простор у коме ми живимо практично раван (односно еуклидски) само у случају слабих гравитационих поља (међу које спада и поље

Земље). Међутим у близини великих гравитационих маса тај простор се закривљује и постаје неевклидски (D'inverno, 1992). Најкраће растојање између две светске тачке представља геодезијска линија. Сагласно Ајнштајну не постоје никакве гравитационе силе и свако тело се креће у простор – времену „слободно“ дуж геодезијских линија. При том се у обичном 3 – димензионалном простору тело креће, уопштено говорећи, дуж криволинијских трајекторија са променљивом брзином, односно тако, како би се оно кретало под дејством неке силе. На пример, Земља се креће око Сунца по закривљеној трајекторији (орбити) не због тога што некакве силе је приморавају на кретање, већ због тога што она непрестано клизи у закривљеном простор – времену дуж геодезијске линије у околини Сунца.

У ОТР Ајнштајн је на основу Риманове геометрије извео једначине гравитационог поља које повезују величину која карактерише кривину простор – времена (тензор кривине), са величином која карактерише расподелу извора привлачења (тензор енергије – импулса). Ајнштајнове релативистичке једначине гравитационог поља имају облик:

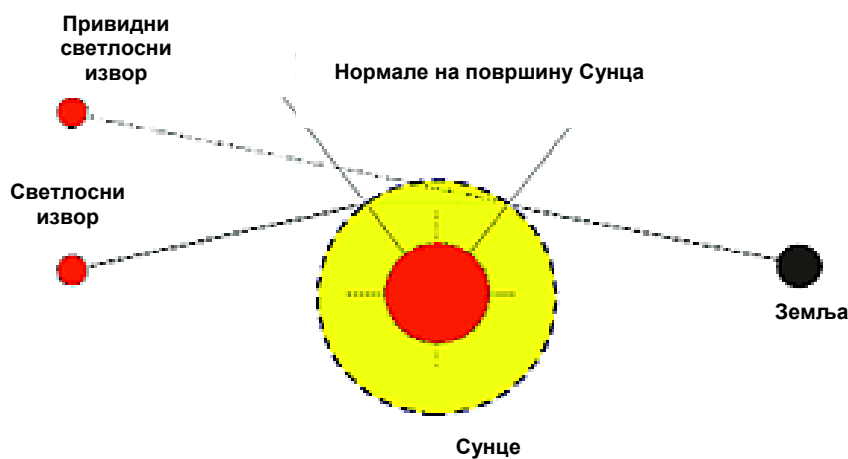
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -\frac{8\pi\gamma}{c^2} T_{\mu\nu} \dots\dots\dots (3.13.)$$

где је  $R_{\mu\nu}$  – Ричијев тензор,  $g_{\mu\nu}$  – метрички тензор,  $T_{\mu\nu}$  – тензор енергије – импулса, а  $R$  је скаларна кривина. Једначине описују како задата расподела материје у универзуму (десна страна једначине), мења структуру простор – времена у околине те расподеле (лева страна једначине). Ове једначине су веома сложене и тешке за аналитичко решавање. Познато је само неколико тачних решења ових једначина.

Једно од њих је Шварцшилдово решење (Karl Schwarzschild, 1873 – 1916.) добијено још 1916. године за случај слободног простора далеко од сферног тела. Ако се занемаре гравитациона поља планета, онда услови овог задатка одговарају Сунчевом систему и Шварцшилдово решење је веома добра апроксимација и веома добро описује кретање планета у пољу Сунца.

Ајнштајн је предложио како да се експериментално провери ОТП (Hawking & Penrose, 2000). У складу са Шварцшилдовим решењем планете се крећу по елиптичним орбитама које се веома споро заокрећу (прецесирају) у својој равни кретања. Ово доводи до ротације тачке која је ближе Сунцу на орбити, која се назива перихел. Овај ефекат је веома мали и највише је изражен код планете која је најближа Сунцу – Меркуру. Угао заокретања елиптичне орбите ове планете износи свега 43 лучне секунде за сто година (пун обрт се оствари за три милиона година). За Земљу, на пример, ово заокретање износи око 4 лучне секунде за сто година. Прецесија орбита планета потврђена су бројним астрономским посматрањима и при томе се теоријска предвиђања ОТП слажу са веома великом тачношћу са овим мерењима.

Једна од потврда ОТП јесте скретање светлости под дејством гравитационог поља (слика 3.5).



Слика 3.5. Скретање светлосних зрака у околини Сунца

За зраке који пролазе у непосредној близини површине Сунца теорија даје угао отклона који је једнак 1.75 лучних секунди. Добијена експериментална вредност слаже се са теоријски израчунатом вредношћу са грешком од око 1%. Са већом тачношћу измерен је отклон радио – таласа који долазе са квазара услед гравитационог деловања Сунца, а мерења се слажу са предвиђањима ОТП. Сагласно ОТП, што је јаче гравитационо поље, то спорије протиче време у поређењу са временом за посматрача који се налази изван поља, тако да на Сунцу време протиче спорије него на Земљи.

Амерички физичар Р. Паунд (Robert Vivian Pound, 1919 – 2010.) и његов сарадник Џ. Ребка (Glen Anderson Rebka, 1931- ...) су 1960. године, у лабораторијским условима, измерили гравитациону промену фреквенције  $\gamma$  – фотона који потиче са Сунца, односно гравитациони црвени помак. Њихова мерења су се веома добро слагала са предвиђањима Ајнштајнове ОТП. На крају треба истаћи да до сада није изведен ниједан експеримент чији резултати се нису слагали са предвиђањима ОТП. У случају слабих гравитационих поља ОТП се своди на класичну Њутнову теорију гравитације.

### 3.9.3. Кеплерови закони

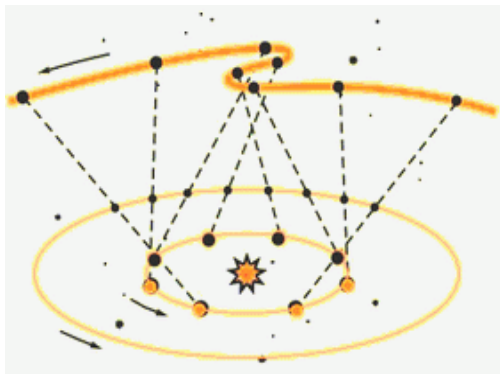
Кеплерови закони су заиста прекретница у борби хелиоцентричног система над геоцентричин. У циљу бољег разумевања услова и развоја научног сазнања ученике треба упознати са плејадом научника који су поставили основу за Кеплерова истраживања.



Слика 3.6. Јутарње и ноћно небо

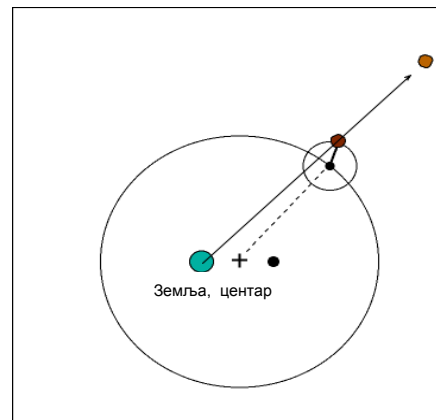
Поставља се питање зашто је догма геоцентричног система свемира тако дуго, скоро 20. векова била утемељена у науци? Један од важних разлога је изглед дневног и ноћног неба (слика 3.6), када се небески објекти привидно крећу са истока ка западу, стварајући утисак да је Земља центар тог кретања. Стари Грчки филозофи на челу са Аристотелом, сматрали су да је лопта најсавршеније геометријско тело, јер положај једне тачке на њеној површини није привилегован у односу на положај друге тачке (све тачке сферне површи којом је лопта ограничена налазе се на истом растојању од центра сфере)!

Учили су да је небески свод сферног облика, као и Земља и остале планете, а да Земља ничим подупрта лебди у простору, заузимајући средиште Вационе. Око ње се обрће свакодневно кристална сфера звезда некретница, а у њој се константном брзином обрће седам концентричних сфера и свака носи по једно од седам покретних небеских тела: Месец, Меркур, Венеру, Сунце, Марс, Јупитер и Сатурн. Ова тела се крећу равномерно по кружним путањама, „јер само равномерно кружно кретање носи печат вечности“! Птоломеј (Κλαύδιος Πτολεμαῖος, 90 – 168) сакупља дотадашња знања из астрономије у дело Велики зборник – Алмагест. Спољашње планете на небу праве петље (слика 3.7). Такве путање објашњава помоћу два круга, епицикла – круга по којој се креће планета и деферента – круга по којој се креће центар епицикла (слика 3.8).



**Слика 3.7.**

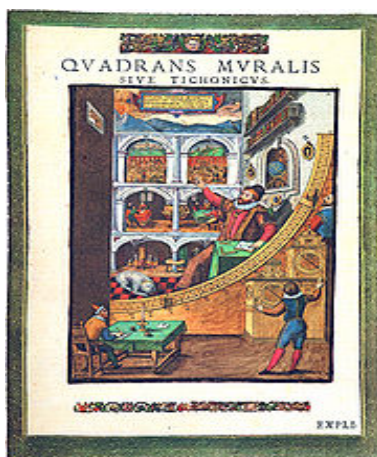
*Петља планете на небу*



**Слика 3.8.**

*Геоцентрични модел кретања планета*

Тихо Брахе (Tycho Brahe, 1546 – 1601.), дански астроном, највећи посматрач предtelesкопске ере, посматрао је голим оком уз помоћ квадранта путање небеских тела, читавих 40 година (слика 3.9). Посматрао је кретање Марса, чију путању није успео да опише на основу геоцентричног система. На основу посматрања кретања комете, чија путања пресеца орбите планета, озбиљно је нарушио Аристотелову догму о кристалној сфери звезда некретницама. Умирући у делиријуму, понављао је: „*Не дозволите да мој живот изгледа протраћен*“! (Мишковић, 1976). Управо то нису дозволила Кеплерова истраживања, тако да се њихове статуе налазе једна поред друге у Прагу, као споменик њиховог заједничког рада (слика 3.10).

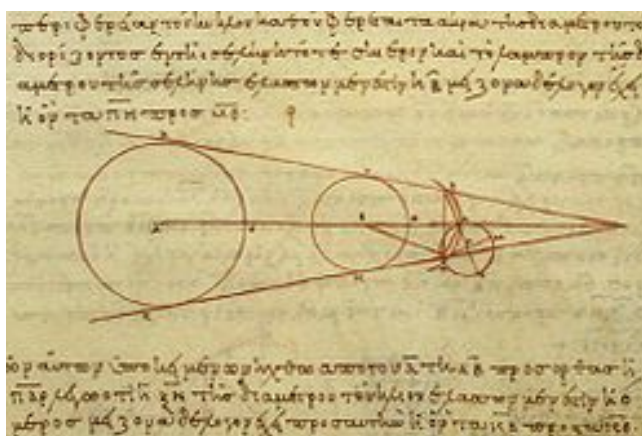


Слика 3.9. Брахеов квадрант



Слика 3.10. Статуе Кеплера и Тиха у Прагу

Прве поставке хелиоцентричног система потичу од грчког астронома и математичара Аристарха са Самоса (Αρίσταρχος ο Σάμιος, 310 – 230. п.н.е). На основу посматрања квадратуре (када се правци Месец – Сунце и Месец – Земља налазе под правим углом) и помрачења Месеца (слика 3.11) правилно је закључио о односима пречника и удаљења Сунца, Земље и Месеца. На основу посматрања и прорачуна поставио је хипотезу хелиоцентричног система, јер је сматрао да је немогуће да се нешто толико веће и сјајније, Сунце, окреће око тако нечег мањег и тамног, Земље.



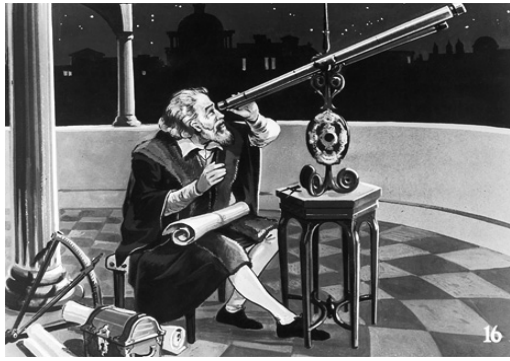
Слика 3.11. Оригиналан Аристархов цртеж помрашења Месеца

Све прецизнија астрономска посматрања су толико усложњавала геоцентрична објашњења путања планета преко епицикала и деферената да се пољски астроном Никола Коперник (Nicholas Copernicus, 1473 – 1543.), прегледајући Аристархове радове, досетио и ставио Сунце у центар Свемира. Тиме је васкрсао хелиоцентрични систем, који је објаснио преко ставова: планете се крећу равномерно око Сунца по кружним путањама; та кретања су непрекидна и вечна; полупречник Земљине путање око Сунца занемарљиво је мали према полупречнику Свемира који је сферног облика, као што је и полупречник Земље незнатан у односу на полупречник њене путање око Сунца; привидно кретање небеских тела, па и Сунца, последица је обртања Земље око сопствене осе и истовременог кретања око Сунца; годишње привидно померање Сунца у односу на звезде последица је обртања Земље око Сунца, која чини један обрт за време од једне године; појава смењивања дана и ноћи условљене су обртањем Земље око своје осе и тиме што је осветљена сунчевом светлошћу.

Ђордано Бруно (Giordano Bruno, 1548 – 1600.) италијански филозоф, проширио је Коперниково схватање тиме што је тврдио да Сунце није центар Свемира, него да је Свемир испуњен звездама и да је Сунце само једна звезда међу милионима других и да постоји још много светова сличних нашем, Сунчевом систему. Аристотелове догме подржавала је црква, која је Ђордана спалила на ломачи, јер је одбио да се одрекне својих идеја.

Галилео Галилеј, италијански физичар, математичар, астроном и филозоф, уводи експеримент у науку. Помоћу дурбина (који је сам склопио 1609. год, слика 3.12) проналази облике рељефа на Месецу, Јупитерове сателите, Венерине мене, Сатурнове прстенове, Сунчеве пеге и помоћу њих указује на ротацију Сунца, раставља Млечни пут на звезде... Овим експериментима потврђује теорију хелиоцентричног система. Под судом инквизиције (слика 3.13) морао је да се одрекне својих схватања! Остала је прича да је пред смрт изјавио: „Ипак се окреће!”





**Слика 3.12.**

*Галилеј посматра звездано небо*



**Слика 3.13.**

*Галилеј пред судом инквизиције*

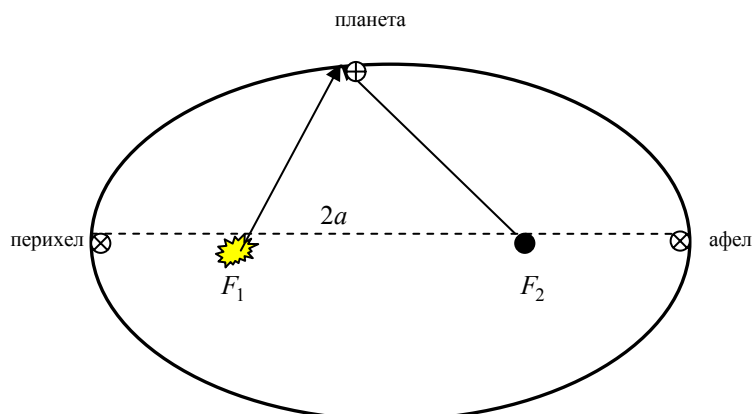
Јохан Кеплер (Johannes Kepler, 1571 – 1630.), намачки астроном и математичар, као млад дошао је да ради заједно са Тихом Брахеом. Одмах је добио задатак да реши путању планете Марс за коју Тихо никако није могао на основу геоцентричног система да конструише довољан број епицикла и деферената. Тек након Брахеове смрти, познавајући Коперников рад, установио је да су путање планета елипсе, а не кругови. У делу *Нова астрономија* (Astronomia nova, 1609) формулисао је три закона кретања планета око Сунца, који су по њему добили име Кеплерови закони.

### 3.9.3.1. Први Кеплеров закон

*Планете се крећу по елиптичним путањама. У заједничкој жижи тих елипси је Сунце.*

Елипса је скуп тачака у равни тако да је збир растојања сваке тачке линије од фиксираних оса – жижа ( $F_1$  и  $F_2$ ) елипсе исти. Елипса је крива линија у равни, тако да се планете крећу свака у својој равни. Тачка на елиптичној путањи у којој је планета најближа Сунцу назива се перихел, а њој супротна афел (слика 3.14). Растојање између перихела и афела представља дужу осу елипсе –  $2a$ .

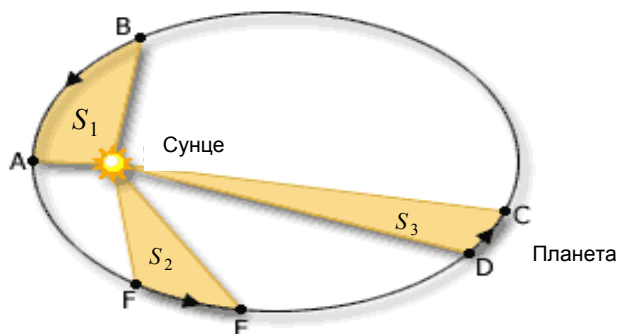




Слике 3.14. Елементи путање планета

### 3.9.3.2. Други Кеплеров закон

Свака планета се креће тако да дуж (радијус вектор) која спаја планету са Сунцем за исто време пребрише исту површину.



Слика 3.15. Површине које описује дуж Сунце – планета

Брзина кретања планете је највећа у перихелу, а најмања у афелу (слика 3.15), тако да планета за исто време пређе део путање из положаја  $B$  у положај  $A$ , као и део путање из положаја  $F$  у  $E$  или  $D$  у  $C$ . Површине које при томе пребрише радијус вектор су једнаке ( $S_1 = S_2 = S_3$ ). Секторска брзина представља површину  $\Delta S$  коју радијус вектор пребрише у временском интервалу  $\Delta t$ . Други Кеплеров закон на основу наведених величина дат је изразом:

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = const. \dots\dots\dots (3.14.)$$

а може формулисати и на следећи начин:

**Секторска брзина кратања планета по елипси око Сунца је стална.**

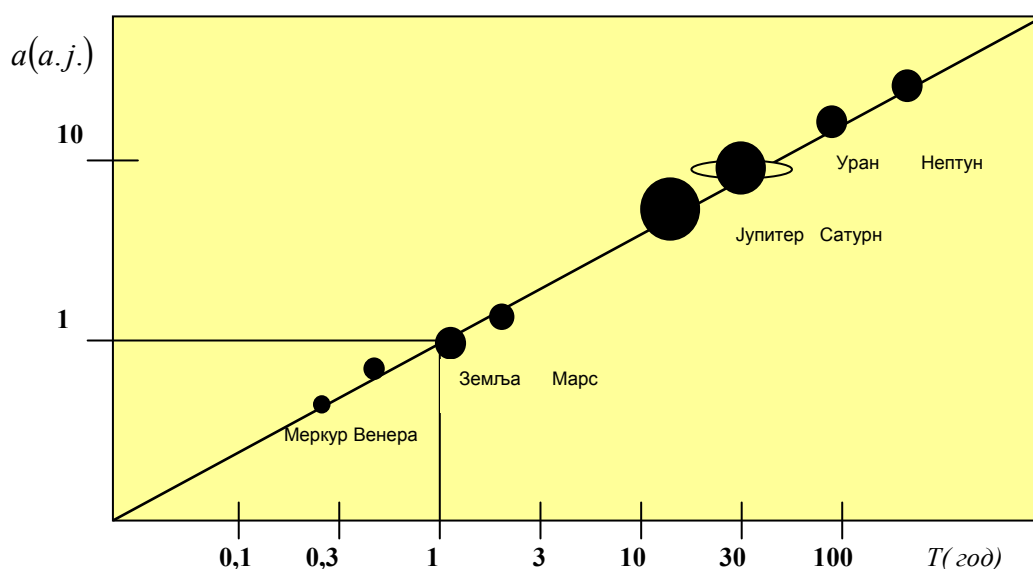
### 3.9.3.3. Трећи Кеплеров закон

**Однос квадрата периода обиласка планете око Сунца и трећег степена дуже полуосе путање за све планете је исти.**

Математички израз је:

$$\frac{T^2}{a^3} = const. \dots\dots\dots (3.15.)$$

где је  $T$  – период обиласка планете око Сунца, а  $a$  – велика полуоса елиптичне орбите. Уколико се период обиласка планете око Сунца мери у годинама, а велика полуоса елиптичне орбите у астрономским јединицама ( 1 а.ј. – средња удаљеност Земље од Сунца, око 150.000.000 километара) онда је вредност константе у изразу 3.15. једнака јединици. Трећи Кеплеров закон је универзалан за све планете као и остала тела сунчевог система. Мерећи периоде обиласка планете, могуће је одредити њихове средње удаљености од Сунца (слика 3.16. и табела 3.6).



Слика 3.16. Периоди обиласка и средње удаљености планета од Сунца

Табела 3.6. Периоди обиласка и средње удаљености планета од Сунца

Планета	$T(\text{год.})$	$a(a.j.)$	$T^2$	$a^3$
Меркур	0.24	0.39	0.06	0.06
Венера	0.62	0.72	0.39	0.37
Земља	1.00	1.00	1.00	1.00
Марс	1.88	1.52	3.53	3.51
Јупитер	11.9	5.20	142	141
Сатурн	29.5	9.54	870	868

### 3.9.4. Њутнов закон гравитације

Од посебног значаја је објаснити ученицима важност Њутнових закона динамике у односу на Кеплерова истраживања. Кеплер је у својим радовима објаснио кинематику кретања планета око Сунца, а за разлику од њега Њутн решава динамику проблема, уводи појам узајамног деловања између тела и формулише општи закон гравитације.

Њутнови закони динамике омогућују решавање проблема кретања тела под утицајем сила, укључујући и мировање. О томе да је сила која узрокује слободни пад тела на Земљу и сила која омогућава кретања небеских тела, сила исте природе, Њутн је размишљао још од студентских дана. Прва израчунавања нису дала потврду тој идеји, јер подаци о растојању Земља – Месец још увек нису били задовољавајуће тачности. Каснија, прецизнија мерења, омогућила су Њутну да формулише закон гравитације.

Њутн је кренуо од претпоставке да је сила Земљине теже, односно сила којом Земља привлачи тела, исте природе као и сила којом Сунце делује на планете. Сила Земљине теже на истом месту на Земљи даје свим телима исто убрзање. Према другом закону динамике привлачна сила,  $\vec{F}$ , пропорционална је маси тела:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \dots\dots\dots (3.16.)$$

Што значи да, ако се маса повећева, повећава се и сила гравитације, те је њихов однос увек константан. Дакле, привлачна сила Сунца је пропорционална маси планете, али на основу закона акције и реакције, планете такође делују привлачном силом на Сунце, само супротног смера. Уопштавајући проблем Сунце – планета, на ма која два тела, закључио је да интезитет силе  $\vec{F}$  мора бити пропорционалан производу маса тела:

$$F \propto m_1 \cdot m_2 \quad \dots\dots\dots (3.17.)$$

Како се елиптичне путање планета у првој апроксимацији могу сматрати кружним, онда за њихова центрипетална убрзања важи:

$$\frac{a_{cp1}}{a_{cp2}} = \frac{\frac{V_1^2}{r_1}}{\frac{V_2^2}{r_2}} = \frac{\frac{\left(\frac{S_1}{t_1}\right)^2}{r_1}}{\frac{\left(\frac{S_2}{t_2}\right)^2}{r_2}} = \frac{\frac{\left(\frac{2r_1\pi}{T_1}\right)^2}{r_1}}{\frac{\left(\frac{2r_2\pi}{T_2}\right)^2}{r_2}} = \frac{\frac{4\pi^2 r_1}{T_1^2}}{\frac{4\pi^2 r_2}{T_2^2}} \quad \dots\dots\dots (3.18.)$$

где су :  $a_{cp1}$  и  $a_{cp2}$  – интезитети центрипеталних убрзања планета (Кристијан Хајгенс, *Christiaan Huygens*, 1629 – 1695.),  $T_1$  и  $T_2$  – времена обилажења (периоди) планета око Сунца, а  $r_1$  и  $r_2$  – средња растојања орбита планета од Сунца. На основу трећег Кеплеровог закона однос центрипеталних убрзања је:

$$\frac{a_{cp1}}{a_{cp2}} = \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{T_1^2}{T_2^2} \quad i \quad \frac{T_1^2}{r_1^3} = \frac{T_2^2}{r_2^3} \Rightarrow \frac{a_{cp1}}{a_{cp2}} = \frac{r_1}{r_2} \Rightarrow a_{cp} \propto \frac{1}{r^2} \quad \dots\dots\dots (3.19.)$$

што значи да је центрипетално убрзање планета обрнуто пропорционално квадрату растојања планета – Сунце. Како је привлачна сила пропорционална убрзању тела – планете, следи да је привлачна сила обрнуто сразмерна квадрату удаљености планета – Сунце:

$$a_{cp} \propto \frac{1}{r^2} \quad \wedge \quad \vec{F} = m \cdot a = m \cdot \vec{a}_{cp} \Rightarrow F \propto \frac{1}{r^2} \quad \dots\dots\dots (3.20.)$$

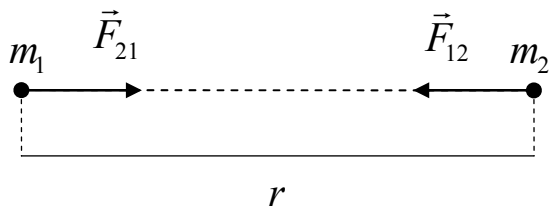
на основу израза 3.17. и 3.20. формулисао је општи закон гравитације у математичкој форми:

$$F_g = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \dots\dots\dots (3.21.)$$

где је коефицијент пропорционалности једнак гравитационој константи,  $\gamma$ , која је једнака сили која делује између два тела јединичних маса, на једничном растојању. Закон гравитације гласи:

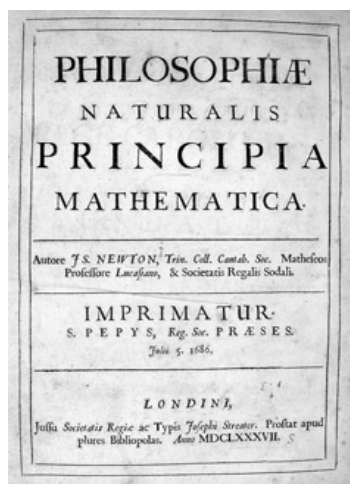
*Интезитет силе узајамног привлачења било која два тела, чије су димензије занемарљиве у односу на растојање међу њима, или између тела која имају сферни облик, сразмеран је производу маса тих тела и обрнуто сразмеран квадрату растојања међу тим телима.*

На слици 3.17. приказане су гравитационе силе којима интерагују две материјалне тачке, тако да је  $\vec{F}_{21}$  сила којом материјална тачка масе  $m_2$  делује на материјалну тачку  $m_1$ , док је  $\vec{F}_{12}$  гравитациона сила којом  $m_1$  делује на  $m_2$ . Интезитети те две силе су исти и одређени су изразом 3.21. Њутнов закон опште гравитације није теоријски изведен, добијен је на основу експерименталних података и астрономских посматрања (Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, 1687, слика 3.18)



Слика 3.17.

Приказ деловања гравитационе силе



Слика 3.18.

Насловна страна Principia

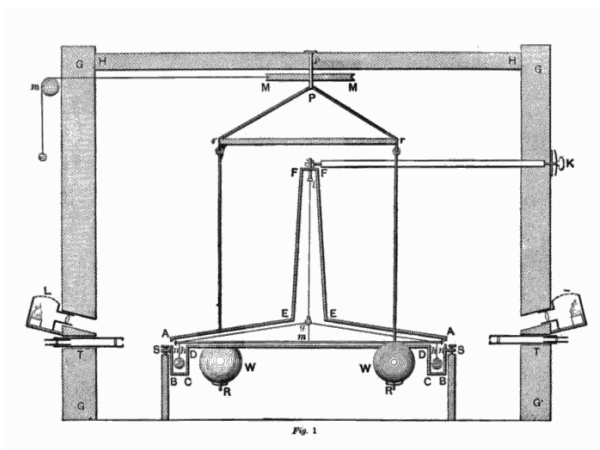
Гравитациона сила има следеће особине:

- увек се јавља без обзира на масу и облик тела;
- непостоји препрека за дејство силе;
- увек је привлачна;
- тела сферног облика привлаче се исто као и одговарајуће тачке истих маса;
- важи принцип суперпозиције;
- интезитет силе не зависи од релативне брзине тела;
- интезитет силе не зависи од средине између тела;
- сила слабог интезитета – најслабија у природи;
- домет деловања је бесконачан;
- убрзање које једно тело саопштава било ком другом на истом растојању је увек исто и назива се гравитационо убрзање:

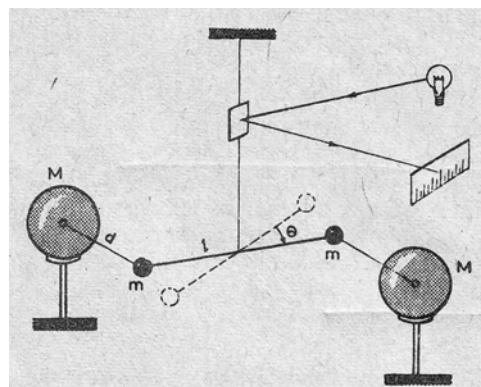
$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m_2} \Rightarrow g = \gamma \frac{m_1}{r^2} \dots \dots \dots (3.21.)$$

### 3.9.5. Кевендишов оглед

Овај оглед је један од битних огледа, како са историјског, тако и експерименталног становишта, а налази се у програму физике за ученике првог разреда гимназија. За разумевање огледа неопходно је да ученици имају одговарајуће предзнање из динамике ротације, као и из услова равнотеже тела (статике). Оглед показује начин одређивања и величину гравитационе константе, а на основу ње омогућује ученицима разумевање интензитета гравитационе силе. Хенри Кевендиш (Henry Cavendish, 1731 – 1810.) је оглед извео 1789. године, помоћу торзионе ваге (слика 3.19). На танку кварцну нит обесио је лаку полугу, занемарљиве масе. На крајевима полуге налазе се две оловне куглице маса  $m$ . Поред куглица у непосредној близини симетрично су постављене две веће оловне кугле маса  $M$ .



Слика 3.19. Кевендишова вага



Слика 3.20. Шета огледа

Гравитационе силе између тела маса  $m$  и  $M$  изазвају спрег сила, чији је интезитет:

$$M = F \cdot l = \gamma \frac{m \cdot M \cdot l}{d^2} \dots\dots\dots (3.22.)$$

Момент спрега сила обрће штап на коме се налазе куглице маса  $m$  за угао  $\theta$ , који представља угао увртања конца на коме виси штап (слика 3.20). Услед елестичности у концу ће се јавити момент спрега:

$$M_t = -C \cdot \theta \dots\dots\dots (3.23.)$$

где је  $C$  – торзиона константа конца. Под дејством момената  $M$  и  $M_t$ , торзиона вага ће заузети положај равнотеже под условом:

$$\bar{M} + \bar{M}_t = 0 \quad \text{или} \quad \gamma = \frac{C \cdot \theta \cdot d^2}{m \cdot M \cdot l} \dots\dots\dots (3.24.)$$

На основу израза 3.24, израчуната је вредност гравитационе константе:

$$\gamma = 6,7 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2} \dots\dots\dots (3.25.)$$

Вредност гравитационе константе,  $\gamma$ , показује да су гравитационе силе слабог интезитета, па се њихово дејство уочава између тела великих маса.

### 3.9.6. Гравитационо поље. Јачина гравитационог поља.

Увођење појма гравитационог поља, као и било ког другог физичког поља у општем случају, ученици теже прихватају, односно разумеју. Појам материје преко физичког поља је тешко прихватљив јер ученици појам материје идентификују са појмом супстанције. Међусобно деловање тела која нису у непосредном контакту остварује се преко одговарајућег физичког поља, тако да:

*Гравитационо поље је преносилац гравитационе интеракције.*

Да би ово разумели ученици треба да прихвате да у простору око сваког тела било које масе  $m$ , постоји гравитационо поље, а његово постојање може се утврдити само преко неког другог тела – пробног тела, на која ће ово поље деловати привлачном – гравитационом силом. Како је деловање узајамно и пробно тело деловаће на тело за које се предпоставља да је извор поља, својим гравитационим пољем. Гравитационо поље представља посебно физичко поље које дефинише стање простора око тела. Стање простора карактеришу посебна физичка и геометријска својства.

Гравитационо поље у класичној маханици описује се са *јачином гравитационог поља* у ознаци  $\vec{G}$  и може се дефинисати на следећи начин:

*Јачина гравитационог поља  $\vec{G}$  у некој тачки једнака је количнику гравитационе силе  $\vec{F}_g$  која би у датој тачки деловала на пробно тело и масе  $m_o$  пробног тела.*

Математички израз за јачину гравитационог поља је:

$$\vec{G} = \frac{\vec{F}_g}{m_o} \dots\dots\dots (3.26.)$$

Пробно тело је тело занемарљивих маса и димензија тако да својим присуством – гравитационом пољем на нарушава поље које се испитује. На пробно тело у разним тачкама поља делују гравитационе силе различитих



интезитета, односно поље је јаче у оним тачкама у којима је интезитет силе већи. Јачина гравитационог поља може се дефинисати и на следећи начин:

**Јачина гравитационог поља је бројно једнака гравитационој сили која би у датој тачки поља деловала на пробно тело јединичне масе.**

Јачина гравитационог поља је векторска величина и има исти правац и смер као вектор гравитационе силе која би у датој тачки поља деловала на пробно тело. Јединица за јачину гравитационог поља је 1N/kg. Користећи Њутнов закон гравитације за интезитет јачине гравитационог поља добија се:

$$F_g = \gamma \frac{m \cdot m_o}{r^2} \Rightarrow G = \frac{F_g}{m_o} = \gamma \frac{m}{r^2} \dots\dots\dots (3.27.)$$

где је  $F_g$  – интезитет гравитационе силе,  $m_o$  – маса пробног тела које се уноси у поље које потиче од тела масе  $m$ , а  $G$  – интезитет јачине гравитационог поља. Уочава се да интезитет јачине гравитационог поља не зависи од масе  $m_o$  пробног тела, јер из особине гравитационе силе следи да увећањем или смањењем масе пробног тела, повећава се или смањује интезитет гравитационе силе, тако да је њихов количник сталан и зато јачина гравитационог поља представља битну карактеристику поља.

Од посебног значаја је објаснити ученицима разлику између интезитета јачине гравитационог поља и гравитационог убрзања. На основу израза 3.27. и 3.21. ученици могу да закључе да су интезитети јачине гравитационог поља и гравитационог убрзања исти. Но, не треба мешати те две физичке величине, што ученици често чине, јер јачина гравитационог поља представља гравитациону силу којом поље делује на сва тела која се нађу у њему, док је гравитационо убрзање, убрзање које гравитациона сила саопштава истим тим телима. Дакле, у датој тачки гравитационог поља, имамо исте вредности јачине гравитационог поља  $\vec{G}$  и гравитационог убрзања  $\vec{g}$  и исти им је правац и смер. То је јединствено својство гравитационе силе (Чалуковић, 2001а,б).

### 3.9.7. Гравитационо поље Земље

Услови живота на Земљи дефинисани су у великој мери постојањем гравитационог поља: тежина и кретање тела, правац, смер и висина раста биљака, Земљина атмосфера... Због тога је од посебног значаја да ученици разумеју од чега зависи гравитациона сила Земље, као и интензитет убрзања Земљине теже. Земља има масу,  $M_Z = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$  и средњи полупречник,  $R_Z = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$ , а у простору око себе ствара гравитационо поље. Оно се испољава деловањем Земљине гравитационе силе на свако тело које се налази у домену тог поља. Интензитет јачине гравитационог поља, а тиме и убрзање Земљине гравитационе силе – гравитационо или убрзање слободног пада, зависи од висине на којој се тело налази у односу на Земљину површину. Када се тело налази на нивоу мора, тада га Земља привлачи силом интензитета:

$$F_{g_oZ} = m \cdot g_o = \gamma \frac{M_Z \cdot m}{R_Z^2} \quad \dots\dots\dots (3.28.)$$

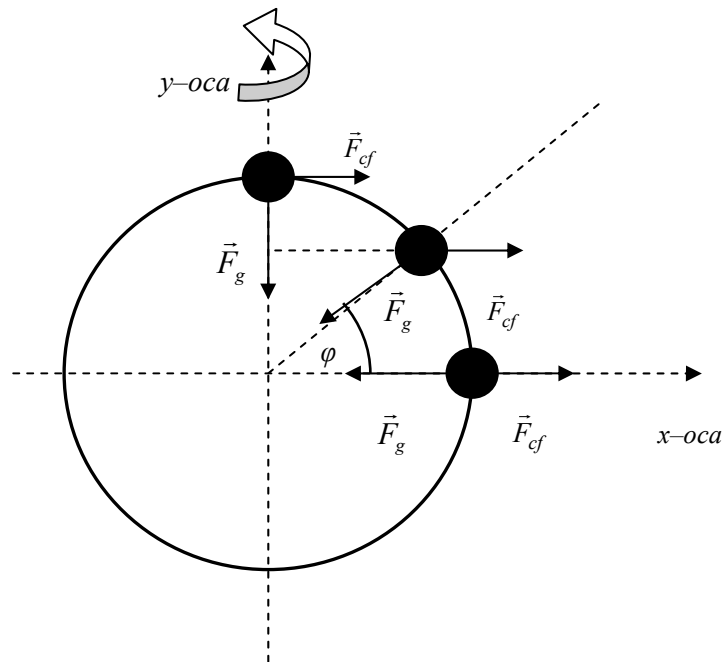
где су  $M_Z$  и  $R_Z$  – маса и полупречник Земље,  $m$  – маса тела и  $g_o$  – интензитет убрзања Земљине теже (гравитационе силе) на нивоу мора. На тело које се налази на висини  $h$ , изнад површине мора делује сила Земљине гравитације интензитета:

$$F_{gZ} = m \cdot g = \gamma \frac{M_Z \cdot m}{(R_Z + h)^2} \quad \dots\dots\dots (3.29.)$$

Одавде следи да интензитет Земљине гравитационе силе и интензитет убрзања Земљине теже мењају се са висином по истом закону.

На висинама много мањим од Земљиног полупречника ( $h \ll R_Z$ ) промене се могу занемарити и сматрати да су гравитациона сила  $-\vec{F}_g$ , и убрзање тела при слободном паду константне величине. Међутим, како Земља ротира и као таква представља неинерцијалан систем у коме се јавља инерцијална

силе  $-\vec{F}_{cf}$  (центрифугална сила, слика 3.21), које чини да Земља нема правилан облик, она је Геоид, односно има већи полупречник на екватору, него на половима.



Слика 3.21. Земља као неинерцијални систем

Зато убрзање Земљине теже зависи и од географске ширине –  $\varphi$  (јер се  $\vec{F}_{cf}$  смањује са повећањем  $\varphi$ , односно смањује се удаљење од осе ротације Земље), а не само од висине, а његове вредности износе:

$$g_e = 9,78 \frac{m}{s^2}, \quad g_{45^\circ} = 9,81 \frac{m}{s^2}, \quad g_p = 9,83 \frac{m}{s^2} \dots \dots \dots (3.30.)$$

Дакле, гравитационо убрзање Земљине теже је најмање на екватору  $g_e$ , јер је инерцијална сила  $\vec{F}_{cf}$  највећа (највеће удаљење од осе ротације), а највеће на полу  $g_p$ , јер је удаљење од осе ротације једнако нули, односно интезитет гравитационог убрзања опада од пола ка екватору.

**3.9.8. Сила Земљине тежа. Тежина тела.**

У овом делу неопходно је да ученици схвате разлику између појмова силе теже и тежине тела, као и утицај Земљине ротације.

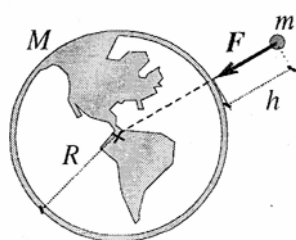
**Земљина тежа је гравитациона сила којом Земља делује на неко тело.**

Сила Земљине теже је сила која доводи до слободног пада тела и за мале висине је константна, као и убрзање које саопштава том телу (убрзање слободног пада или гравитационо убрзање):

$$\vec{F}_g = m \cdot \vec{g} \quad \wedge \quad \vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m} = const. \quad \dots\dots\dots (3.31.)$$

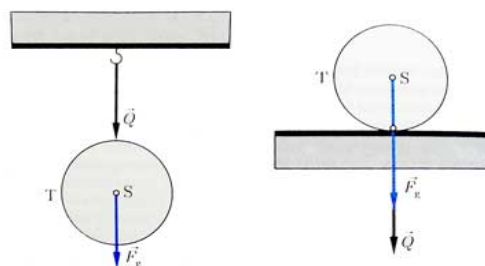
На већим висинама мења се Земљина тежа (слика 3.22), а тиме и убрзање које добијају тела под њеним деловањем :

$$F_g = \gamma \frac{M \cdot m}{(R+h)^2} \Rightarrow g = \gamma \frac{M}{(R+r)^2} \quad \dots\dots\dots (3.32.)$$



**Слика 3.22.**

*Зависност Земљине теже од висине*



**Слика 3.23.**

*Тежина тела и њено дејство*

Иако Земљина тежа условљава тежину тела – ове две величине не могу се поистоветити, дакле:

**Тежина тела је сила којом тело делује на хоризонталну подлогу или конач, односно истезе опругу, услед деловања силе Земљине теже.**

Тежина тела дефинише се укупним силама које делују на тело, а не само силом гравитације – теже. Тако је тежина тела у води или ваздуху мања него у вакууму због постојања сила потиска (Даниловић и сар, 1996; Распоповић, 1996; Распоповић и Распоповић, 2006; Чалуковић, 2001а,б;). Постоји суштинска разлика међу појмовима „сила теже” и „тежина тела”! Прва одражава узајамно

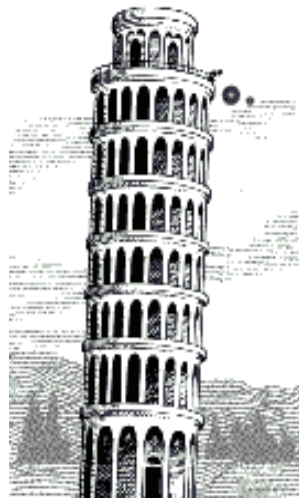
дејство између тела и Земље, а друга је резултат узајамног дејства тела и подлоге, опруге, конца...Тежина тела зависи од убрзања подлоге на којој се тело налази, док сила теже остаје непромењена. Тежина тела на површини Земље, из референтног система везаног за Земљу, била би једнака Земљиној тежи, само у случају да Земља не ротира око своје осе или у специјалном случају, на полу.

### 3.9.9. Кретање тела у гравитационом пољу Земље

У оквиру ове наставне теме ученик треба да разуме услове кретања тела у гравитационом пољу Земље, препозна врсте кретања, односно разуме разлику између појединих врста кретања. Ученик треба да примени стечена знања из кинематике о променљивом кретању на кретање под утицајем гравитационе силе.

#### 3.9.9.1. Слободни пад

*Када се тело пусти са неке висине  $h$  без почетне брзине, његово кретање се назива слободан пад.*



Слика 3.24. Експеримент слободног пада

Слободни пад је први проучио Галилеј, пуштајући тела различите масе да падају са исте висине. За експерименте је користио чувени торањ у Пизи (слика 3.24). То је пример равномерно убрзаног праволинијског кретања без

почетне брзине, са убрзањем Земљине теже  $g$ . Слободни пад се може описати изразима који важе за убрзано кретање за  $V_0 = 0$ :

$$V = g \cdot t, \quad S = h = \frac{1}{2} g \cdot t^2, \quad V = \sqrt{2gS} \quad \dots\dots\dots (3.33.)$$

где је  $g$  – гравитационо убрзање, а  $t$  – време за које тело прелази пут  $S = h$ .

### 3.9.9.2. Вертикални хитац наниже

За разлику од слободног пада вертикалан хитац наниже, представља равномерно – убрзано кретање са почетном брзином и убрзањем  $g$ .

*Вертикални хитац наниже је кретање тела баченог са неке висине  $h$  неком почетном брзином  $V_0$  усмереном вертикално наниже.*

Такво кретање се описује математичким изразима:

$$V = V_0 + g \cdot t, \quad S = h = V_0 \cdot t + \frac{1}{2} g \cdot t^2, \quad V = \sqrt{V_0^2 + 2gS} \quad \dots\dots\dots (3.35.)$$

### 3.9.9.3. Вертикални хитац увис

Да би се овакво кретање догодило телу је неопходно саопштити неку почетну брзину,  $V_0$ . Тело се креће равномерно – успорено до одређене – максималне висине ( $h_{\max}$ ), а затим слободно пада.

*Вертикални хитац увис је кретање тела баченог неком почетном брзином  $V_0$  усмереном вертикално навише са неке висине  $h$ , или са Земље.*

Први део кретања се може описати математичким изразима који се односе на успорено кретање:

$$V = V_0 - g \cdot t, \quad S = h = V_0 \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2, \quad V = \sqrt{V_0^2 - 2gS} \quad \dots\dots\dots (3.36.)$$

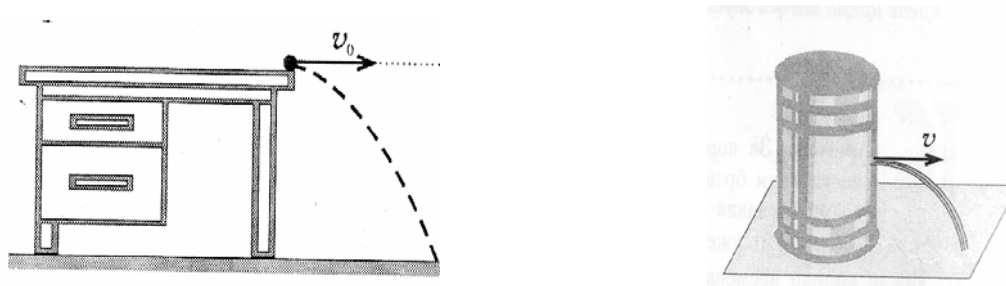
У тренутку када тело достиже максималну висину брзина је једнака нули,  $V = 0$ . Време за које тело достиже максималну висину – време пењања  $t_p$  и максимална висина  $h_{\max}$  су дати изразом:

$$0 = V_0 - g \cdot t_p, \Rightarrow t_p = \frac{V_0}{g} \Rightarrow h_{\max} = \frac{V_0^2}{2g} \dots\dots\dots (3.37.)$$

Из 3.37. следи да време пењања  $t_p$  и максимална висина до које стиже тело  $h_{\max}$  независе од масе тела, већ само од почетне брзине  $V_0$ . Приликом повратка на Земљу тело слободно пада и у тренутку удара о Земљу има исту брзину  $V_0$ , са којом је бачено, а време кретања,  $t_u$ , је једнако двоструком времену пењања,  $t_u = 2t_p$ .

### 3.9.9.4. Хоризонтални хитац

Када се тело избаци са неке висине  $h$  неком почетном брзином  $V_0$  у хоризонталном правцу, његово кретање назива се хоризонталан хитац (слика 3.25):



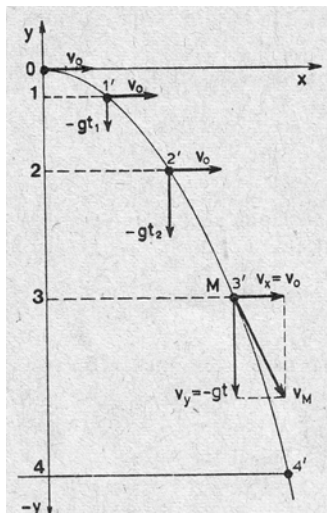
Слика 3.25. Хоризонталан хитац:

- а) тела масе  $m$ ;
- б) истицање воде из бочног отвора суда.

**Хоризонтални хитац је кретање тела у близини Земље у случају када је вектор почетне брзине  $\vec{V}_0$  хоризонталан .**

Ученици треба да схвате да је хоризонтални хитац резултат слагања два независна праволинијска кретања: (1) у хоризонталном правцу тело нема убрзање, па се креће константном брзином  $V_0$ ; (2) у вертикалном правцу тело

нема почетну брзину, а има убрзање  $g$ , па за кретање у вертикалном правцу важи закон слободног пада (слика 3.26). У једнаким временским интервалима помераји тела у хоризонталном правцу су једнаки, а у вертикалном правцу помераји се повећавају, тако да је кретање дуж  $x$  – осе и  $y$  – осе дато изразима:



$$x = V_0 \cdot t, \quad \wedge \quad y = -\frac{1}{2} g \cdot t^2 \quad \dots\dots\dots (3.38.)$$

Из 3.38. може се добити путања тела које изводи хоризонтални хитац и она је парабола:

$$y = -\frac{1}{2} g \cdot \frac{x^2}{V_0^2} \quad \dots\dots\dots (3.39.)$$

Слика 3.26. Хоризонтални хитац

### 3.9.9.5. Коси хитац

Свако тело избачено са почетном брзином под углом у односу на хоризонтални правац изводи кретање које називамо *коси хитац* (слика 3.27).



Слика 3.27. Примери косог хица:

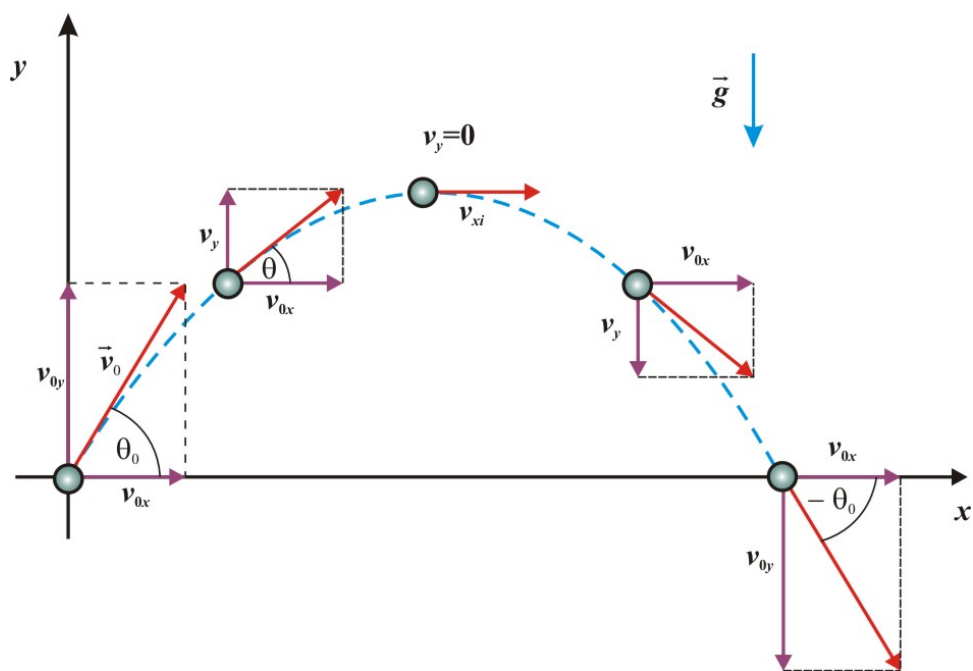
- а) фудбалски шут;                      б) кошаркашки шут;                      ц) ударац у голфу.

Приликом избацивања краткотрајно је деловала нека спољашња сила и након тога на тело делује само Земљина тежа. Коси хитац је сложено кретање:



равномерно праволинијско по закону инерције и равномерно променљиво у вертикалном правцу под утицајем Земљине теже. Оба кретања изводе се истовремено, тако да тело неће вршити ни једно ни друго кретање појединачно, већ резултантно – сложено кретање по кривој путањи – параболи, приказаној на слици 3.28. Компоненте силе Земљине теже су дате изразима:

$$F = m \cdot g \quad \wedge \quad (F_x = 0 \quad \wedge \quad F_y = -mg) \quad \dots\dots\dots (3.40.)$$



Слика 3.28. Елементи кретања косог хица у  $x - y$  равни

У изразу 3.40. предзнак је „-“ јер су смерови  $y -$  осе и Земљине теже супротни. Основни закон динамике примењен на дато кретање има облик:

$$F_x = m \cdot a_x = 0 \quad \wedge \quad F_y = m \cdot a_y = -m \cdot g \quad \dots\dots\dots (3.41.)$$

Из пројекција убрзања следе једначине кретања дуж  $x -$  осе и  $y -$  осе:

$$a_x = 0 \Rightarrow V_x = V_{0x} = const \quad \wedge \quad x = V_x \cdot t \quad \dots\dots\dots (3.42.)$$

$$a_y = -g \Rightarrow V_y = V_{0y} + a_y \cdot t = V_y = V_{0y} - g \cdot t \quad \wedge \quad y = V_{0y} \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

Из 3.42. може се извести путања тела које изводи коси хитац у пољу Земљине теже, која је парабола:

$$x = V_{0x} \cdot t \quad \wedge \quad y = V_{0y} \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2 \quad \dots\dots\dots (3.43.)$$

Максимална висина тела,  $h_{\max}$ , одређује се из услова да је компонента брзине дуж  $y$  – осе једнака једнака нули,  $V_y = 0$ :

$$V_y = V_{0y} - g \cdot t_p = 0 \quad \Rightarrow \quad t_p = \frac{V_{0y}}{g} \quad \dots\dots\dots (3.44.)$$

где је  $t_p$  – време за које је тело достигло максималну висину. Уочава се да је време пењања сразмерно вертикалној компоненти почетне брзине, а обрнуто сразмерно убрзању Земљине теже.

Укупно време кретања тела које изводи коси хитац налази се из услова да је  $y = 0$ , тако да добијамо израз 3.45, где је  $t_u$  – укупно време кретања тела:

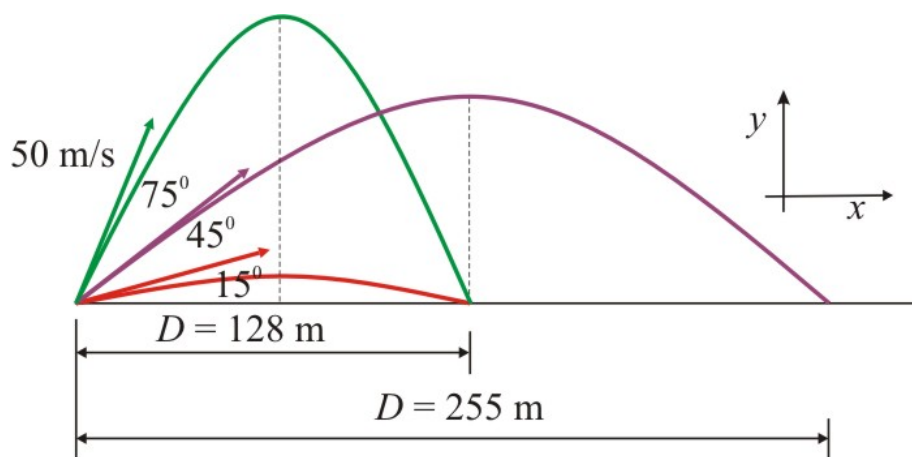
$$y = V_{0y} \cdot t_u - \frac{1}{2} g \cdot t_u^2 \quad \Rightarrow \quad t_u = \frac{V_{0y}}{g} \quad \dots\dots\dots (3.45.)$$

Максимална висина тела  $h_{\max} = y_{\max}$ , као и максимални домет  $x_{\max}$  могу се приказати као:

$$y_{\max} = V_{0y} \cdot t_p - \frac{1}{2} g \cdot t_p^2 = V_{0y} \frac{V_{0y}}{g} - \frac{1}{2} \cdot \frac{V_{0y}^2}{g} = \frac{V_{0y}^2}{2g}$$

$$x_{\max} = V_{0x} \cdot t_u = \frac{2 \cdot V_{0x} \cdot V_{0y}}{g} \quad \dots\dots\dots (3.46.)$$

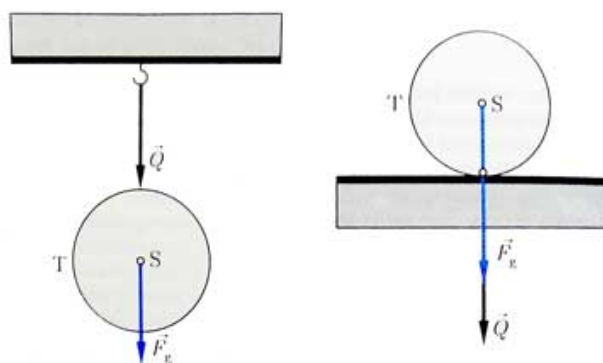
Највећи домет косог хица је ако се тело избаци под углом од  $45^\circ$  (слика 3.29).



Слика 3.29. Домет косог хица

### 3.9.9.6. Бестежинско стање

Појам бестежинског стања уводи се на основу предзнања које ученици треба да имају о инерцијалним и неинерцијалним системима. Може се показати да је тежина тела иста у свим инерцијалним референтним системима који се у односу на Земљу крећу равномерно праволинијски (слика 3.30) и дата је изразом 3.47:

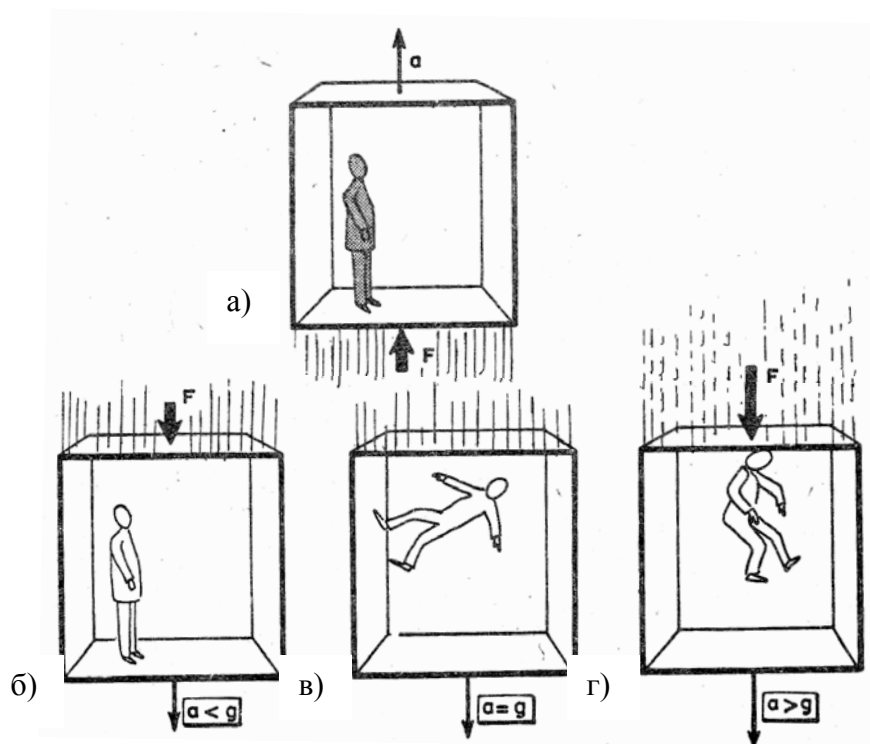


Слика 3.30. Тежина тела

$$\vec{Q} = m \cdot \vec{g} \quad \dots \quad (3.47.)$$

Међутим, ако се тело налази у систему који се креће убрзано у односу на Земљу, односно у неком неинерцијалном референтном систему, његова тежина се мења. Нека се посматрач налази у кабини која има убрзање интензитета  $\vec{a}$  у односу на инерцијални систем, на пример у односу на површину Земље. Тада тежини тела посматрача,  $\vec{Q}$ , поред силе теже доприноси и инерцијална сила  $\vec{F}_i$ . Ако се лифт креће са убрзањем  $\vec{a}$  усмереним вертикално навише (слика 3.31а), тада ће тежина тела у њему  $\vec{Q}'$  бити:

$$Q' = Q + F_i = m \cdot g + m \cdot a = m \cdot (g + a) \dots\dots\dots (3.48.)$$



Слика 3.31. Тежина тела у неинерцијалном систему референце

Ако се кабина креће убрзано на доле (слика 3.31б), инерцијална сила делује у супротном смеру, тако да смањује тежину тела:

$$Q' = Q - F_i = m \cdot g - m \cdot a = m \cdot (g - a) \dots\dots\dots (3.49.)$$

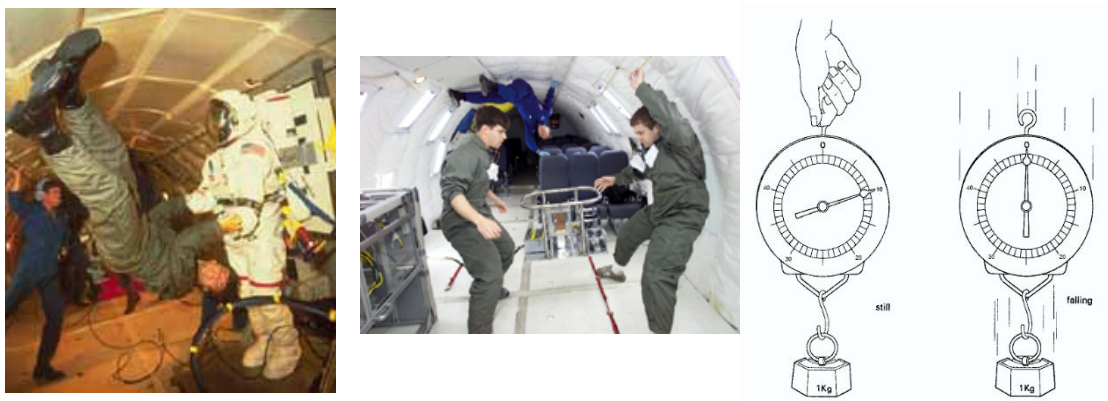
Тело се налази у *бестежинском стању* у случају када се кабина креће са убрзањем  $a = g$  (слободни пад) усмереним вертикално наниже. Инерцијална сила је једнака сили Земљине теже, те је збир свих сила које делују на тело једнак нули и тело нема тежину (слика 2.31в):

$$Q' = Q - F_i = m \cdot g - m \cdot a = m \cdot (g - g) = 0 \quad \dots\dots\dots (3.50.)$$

Бестежинско стање дешава се космонаутима у кабини космичког брода, који „слободно пада” у пољу Земљине теже (слика 3.32).

Када би се кабина кретала са убрзањем чији је интензитет већи од убрзања Земљине теже, усмереним вертикално наниже, инерцијална сила би била већа од силе Земљине теже, тада би тежина тела променила смер (слика 3.31г).

Земља је „космички брод који слободно пада” у пољу гравитације Сунца, тако да земљани не осећају гравитационо дејство Сунца. Исто се односи и на кретање Месеца око Земље, планета око Сунца, чије „слободно падање” не престаје милијардама година.



Слике 3.32. Бестежинско стање

Сви наведени наставни садржаји и појмови су обрађени приликом примене научног метода у настави физике кроз тему *Гравитација*, тако да су они и приказани на средњошколском нивоу. Експерименти који су пратили примену научног метода дати су у Прилогу 1, на крају дисертације.

## Глава IV

### 4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

#### 4.1. Организација и ток истраживања

Примена научног метода реализована је кроз наставне јединице, контролне вежбе и експерименте у оквиру теме *Гравитација*:

(1) час: иницијална контролна вежба 2 из садржаја теме Гравитација из основне школе;

(2) час: *Наставна јединица* – Кеплерови закони;

(3) час: *Експеримент* – Марсова орбита;

(4) час: *Експеримент* – Слободни пад; *Наставна јединица* – Њутнов закон гравитације;

(5) час: *Наставне јединице* – Гравитационо поље. Јачина гравитационог поља;

(6) час: *Тема* – Кретање тела у гравитационом пољу; *Експеримент* – Слободни пад повезаних новчића; *Наставне јединице* – Слободни пад. Вертикални хитац увис и наниже;

(7) час: *Тема* – Кретање тела у гравитационом пољу; *Наставна јединица* – Хоризонтални хитац; *Експеримент* – Хоризонтални хитац;

(8) час: *Тема* – Кретање тела у гравитационом пољу; *Наставна јединица* – Коси хитац; *Експеримент* – Коси хитац;

(9) час: *Експеримент* – Бестежинско стање; *Наставна јединица* – Бестежинско стање;

(10) час: Финална контролна вежба 3.

Реализацију истраживања отежавала је обимност садржаја предвиђених планом и програмом у теми *Гравитација*. Један од начина превазилажења овог проблема је обрада обавезних појмова припремом пауер поинт (PowerPoint) презентација, у којима су коришћене симулације физичких појава, уз директан приступ интернету и сајтовима који се односе на дату тему. У току часова

експерименталног одељења су изведени једноставни експерименти, путем којих су демонстриране физичке појаве које се обрађују (Hestenes, 1992). Обрада сваке теме употпуњена је одабраним задацима и на тај начин је свака тема, односно наставна јединица обрађена како са теоријског и експерименталног аспекта, тако и кроз задатке. Структура часа је обухватала: уводни (понављање важних садржаја – појмова са претходног часа и повезивање са садржајима који се обрађују), главни и завршни део часа, као и закључак. Током часа ученици су у свеску бележили појмове и садржаје наставних јединица. На крају часа на посебном папиру, ученици су писали питања из садржаја који нису у потпуности усвојили, а затим их предавали наставнику. На тај начин избегнуто је устручавање или страх од незнања пред наставником, или другим ученицима. Одговоре су добијали одмах, или на следећем часу (Гордон, 2006).

Експерименти су осмишљени тако да ученици експерименталног одељења применом научног метода усвоје физичке појмове и величине које се обрађују у оквиру тема Кеплерови закони и Кретање тела у гравитационом пољу Земље. Ученици су експерименте радили по групама. Избор ученика који су сачињавали групу је био случајног карактера, односно ученици су извлачили папире са именима група. Тако су формиране групе од по четири ученика под називом: Аристотел, Аристарх, Птоломеј, Тихо Брахе, Никола Коперник, Јохан Кеплер и Галилео Галилеј. Групни рад погодује бољој комуникацији ученика кроз међусобне консултације током реализације вежбе. Сваки ученик је индивидуално припремао извештај и предавао га на крају часа. На основу писаних припрема подељених претходног часа, ученици су доносили потребан материјал за експерименте који ће се радити на часу. У току трајања часа, поједини ученици су ток вежбе или демонстрационог огледа снимали дигиталном камером (Beichner, 1996; Zollman & Fuller, 1994). Снимак експеримента су могли погледати на видео биму и поновити га ако би закључили да је то потребно.

## 4.2. Модели часова реализовани применом научног метода

### 4.2.1. Примена научног метода у реализацији наставне јединице Кеплерови закони

*Кеплерови закони* су тема која је једна од најбољих примера примене научног метода у историји Астрономије и науке уопште, у циљу решавања заблуде о кретању Свемира око Земље, која је постојала у периоду од Аристарха до Кеплера и Галилеја.

На другом часу дато је теоријско образложење *Кеплерових закона*. Час је започет формулацијом проблема и постављањем хипотезе. У циљу симулације почетних истраживања из времена важења теорије геоцентричног система, кад су људи голим оком посматрали небо, наставник сугерише ученицима да почетна хипотеза гласи: Сва небеска тела се окрећу око Земље!? За разлику од раних астрономских истраживања, ученици имају привилегију да претпоставку провере у времену трајања од два школска часа, једним теоретским и другим експерименталним. На почетку првог часа анализирана је слика неба у току дана и ноћи и тражени су одговори на питање: зашто гледајући са Земље изгледа да се звезде и планете окрећу око нас (теорија геоцентричног система)? Објашњени су разлози због којих је теорија геоцентричног система дуго опстајала, као и историјски значај научника, попут Аристарха са Самоса, управника Александријске библиотеке (II век п.н.е, Мишковић, 1975). Аристарх је био творац хелоцентричног система, чије је учење из многих разлога било потиснуто, тако да се теорија хелиоцентричног система везује за Коперника (XVI век н.е). Баш тих 18 векова сведоче о тешком, али једино исправном путу усвајања знања применом научног метода. Током другог часа, поред теоријске обраде Кеплерових закона, као решења кинематике кретања планета, истакнут је значај процеса открића од Аристарха преко Коперника, Тиха, Кеплера и Галилеја. На крају другог часа ученици су узимали папире и писали питања из представљених садржаја који су им остали нејасни, а затим их предавали наставнику (Прилог 3). Наставник је потом поделио припрему – писани материјал (Прилог 1), за следећи час када самостално раде експеримент.



Час 3. представља израду експеримента „Марсова орбита“ који је осмишљен на основу оригиналних радова Кеплера (Gingerich, 1983). Ученици су за потребе експеримента подељени у групе. Кабинет физике је припремљен за рад седам група ученика, на сваком столу је било име групе, а сваки ученик приликом уласка у кабинет добијао је идентификациону картицу са именом групе (слике 4.1).



Слике 4.1. Израда вежбе Марсова орбита

Током израде вежбе ученици пролазе кроз фазе научног метода, тако да следи:

*Дефиниција проблема:* Кретање небеских тела.

*Прикупљање података:* Координате положаја планете Марс.

*Формулација хипотезе:* Сва небеска тела се окрећу око Земље!?

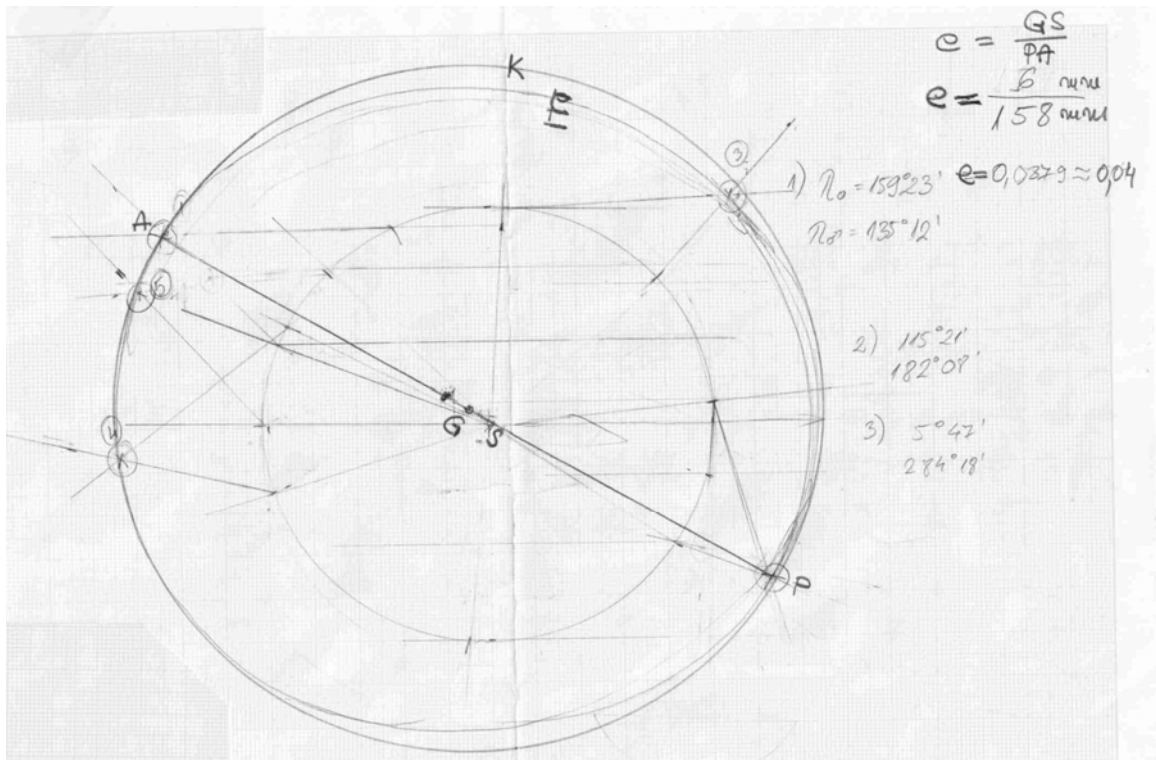
*Експеримент:* Ученици покушавају да нацртају путању планете Марс постављајући Земљу у центар координатног система (геоцентрични систем) – не успевају! Ученици цртају путању планете Марс постављајући у центар координатног система Сунце (хелиоцентрични систем) – успевају!

*Тестирање хипотезе:* На бази података експеримента ученици закључују да почетна хипотеза није тачна.

*Закључак:* Марс, као и остале планете, креће се око Сунца!

Реализација експеримента подразумева да ученици узимају материјал неопходан за експеримент (Прилог 1) и на основу предзнања стеченог на претходном теоријском часу, изводе експеримент и доносе закључке о путањи планета око Сунца:

- у првој апроксимацији путања представља кружницу, чији је центар,  $G$ , померен у односу на центар круга (слика 4.2);
- положаји Земље и Марса одређују се на основу центра кружнице, који је и центар елипсе;
- центар кружнице (елипсе) и центар помоћног круга леже на истој правој,  $AP$ , која спаја перихел и афел путање. Центар помоћног круга представља једну од жижа елипсе у којој се налази Сунце;
- друга жижа налази се тако што се измери дуж  $GS$  (слика 4.2) и пренесе вредност у другом смеру са почетком у тачки  $G$ . Помоћу чиода које се западају у жиже и конца ученици цртају елипсу;
- на крају закључују о величини ексцентрицитета путање. Већина ученика је завршила експеримент на часу, а остали су могли да га доврше код куће и цртеж донесу и предају на следећем часу (слика 4.2).



Слика 4.2. Цртеж Марсове орбите, рад ученика

#### 4.2.2. Примена научног метода у реализацији наставне јединице Њутнов закон гравитације

Наставна јединица *Њутнов закон гравитације* реализована је на часу бр. 4. Њутнов закон гравитације ученици су обрађивали и у основној школи, тако да долазе са одговарајућим предзнањем. На контролној вежби 2 показали су довољан ниво предзнања, око 50% тачних одговора, узимајући у обзир временску дистанцу, односно ретенцију знања од тренутка обраде теме у основној школи до времена тестирања.

Час бр. 4 започиње експериментом „Зашто јабука пада?“ реализованим на исти начин по групама и на истом месту (кабинет физике, као и експеримент „Марсова орбита“). Ученицима је на претходном часу подељена припрема – писани материјал (Прилог 1), на основу кога су они донели потребан материјал и припремили се за реализацију експеримента. Ученицима је сугерисан проблем, а затим сами формулишу хипотезе. Њихов рад је праћен током експеримента. Фазе примене научног метода су биле:

*Дефиниција проблема:* Тела веће масе падају брже него мање масивна тела!? (Аристотел);

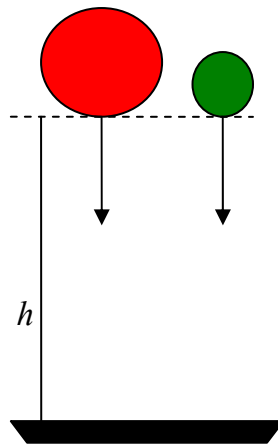
*Прикупљање података:* Посматрање и снимање камером слободног пада два тела различитих маса, која се пуштају истовремено;

*Формулација хипотезе:* Два тела различитих маса падају истовремено на Земљу, ако се пусте са истих висина;

*Експеримент:* Два тела различитих маса пусте се да слободно падају са исте висине. Експеримент се понавља за различите висине и при томе се мери време и висина са које тела падају (слика 4.3). Ученици снимају експеримент камером;

*Тестирање хипотезе:* Анализом резултата мерења заједно са анализом видео снимка тестира се хипотеза;

*Закључак:* Када се тела различитих маса пусте да слободно падају са истих висина, она истовремено стижу на Земљу (Галилеј).



Слика 4.3. Слободни пад тела

У теоријском делу часа детаљно су обрађени појмови које су ученици делимично усвојили у основној школи и уведени су нови. На крају часа ученици пишу питања на папире и предају наставнику. Уколико време дозвољава наставник одговара одмах, или у супротном се одговор и дискусија о постављеним питањима наставља на следећем часу. У Прилогу 3 дат је избор питања међу којима се налазе и она занимљива, која кроз шалу омогућавају боље разумевање постављеног проблема (Крњајић, 2006).

#### 4.2.3. Примена научног метода у реализацији наставне јединице

##### Гравитационо поље и Јачина гравитационог поља

Са појмом гравитационог поља ученици се сусрећу у основној школи, без увођења математичког израза. Јачина гравитационог поља и гравитационо убрзање су појмови које ученици најчешће мешају, због истог математичког израза и истог интезитета. Због специфичности наставних садржаја час бр. 5 је реализован помоћу презентације, уз кораке које предвиђа научни метод: дефинисање проблема, прикупљање података, постављање хипотезе, уместо експеримента узета су теоријска решења (математички изрази физичких закона), тестирање хипотезе (мењане различите вредности променљивих и посматрана решења) и извођење закључка.

Извођење закључка употпуњено је решавањем рачунских задатака, тако да ученик може јасније да сагледа везу између Кеплерових закона и Њутновог закона гравитације. Израчуната је вредност константе из трећег Кеплеровог закона, на основу претпоставки које су навеле Њутна да формулише закон, односно да центрипетално убрзање планета које је дефинисао Хајгенс, потиче од гравитационог дејства Сунца и да је гравитациона сила Земље и гравитационо убрзање узрок због кога тела падају на Земљу. Посебно су обрађени делови који се односе на зависност гравитационог убрзања од географске ширине. На крају часа наставник је одговарао на писана питања ученика (Прилог 3) и затим је поделио припрему – писани материјал за експеримент за следећи час (Прилог 1).

#### **4.2.4. Примена научног метода у реализацији наставне јединице Слободни пад, Вертикални хитац увис и наниже**

Наставне јединице *Слободни пад* и *Вертикални хитац увис и наниже*, час бр. 6, су у потпуности релизоване применом научног метода. Прво су ученици, после постављене хипотезе, извели експеримент „Слободни пад повезаних новчића” (слика 4.4. и Прилог 1). Из закључака изведених на основу експеримента, уследило је детаљно теоријско образложење. Експеримент је реализован кроз фазе научног метода:

1. *Дефиниција проблема:* Тела приликом слободног пада прелазе исте путеве за исто време.
2. *Прикупљање података:* Уочавање звучних ефеката удара новчића о подлогу, ако су растојањима између њих иста или у односу 1:3:5:7...
3. *Формулација хипотезе:* Новчићи слободно падају, односно крећу се убрзано у пољу Земљине теже са убрзањем  $g$ , тако да за исте временске интервале прелазе различите путеве!
4. *Експеримент:* Извести неколико пута експеримент са новчићима, када су растојања између њих иста (1), или у односу 1:3:5:7...(2)(слика 3.4);
5. *Тестирање хипотезе:* Упоредити звучне ефекте удара новчића о металну подлогу када су растојања између њих иста, са звучним ефектима удара новчића о подлогу када су растојања у односу 1:3:5:7...;

6. *Закључак:* Приликом слободног пада тело се креће убрзано са убрзањем  $g$ , тако да за исте интервале времена прелази различите путеве.

Експеримент 1. Експеримент 2.



Слика 4.4. Слободни пад везаних новчића

Ученици су донели потребан материјал за реализацију експеримента, успешно га урадили, направили видео запис (Прилог 1) и исправно извели закључке. На основу усвојених појмова, изведени су изрази и детаљно обрађена теорија *Слободног пада* и *Хица увис и наниже*. Час се завршио са незаобилазним писаним питањима ученика и поделом припрема – писаног материјала за експеримент за следећи час.

#### 4.2.5. Примена научног метода у реализацији наставне јединице

##### Хоризонтални хитац

Са садржајима наставне јединице *Хоризонтални хитац*, час бр. 7, ученици се први пут сусрећу у средњој школи, тако да немају одговарајућа предзнања. У том случају наставник прво теоријски образлаже непознате садржаје уз помоћ презентације која користи интернет линк са анимацијом хоризонталног хица. Затим ученици раде експеримент „Хоризонтални хитац” (Прилог 1) којим се теоријски садржаји часа потврђују. На основу закључака изведених из експеримента, уследило је детаљно теоријско образложење којим је допуњено знање са теоријског дела часа. На тај начин је примењен научни метод. Током експеримента, фазе научног метода су биле:

*Дефиниција проблема:* Дужина домета хоризонталног хица;

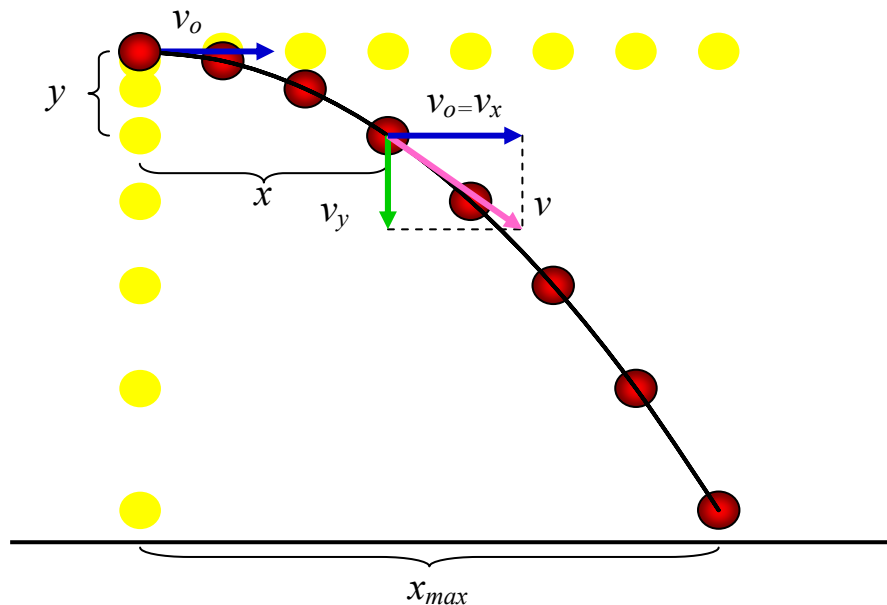
*Прикупљање података:* Мерење дужине домета хоризонталног хица тела, за различите почетне брзине (слика 4.5);

*Формулација хипотезе:* Домет хоризонталног хица зависи од почетне брзине тела;

*Експеримент:* Мерење домета тела приликом хоризонталног хица, при различитим почетним брзинама;

*Тестирање хипотезе:* Анализа експерименталних резултата и видео снимка;

*Закључак:* Уколико је почетна брзина тела приликом хоризонталног хица већа, домет тела је већи.



Слика 4.5. Хоризонтални хитац

На крају часа наставник је одговарао на писана питања ученика (Прилог 3) и затим поделио припрему – писани материјал за експеримент за следећи час (Прилог 1).

#### 4.2.6. Примена научног метода у реализацији наставне јединице

##### Коси хитац

Наставна јединица *Коси хитац*, час бр. 8, у односу на предзнања ученика, реализована је као и у случају *Хоризонталног хица*. После теоријског дела часа

уследио је експериментални. На основу дефинисаног проблема и након формулисања хипотезе, изведен је експеримент „Коси хитац” (Прилог 1). Закључци изведени из експеримента допунили су и потврдили знања ученика са теоријског дела часа. Реализација експеримента је пратила фазе научног метода:

*Дефиниција проблема:* Домет косог хица.

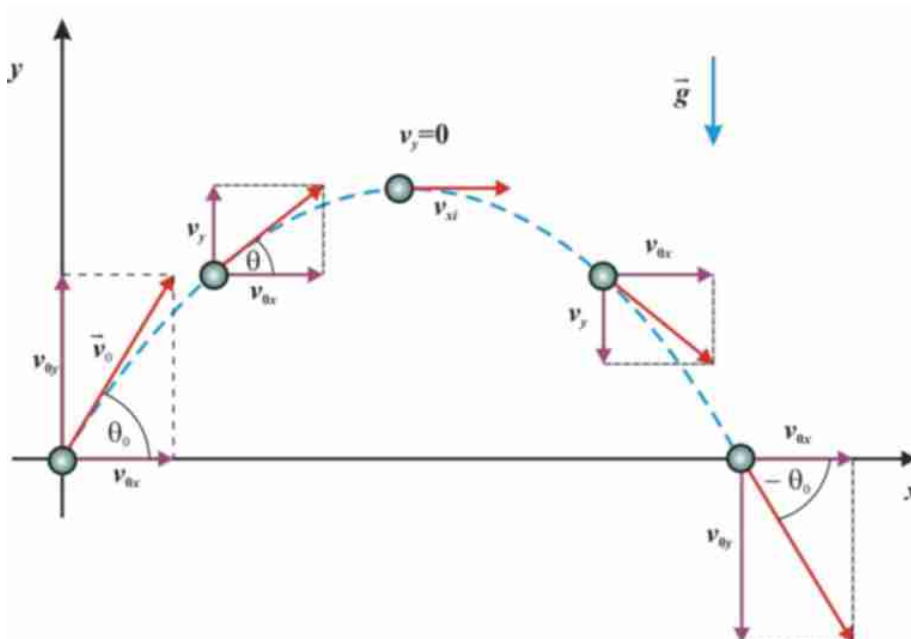
*Прикупљање података:* Мерење домета тела које је избачено под различитим угловима у односу на хоризонталну подлогу, са истом почетном брзином.

*Формулација хипотезе:* Домет тела избаченог са истом почетном брзином зависи од угла под којим је избачено у односу на хоризонталну раван. Уколико је угао већи домет је већи.

*Експеримент:* Посматрати домет тела избаченог са истом почетном брзином, али под различитим угловима у односу на хоризонталну подлогу (слика 4.6).

*Тестирање хипотезе:* Анализа експерименталних резултата и видео снимка.

*Закључак:* Домет тела зависи од угла под којим је избачено у односу на хоризонталну подлогу. Домет је максималан када је угао под којим се избаци тело  $45^\circ$ .



Слика 4.6 Коси хитац



Ученици су донели потребан материјал, припремили се за реализацију експеримента, успешно га урадили, направили видео запис и исправно извели закључке. Почетна хипотеза је потврђена само у првом делу, јер се показало да је домет максималан, ако је угао  $45^\circ$ . Теоријско образложење максималног домета допуњено је и путем решавања задатака. На крају часа ученици су у писаној форми поставили питања наставнику и подељен им је писани материјал за експеримент за следећи час.

#### 4.2.7. Примена научног метода у реализацији наставне јединице

##### Бестежинско стање

За наставну јединицу *Бестежинско стање*, час бр. 9, ученици имају предзнања усвојена у основној школи, што им олакшава припрему и извођење експеримента. Ученици су експеримент извели под истим условима (подела у групе) и на истом месту (кабинет за физику). За експеримент „Бестежинско стање” ученици су донели потребан материјал (Прилог 1), а фазе реализације научног метода су биле:

*Дефиниција проблема:* Тежина тела приликом слободног пада нестаје?

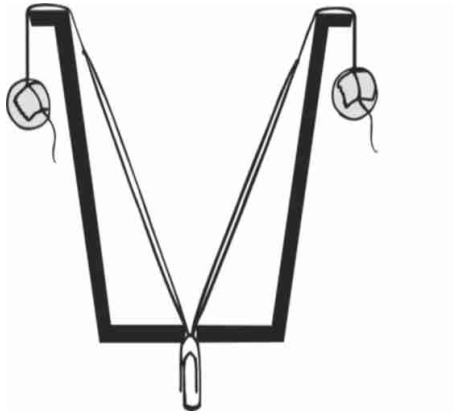
*Прикупљање података:* Посматрање и снимање тела у слободном паду;

*Формулација хипотезе:* Када тело слободно пада нема тежину;

*Експеримент:* Експеримент са чашом и куглицама повезаних гумицом (слика 4.7);

*Тестирање хипотезе:* Анализа резултата експеримента, као и видео снимка;

*Закључак:* Када тело слободно пада, тежина тела је једнака нули.



Слика 4.7. Чаша са куглицама

Ученици су успешно урадили експеримент, направили видео запис и извели исправан закључак. Час је завршен са писаним питањима ученика и одговорима наставника.

Час бр.10 је био израда финалне контролне вежбе 3, коју су радили сви ученици експерименталне групе – *E* и контролне групе – *K*, укупно њих 60 (30+30), друштвено – језичког смера првог разреда Шабачке гимназије. Спроведена је на исти начин и под истим условима за све ученике.

### **4.3. Утицај примене научног метода на квантум знања ученика у физици**

Утицај примене научног метода на квантум знања ученика истражен је на основу анализе резултата контролних вежби које су условљене дефинисаним циљевима и из њих проистеклим задацима. Урађено је:

(1) Мерење квантума знања ученика пре примене научног метода и поређење са квантумом знања када се настава изводи на традиционалан начин (иницијално стање);

(2) Мерење квантума знања ученика после примене научног метода и поређење са квантумом знања када се настава изводи на традиционалан начин (финално стање);

(3) Мерење квантума ретенције знања ученика и поређење са квантумом ретенције знања када се настава изводи на традиционалан начин (ретенционо стање).

Иницијално стање квантума знања ученика мерено је контролном вежбом 2, из садржаја теме *Гравитација* из основне школе, чиме је започео експеримент примене научног метода у наставу физике. Контролну вежбу 2 радили су сви ученици експерименталне – *E* и контролне групе – *K*, њих 60 (30+30), под истим условима и у исто време.

Финално стање квантума знања ученика мерено је контролном вежбом 3, након обраде наставне теме *Гравитација*, применом научног метода у експерименталном, односно традиционалне наставе у контролном одељењу – групи. Контролну вежбу 3, су радили сви ученици експерименталне – *E* и контролне групе – *K*, њих 60, под истим условима и у исто време.

Ретенционо стање квантума знања ученика мерено је контролном вежбом 4, која је поновљена контролна вежба 3 након два месеца. Она мери ретенцију квантума знања ученика код експерименталне – *E* и контролне – *K* групе ученика. Контролну вежбу 4, радило је свих 60 ученика, истовремено и под истим условима. Планирано време трајања контролних вежби је 45 минута. Ученици су вежбе завршили у предвиђеном временском року.

Експериментални резултати и статистички параметри квантума знања ученика у иницијалном, финалном и ретенционом стању дати су у табелама 4.1. и 4.2.

**Табела 4.1.** Експериментални резултати квантума знања са иницијалног, финалног и ретенционог стања

N (бр. уч.)	Иницијално стање				Финално стање				Ретенционо стање			
	E скор	K скор	E AS%	K AS%	E скор	K скор	E AS%	K AS%	E скор	K скор	E AS%	K AS%
1.	14	14	48	48	25	15	50	30	20	17	40	34
2.	11	6	38	21	46	28	92	56	32	19	64	38
3.	17	17	59	59	45	30	90	60	38	27	76	54
4.	15	14	52	48	44	43	88	86	25	30	50	60
5.	12	12	41	41	40	19	80	38	26	20	52	40
6.	11	17	38	59	34	20	68	40	25	27	50	54
7.	5	8	17	28	43	23	86	46	28	21	56	42
8.	16	17	55	59	44	38	88	76	30	28	60	56
9.	5	16	17	55	45	15	90	30	36	19	72	38
10.	6	16	21	55	29	22	58	44	32	21	64	42
11.	13	20	45	69	22	28	44	56	24	29	48	58
12.	12	17	41	59	42	21	84	42	47	21	94	42
13.	16	12	55	41	31	23	62	46	28	19	56	38
14.	10	22	34	76	41	48	82	96	28	32	56	64
15.	15	17	52	59	40	27	80	54	42	18	84	36
16.	18	13	62	45	28	34	56	68	34	25	68	50
17.	14	17	48	59	43	36	86	72	28	17	56	34
18.	10	14	34	48	40	35	80	70	25	17	50	34
19.	12	12	41	41	14	41	28	82	28	15	56	30
20.	21	16	72	55	42	44	84	88	37	32	74	64
21.	19	6	66	21	42	29	84	58	19	33	38	66
22.	17	17	59	59	34	25	68	50	29	22	58	44
23.	20	17	69	59	23	22	46	44	23	23	46	46
24.	15	18	52	62	19	32	38	64	24	37	48	74
25.	16	13	55	45	30	23	60	46	29	22	58	44
26.	13	26	45	90	30	35	60	70	22	39	44	78
27.	18	16	62	55	38	32	76	64	31	33	62	66
28.	19	14	66	48	23	30	46	60	33	21	66	42
29.	13	11	45	38	24	32	48	64	23	17	46	34
30.	17	12	59	41	25	25	50	50	17	15	34	30

Табела 4.2. Статистички параметри квантума знања иницијалног, финалног и ретенционог стања

Статистички параметар	Иницијално стање		Финално стање		Ретенционо стање	
	<i>E</i>	<i>K</i>	<i>E</i>	<i>K</i>	<i>E</i>	<i>K</i>
<i>N</i>	30	30	30	30	30	30
<i>AS</i>	14.00	14.90	34.20	29.17	28.00	21.50
<i>AS%</i>	48.30	51.40	68.40	58.33	57.53	47.73
<i>S</i>	2.63	2.66	3.38	3.08	2.45	2.46
<i>SD</i>	14.42	14.58	18.52	16.87	13.43	13.44
<i>Var.</i>	29.88	28.35	27.08	28.87	23.34	28.16
<i>Min.</i>	17.00	21.00	28.00	30.00	34.00	30.00
<i>Max.</i>	72.00	90.00	92.00	96.00	94.00	78.00
<i>t – вредност стања</i>	<b>-0.85</b>		<b>2.20*</b>		<b>2.83*</b>	

*N* – број ученика у одељењу, *AS* – аритметичка средина, *AS%* – аритметичка средина у %, *S* – стандардна грешка, *SD* – стандардна девијација, *Var.* – коефицијент варијације, *Min.* – минимална средња вредност, *Max.* – максимална средња вредност, *t* – тестом добијена вредност за ниво значајности  $\alpha = 0.05$

Експериментални резултати и статистички параметри иницијалног стања приказани у табелама 4.1. и 4.2. показују да експериментална и контролна група ученика имају средње скорове (*AS*), који се битно не разликују, и то:  $AS(E) = 14.00$  и  $AS(K) = 14.90$ , односно у процентима  $AS\%(E) = 48.30\%$  и  $AS\%(K) = 51.40\%$ . Стандардне девијације (*SD*) експерименталне и контролне групе се незнатно разликују и износе:  $SD(E) = 14.42$ ,  $SD(K) = 14.58$ . Ако посматрамо екстремне вредности (*Min*, *Max*), добија се за експерименталну групу (17,72), а за контролну групу (21,90). Интервал варијације, који се добија као разлика између максималне и минималне вредности *AS%* на контролној вежби, разликује се, тако да за експерименталну групу износи 55, док за контролну је 69. Коефицијент варијације (*Var*) непоказује значајне разлике и за експерименталну групу је 29.88,

а за контролну 28.35. Овакви статистички параметри показују да су групе хомогене по квантуму знања ученика.

За испитивање статистичке значајности – сигнификантности квантума знања добијеног након контролне вежбе 2 (иницијално стање), урађен је т – тест за задати коефицијент значајности  $\alpha = 0.05$ . Добијена т – вредност,  $t(E_2, K_2) = -0.85$ , показује да не постоји статистички значајна разлика квантума знања ученика експерименталне и контролне групе из теме *Гравитација* из основне школе. Дескриптивна статистика и т – тестови показују да је експериментална и контролна група ученика правилно изабарана. Статистички параметри узорка испитаника имају сличне вредности, тако да су групе хомогене, а т – вредности указују да не постоји статистички значајна разлика квантума знања ученика у иницијалном стању за обе групе.

Експериментални резултати и параметри дескриптивне статистике финалног стања из табела 4.1. и 4.2. показују да експериментална и контролна група ученика имају средње скорове (AS), који се значајно разликовали, и то:  $AS(E) = 34.20$ ,  $AS(K) = 29.17$ , односно у процентима  $AS\%(E) = 68.40\%$ ,  $AS\%(K) = 51.40\%$ . Стандардне девијације (SD) експерименталне и контролне групе се разликују и износе:  $SD(E) = 18.52$ ,  $SD(K) = 16.87$ . Ако се посматрају екстремне вредности (*Min*, *Max*), за експерименталну групу добија се вредност (28,92), а за контролну (30,96). Интервал варијације незнатно се разликује и за експерименталну групу износи 64, док за контролну је 66. Коефицијент варијације (*Var*) показује разлику и за експерименталну групу је 27.08, а за контролну 28.87. Параметри дескриптивне статистике показују повећање квантума знања ученика експерименталне групе у односу на контролну групу.

За испитивање статистичке значајности – сигнификантности квантума знања ученика добијеног након контролне вежбе 3 (финално стање), урађен је т – тест за задати коефицијент значајности  $\alpha = 0.05$ . Добијена т – вредност,  $t(E_3, K_3) = 2.20$ , показује да постоји статистички значајна разлика квантума знања (статистички значајне бројне т – вредности у табели 4.2 обележене са \*) за ученике експерименталне у односу на ученике контролне групе у финалном стању.

На основу добијених резултата може се са 95% сигурности тврдити да ће се, под непромењеним условима експеримента, овакви резултати поновити и убудуће. Резултати анализе указују на оправданост примене научног метода у настави физике, јер је експериментална група статистички значајно повећала квантум знања ученика у односу на контролну где се настава одвијала на традиционалан начин (финално стање), тако да се хипотеза 1 може прихватити.

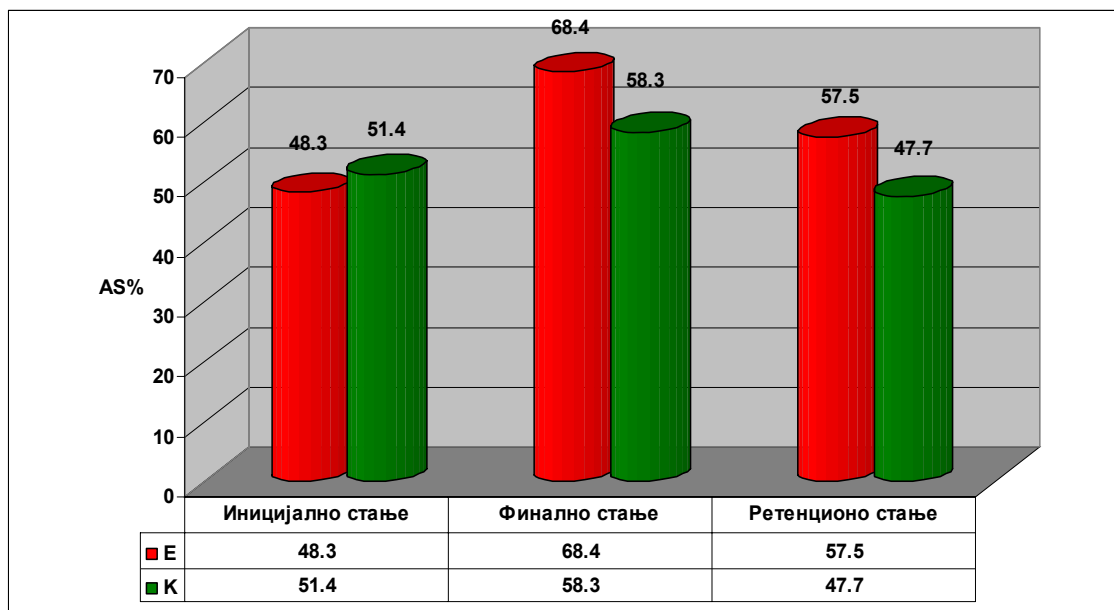
Експериментални резултати и статистички параметри ретенционог стања из табела 4.1. и 4.2. показују да је експериментална и контролна група ученика имала средње скорове (AS), који су се значајно разликовали, и то:  $AS(E) = 28.00$  и  $AS(K) = 21.50$ , односно у процентима  $AS\%(E) = 57.53$  и  $AS\%(K) = 47.73$ . Стандардне девијације (SD) експерименталне и контролне су сличне и износе:  $SD(E) = 13.43$  и  $SD(K) = 13.44$ . Екстремне вредности (*Min*, *Max*), за експерименталну групу износе (34,94), односно за контролну групу (78,30). Интервали варијације се разликује и за експерименталну групу износи 60, док за контролну је 48. Коефицијент варијације (*Var.*) показује разлику и за експерименталну групу је 23.34, а за контролну 28.16. Анализом статистичких параметара може се закључити да су експериментална и контролна група показала смањење квантума знања са временом, али и да је ретенција квантума знања експерименталне групе мања у односу на контролну групу.

Статистичке значајност разлике квантума знања ученика експерименталне и контролне групе добијене након контролне вежбе ретенције 4 (ретенционо стање), урађен је *t* – тест за задати коефицијент значајности  $\alpha = 0.05$ . Добијена *t* – вредност,  $t(E_4, K_4) = 2.83$ , показује да постоји статистички значајна разлика квантума знања за ученике експерименталне у односу на ученике контролне групе у ретенционом стању.

На основу ових резултата може се са 95% сигурности тврдити да ће се, под непромењеним условима експеримента, овакви резултати поновити и убудуће. Анализа показује да квантум знања ученика експерименталне и контролне групе са временом опада, али да је разлика квантума знања експерименталне групе и даље статистички значајна у односу на контролну групу у ретенционом стању. Дакле, знање

код обе групе са временом опада, али се разлика квантума знања између експерименталне и контролне групе чува и остаје значајно виша за експерименталну групу, тако да се хипотеза 3 може прихватити. Теме усвојене научном методом показују виши квантум знања, који са временом има мањи пад – ретенцију, задржавајући статистички значајну разлику у односу на знања стечена традиционалном методом.

На слици 4.8 приказане су дескриптивном статистиком одређене AS% као репрезенти квантума знања ученика експерименталне – *E* и контролне – *K* групе у иницијалном, финалном и ретенционом стању. Визуелно се могу уочити разлике у квантуму знања за које је анализа резултата финалног и ретенционог стања показала да су статистички значајне, као и разлика квантума знања иницијалног стања која није статистички значајна.



Слика 4.8. AS% иницијалног, финалног и ретенционог стања експерименталне – *E* и контролне – *K* групе ученика



#### 4.4. Утицај примене научног метода на квалитет знања ученика у физици

Утицај примене научног метода на квалитет знања ученика истражен је на основу анализе резултата контролних вежби које су условљене дефинисаним циљевима и из њих проистеклим задацима. Урађено је:

(1) Мерење квалитета знања ученика пре примене научног метода и поређење са квалитетом знања када се настава изводи на традиционалан начин (иницијално стање);

(2) Мерење квалитета знања ученика после примене научног метода и поређење са квалитетом знања када се настава изводи на традиционалан начин (финално стање);

(3) Мерење квалитета ретенције знања ученика после примене научног метода и поређење са квалитетом ретенције знања када се настава изводи на традиционалан начин (ретенционо стање).

У табели 4.3. дати су експериментални резултати са контролних вежби које су мериле квалитет знања ученика у иницијалном, финалном и ретенционом стању. Питања су подељена у три Блумове категорије (знање, схватање и примена) и носе бројеве под којима су нумерисана и у контролним вежбама. Резултати су приказани као аритметичке средине тачних одговора свих ученика једног одељења на једном питању изражене у процентима  $A\%$ , које у збиру дају аритметичку средину тачних одговора свих ученика по одељењу на контролној вежби изражену у процентима  $AS\%$ .

Табела 4.3. Експериментални резултати квалитета знања ученика у иницијалном, финалном и ретенционом стању

Блумове категорије знања	Иницијално стање			Финално стање			Ретенционо стање		
	Број питања	Групе		Број питања	Групе		Број питања	Групе	
		A%(E)	A%(K)		A%(E)	A%(K)		A%(E)	A%(K)
Знање	1	2.76	3.33	1	1.29	0.67	1	1.74	1.4
	2	2.07	2.02	2	0.71	0.07	2	0.26	0.27
	3	1.72	2.38	3	0.65	0.73	3	0.58	0.73
	4	2.99	3.10	4	1.23	0.07	4	0.77	0.13
	5	2.41	2.50	5	1.16	0.53	5	0.71	0.4
	6	2.87	2.98	6	1.81	0.73	6	1.35	0.8
	8	2.18	1.90	7	1.55	0.73	7	1.16	0.53
	9	1.49	1.67	8	1.42	1.73	8	1.48	1.73
				9	0.84	0.67	9	1.1	0.4
				11	6	5.53	11	4.9	3.07
				15	4.9	4.53	15	4.58	4.33
				26	1.16	1.93	26	1.74	1.87
Укупно		18.49	19.88		22.72	17.92		20.37	15.66
Схватање	7	0.23	0.24	10	1.55	1.27	10	1.16	0.67
	11	2.30	2.38	12	4.19	3.47	12	3.16	3.47
	12	2.30	2.50	13	5.29	4.8	13	4.19	4.27
	13	0.00	0.24	14	5.16	5.13	14	4.52	3.73
	14	2.41	2.02	16	4	4.4	16	3.48	3
	15	2.99	2.62	17	4.26	4.67	17	4.65	4
	16	2.87	2.74	18	3.16	2.2	18	2.13	2.07
	17	1.72	1.90	19	0.9	0.93	19	0.9	0.4
	18	1.15	1.55	20	1.16	0.8	20	0.9	0.67
	19	1.84	1.90	21	1.1	0.67	21	1.03	1.07
	20	1.49	0.48	22	1.55	1.47	22	1.29	1.13
	21	2.99	3.10	23	1.29	1.13	23	0.9	1.13
	22	2.53	2.86	24	3.03	2.2	24	1.87	1.4
				25	4.39	3.2	25	3.55	2.6
Укупно		24.82	24.53		41.03	36.34		33.73	29.61
Примена	10	0.80	0.83	27	0.65	0.6	27	0.26	0.33
	23	1.61	1.43	28	0.97	0.8	28	0.71	0.47
	24	2.30	3.93	29	1.35	0.87	29	0.45	0.53
	25	0.17	0.44	30	0.58	1	30	0.65	0.67
	26	0.11	0.36	31	1.1	0.8	31	1.36	0.46
Укупно		4.99	6.99		4.65	4.07		3.43	2.46
AS%		48.30	51.40		68.40	58.33		57.53	47.73

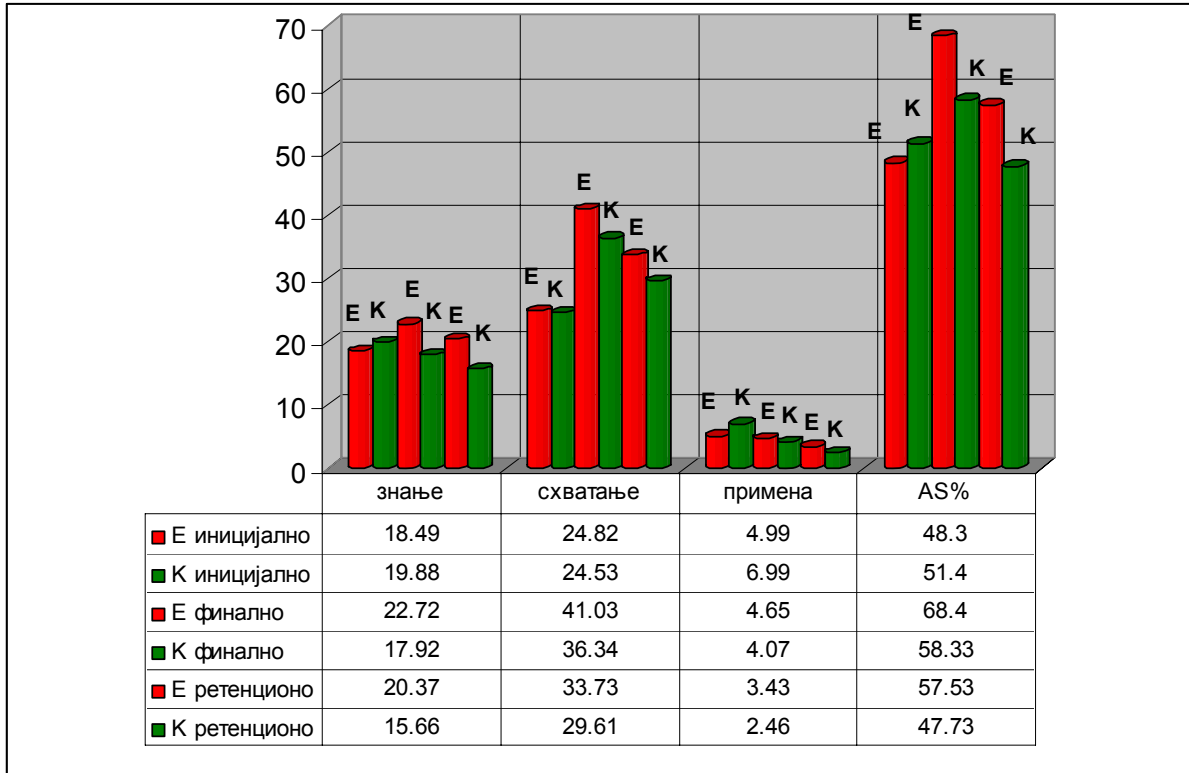
Параметри дескриптивне статистике и  $t$  – вредности сигнификантности квалитета знања у иницијалном, финалном и ретенционом стању дати су у табели 4.4.

Табела 4.4. Статистички параметри квалитета знања иницијалног, финалног и ретенционог стања

Категорија знања		Иницијално стање						
		знање		схватање		примена		
групе		<i>E</i>	<i>K</i>	<i>E</i>	<i>K</i>	<i>E</i>	<i>K</i>	
Статистичка величина	<i>N</i>	8	8	13	13	5	5	
	<i>AP%</i>	2.31	2.48	1.91	1.89	1.0	1.40	
	<i>S</i>	0.19	0.21	0.27	0.28	0.42	0.66	
	<i>SD</i>	0.55	0.61	0.98	0.99	0.95	1.48	
	<i>Var.</i>	0.24	0.24	0.51	0.53	0.95	1.06	
	<i>Min.</i>	1.49	1.67	0	0.24	0.11	0.36	
	<i>Max.</i>	2.99	3.33	2.99	3.10	2.3	3.93	
	<i>t</i>	<b>-1.59</b>		<b>0.06</b>		<b>0.48</b>		
	<b>Финално стање</b>							
	<i>N</i>	12	12	14	14	5	5	
	<i>AP%</i>	1.89	1.49	2.93	2.60	0.93	0.81	
	<i>S</i>	0.49	0.51	0.43	0.44	0.14	0.06	
	<i>SD</i>	1.71	1.75	1.63	1.64	0.32	0.14	
	<i>Var.</i>	0.90	1.17	0.55	0.63	0.34	0.18	
	<i>Min.</i>	0.65	0.07	0.90	0.67	0.58	0.60	
	<i>Max.</i>	6.00	5.53	5.29	5.13	1.35	1.00	
	<i>t</i>	<b>2.44*</b>		<b>2.62*</b>		<b>0.76</b>		
	<b>Ретенционо стање</b>							
	<i>N</i>	12	12	14	14	5	5	
	<i>AP%</i>	1.70	1.30	2.41	2.11	0.69	0.49	
	<i>S</i>	0.43	0.37	0.39	0.37	0.19	0.06	
	<i>SD</i>	1.49	1.28	1.46	1.37	0.42	0.12	
	<i>Var.</i>	0.88	0.98	0.60	0.65	0.61	0.26	
	<i>Min.</i>	0.26	0.13	0.90	0.40	0.26	0.33	
	<i>Max.</i>	4.90	4.33	4.65	4.27	1.36	0.67	
	<i>t</i>	<b>2.42*</b>		<b>2.87*</b>		<b>1.04</b>		

*N* – број питања по категорија знања, *AP%* – аритметичка средина по категорији знања у %, *S* – стандардна грешка, *SD* – стандардна девијација, *Var.* – коефицијент варијације, *Min.* – минимална средња вредност, *Max.* – максимална средња вредност  $t$  – тестом добијена вредност за ниво значајности  $\alpha = 0.05$

На слици 4.10. приказани су експериментални резултати квалитета знања по категоријама (знање, схватање и примена) у иницијалном, финалном и ретенционом стању. Са слике се може уочити да постигнућа квалитета знања експерименталне групе по категоријама у финалном и ретенционом стању су виша од постигнућа квалитета знања контролне групе.



**Слика 4.10.** *Постигнућа квалитета знања ученика експерименталне и контролне групе у иницијалном, финалном и ретенционом стању*

Испитивање статистичке значајности разлике ( $t$  – тест за ниво значајности  $\alpha = 0.05$ ) квалитета знања ученика у иницијалном стању, након контролне вежбе 2, дало је следеће  $t$  – вредности:  $t_{\text{знање}} (E_2, K_2) = -1.59$ ;  $t_{\text{схватање}} (E_2, K_2) = 0.06$  и  $t_{\text{примена}} (E_2, K_2) = 0.48$  (табела 4.4). Оне показују да по категоријама знања не постоји статистички значајна разлика квалитета знања, што указује на чињеницу да су експериментална и контролна група уједначене у односу на квалитет знања ученика, те заједно са резултатима квантума знања ученика чине репрезентативан узорак за примену научног метода.

Анализа статистичке значајности квалитета знања у финалном стању (контролна вежба 3), након примене научног метода у експерименталној групи и традиционалне наставе у контролној, дала је статистички значајне разлике квалитета знања ученика у категоријама знања и схватања са следећим  $t$  – вредностима:  $t_{\text{знање}} (E_3, K_3) = 2.44$  и  $t_{\text{схватање}} (E_3, K_3) = 2.62$ . На основу добијених резултата може се са 95% сигурности тврдити да ће се, под непромењеним условима експеримента, овакви резултати поновити и убудуће. Резултати анализе указују на оправданост примене научног метода у наставу физике, јер је експериментална група статистички значајно повећала квалитет знања ученика у односу на контролну групу у категоријама знања и схватања, тако да се хипотеза 2 може прихватити.

У ретенционом стању експериментална група има статистички значајне разлике квалитета знања у односу на контролну групу и категоријама знања и схватања чије су  $t$  – вредности:  $t_{\text{знање}} (E_4, K_4) = 2.44$  и  $t_{\text{схватање}} (E_4, K_4) = 2.62$ . Резултати квалитета знања мерени контролном вежбом 4 (ретенционо стање) указују да се са 95,00% сигурности тврдити да ће се, под непромењеним условима експеримента, овакви резултати поновити и убудуће. Примена научног метода у експерименталној групи резултовала је да се квалитет знања чува са временом и показује статистички значајне разлике у односу на контролну групу у категорији знања и схватања, тако да се хипотеза 4 може прихватити.

Примена научног метода у настави физике реализована кроз тему *Гравитација* у експерименталној групи резултовала је статистички значајним повећањем квалитета знања ученика у категоријама знања и схватања (финално стање), као и статистички значајним одржањем разлике квалитета знања (ретенционо стање) у категоријама знања и схватања у односу на контролну групу где је настава извођена на традиционалан начин.

## Глава V

### 5. ЗАКЉУЧАК

На основу извршеног истраживања изведени су следећи закључци:

1. У раду је коришћен метод педагошког експеримента са паралелним групама. Квантум и квалитет знања ученика испитан је на основу Блумових категорија знања. Питања су у контролним вежбама тако састављена и груписана да су мерила три нивоа – категорије знања: знање, схватање и примену.

2. Експериментална и контролна група (одељење) ученика, изабрана је на основу резултата иницијалне контролне вежбе 1, која је мерила квантум и квалитет знања ученика из физике из основне школе. Избор узорка испитаника је извршен на основу статистичке значајности разлике постигнућа група ученика са нивоом значајности  $\alpha = 0.05$ .

3. Педагошким експериментом су били обухваћени ученици два одељења првог разреда друштвено – језичког смера гимназије.

4. У експерименталној групи ученика часови су реализовани применом научног метода. За те потребе осмишљени су модели часова за учење наставних садржаја и појмова применом научног метода из теме *Гравитација*. У контролној групи ученика часови су реализовани традиционалном методом.

5. Може се прихватити хипотеза 1, да примена научног метода у настави физике кроз тему *Гравитација* доводи до повећања квантума знања ученика у односу на традиционални метод. Квантум знања ученика је мерен контролном вежбом 3. Статистички параметри финалног стања показују да је експериментална група повећала квантум знања ученика и да је разлика квантума знања у односу на контролну групу статистички значајна са нивоом значајности  $\alpha = 0.05$ .

6. Квантум знања експерименталне групе показује статистички значајну разлику, са нивоом значајности  $\alpha = 0.05$ , у односу на квантум знања контролне групе у ретенционом стању, мерен контролном вежбом 4. Овим је потврђена хипотеза 2, да примена научног метода у настави физике кроз тему *Гравитација* резултује повећањем ретенције квантума знања ученика у односу када се настава изводи на традиционалан начин.

7. Прихвата се хипотеза 3, да примена научног метода у настави физике кроз тему *Гравитација* доводи до повећања квалитета знања ученика у односу на традиционални метод наставе. Статистички параметри финалног стања показују да је експериментална група повећала квалитет знања ученика у категоријама знање и схватање и да су то статистички значајне разлике у односу на квалитет знања контролне групе у одговарајућим категоријама са нивоом значајности  $\alpha = 0.05$ .

8. Статистички параметри квалитета знања у ретенционом стању, потврдили су хипотезу 4, да примена научног метода у настави физике резултује повећањем ретенције квалитета знања у односу када се настава изводи на традиционалан начин. Експериментална група ученика је у ретенционом стању имала статистички значајну разлику, са нивоом значајности  $\alpha = 0.05$ , квалитета знања у категоријама знање и схватање од квалитета знања контролне групе у одговарајућим категоријама.

9. Физика је експериментална наука и научни метод је њен саставни део. Усвајање научног метода кроз садржаје физике има универзални значај јер омогућава ученицима примену метода и у другим наукама, али и примену у свакодневним животним ситуацијама. Тада настава није оријентисана само на садржаје, чије усвајање омогућава ученику да се сналази у истим или сличним ситуацијама, већ на метод чија примена у непознатој ситуацији омогућава ученику да реши проблем водећи га ка исправном решењу. Школа и настава испуњавају своју мисију квалитетне припреме ученика за даље школовање, примену знања у свету рада или у свакодневним проблемским ситуацијама

## Глава VI

### 6. ЛИТЕРАТУРА

1. Aikenhead G.S. (2002): STS education: a rose by any other name; in R.T. Cross(ed.): *Crusader for science education: celebrating and critiquing the vision of Peter J. Fensham*, Melbourne: Routledge Press, (1 – 22);
2. Андрић В. и др. (2005): *Концепција гимназијског образовања у Србији*, Ваљево: Заједница Гимназија Србије;
3. American Association for the Advancement of Science (1989): *Science for All Americans*, New York: Oxford University Press, доступно на <http://www.project2061.org/tools/sfaaol/sfaatoc.htm>;
4. Angeli C. (2005): *Transforming a teacher education method course through technology: Effects on preservice teachers' technology competenc*, Computers and Education, 45, 383 – 398;
5. Ausubel P.D. (1968): *Educational Psychology: A cognitive view*, New York, Holt, Rinehart and Winston;
6. Baird D. (2003): *Thing Knowledge: Outline of a Materialist Theory for Experiments*, in Raddér, H. (ed.), The Philosophy of Scientific Experimentation, Pittsburgh: University of Pittsburgh Press;
7. Банђур В. и Поткоњак Н. (1999): *Методологија педагогије*, Београд: Савез педагошких друштава Југославије;
8. Basarić М. Ђ. (1979): *Metodika nastave fizike*, Beograd: Naučna knjiga;
9. Veichner R. J. (1996): *The impact of video motion analysis on kinematics graph interpretation skill*, American Journal of Physics, 64(10), 1272 – 1277;
10. Bloom В. (1981): *Taksonomija ili klasifikacija obrazovnih i odgojnih celjeva*. Beograd : Republički zavod za unapređivanje obrazovanja,
11. Богнар Л. и Матијевић М. (2002): *Дидактика*, Загреб: Школска књига;
12. Бошњак М. и Обадовић Ж.Д. (2009): *Анализа заступљености изборног предмета „Рука у тесту – откривање света“ у наставној пракси у Западнобачком округу*, Београд: Педагогија, бр.1, год. LXIV,15, 254;



13. Bryman A. & Cramer D. (2002): *Quantitative data analysis with SPSS release 10 for Windows: A guide for social scientists*. New York: Routledge;
14. Влаховић Б. и Жарковић Ј. (ур.)(1995): *Физика (VI – VIII) – План и програм основног образовања и васпитања*, Београд: Учитељски факултет;
15. Gaugh N. G. (2003): *Scientific Method in practice*, Cambridge: Cambridge University Press, доступно на <http://www.cambridge.org/2002022271.pdf>;
16. Грибанова Е. Н. (2006): *Научные факты как средство формирования эмпирических и теоретических методов познания природы: Курс физики основной школы*, Москва: Наука, 212 стр;
17. Гордон Т. (2006): *Како бити успешан наставник*, Београд: Креативни центар, 156 стр;
18. Gower B. (1997): *Scientific Method, An Historical and Philosophical Introduction*, Melbourne: Routledge Press, 2,48;
19. Даниловић са сар. 2003: *Физика I – уџбеник за први разред гимназије*, ЗУНС;
20. Давыдов В.В. (1996): *Теория развивающего обучения*, Москва: Интор, стр.145;
21. Давыдов, В.В. (1992): *Психологическая теория учебной деятельности и методов начального обучения, основанных на содержательном обобщении*, Томск: Пеленг, стр. 31;
22. Dancy M. & Henderson C. (2007): *Framework for articulating instructional practices and conceptions*, Physical Review Special Topics – Physics Education Research 3, 010103;
23. D’inverno R. (1992): *Introducing Einstein’s Relativity*, Oxford: Clarendon Press;
24. Desimone L. (2002): *How can Comprehensive School Reform Models be Successfully Implemented?*, Review of Education Research ,Vol.72, No. 3, pp. 433 – 479, Fall;
25. Duit R. (2004): *Bibliography STCSE: Students’ and Teachers’ Conceptions and Science Education*, Kiel, Germany: IPN – Leibniz Institute for Science Education, доступно на <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>;

26. Duit R. & Treagust D. (1998): *Learning in Science – From Behaviourism Towards Social Constructivism and Beyond*. In B. Fraser and K. Tobin, (Eds.), The Netherlands, Dordrecht: *International Handbook of Science Education* (pp. 3–26). Kluwer Academic Publishers;
27. European Council (2001): *The reports on the future concrete objectives of education and training system*; European Commission (2002)b: *Education and Training in Europe: diverse systems, shared goals for 2010*, доступно на: [www.europa.eu.int/omm/dgs/educationculture/publ/pdf/educ – training/en.pdf](http://www.europa.eu.int/omm/dgs/educationculture/publ/pdf/educ_training/en.pdf);
28. Журавлев И.К. (1989): *Средства руководства познавательной деятельностью учащихся в учебниках по учебным предметам с ведущими компонентами «способы деятельности» и «формирование опыта эмоционально – ценностного отношения»*, Теоретические проблемы современного школьного учебника, Москва: Наука, 134 стр;
29. Зајечариновић Г. (1974): *Основи методологије науке*, Београд: Факултет политичких наука;
30. Zarotiadou E. & Tsaparilis G. (2000): *Teaching Lower – Secondary Chemistry With Piagetian Constructivist and an Ausbelian meaningful – receptive Method: A Longitudinal Comparasion*, Chemistry Educataion: Research and practice in Europe, vol 1, No.1, pp 37 – 50;
31. Zollman K. D. & Fuller R. G. (1994): *Teaching and learning physics with interactive video*, Physics Today, 47(4), 41 – 47;
32. Ивић И. са сар. (2003): *Активно учење*, Београд:Институт за психологију, 213 стр;
33. Internacional Council For Science – ICSU, (2000): *Proceedings of International conference on primary school science and matematics education*, Beijing, Kina, V, 12;
34. Jelavić, F. (1994): *Didakticke osnove nastave*, Jastrebarsko: Naklada Slap.
35. Јокић С. (2005): *Улога наставника у припреми и вођењу часа*, Београд: Просветни преглед, Педагошка пракса, бр.586;
36. Jokić S. (2006): *Teching Science in Primary School: Serbian experience with the project „Ruka u testu“ (Hands–on, La main á la pâte)*, The International Workshop Science Literacy and Lifelong Learning. Europe towards a

- Knowledge based Society, 18 – 20 May Bucharest, Romania;
37. Kepler J. (1609) : *Astronomia nova*, Праг;
38. Kirschner P. A. & Erkens, G. (2006): *Cognitive tools and mindtools for collaborative learning*, Journal of Educational Computing Research, 35, 199 – 209;
39. Klieme E. (2003): *Fragestellungen, zentrale Befunde und Konsequenzen der Studie Vertifender Vergleich der Schulsysteme ausgewählter PISA – Teilnehmerstaaten*, доступно на <http://www.bmbf.de/pub/pisa-vergleichsstudie.pdf>;
40. Кнежевић Г. и др. (2002): *Квалитетно образовање за све – пут ка развијенијем друштву*, Београд: МПИС РС;
41. Ковач – Церовић Т. и др. (2004): *Квалитетно образовање за све, изазови реформе образовања у Србији*, Београд: МиПРС, Парал;
42. Ковач – Церовић Т. (2000): *Реформе у Централној и Источној Европи*, Петница: Перспективе образовања;
43. Коен М. и Нејгел Е. (2006): *Увод у логику и научни метод*, Београд: Јасен;
44. Колесникова И.А. (1991): *Теоретико – методологическая подготовка учителя к воспитательной работе в цикле педагогических дисциплин*, Москва: Наука, стр.11;
45. Комар М. (2000а): *Контролни задаци из физике за 6. разред*, Нови Сад: Едука;
46. Комар М. (2000б): *Контролни задаци из физике за 7. разред*, Нови Сад: Едука;
47. Комар М. (2000в): *Контролни задаци из физике за 8. разред*, Нови Сад: Едука;
48. Комар М. (2005а): *Контролни задаци и контролне вежбе из физике за проверу знања ученика за 6. разред основне школе*, Нови Сад: Школска књига;
49. Комар М. (2005б): *Контролни задаци и контролне вежбе из физике за проверу знања ученика за 7. разред основне школе*, Нови Сад: Школска књига;

50. Комар М. (2005в): *Контролни задаци и контролне вежбе из физике за проверу знања ученика за 8. разред основне школе*, Нови Сад: Школска књига;
51. Komenski J.A. (1954): *Velika didaktika*, Beograd: Savez pedagoških društava Jugoslavije; Коменски
52. Korolija J. i Stanišić J. (2009): *Nastava prirodnih nauka u funkciji povezivanja nauke, tehnologije i društva*, Zbornik instituta za pedagoška istraživanja, God. 41, Br. 2. (461 – 477);
53. Kosso P (2009): *The Large – scale Structure of Scientific Method*, Science & Education, 18:33 – 42;
54. Koponen I.T. (2007): *Models and Modelling in Physics Education: A Critical Reanalysis of Philosophical Underpinnings and Suggestions for Revisions*, Science & Education 16:751 – 773;
55. Koponen I.T. & Mantyla T. (2006): *Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics: A Suggestion for Epistemological Reconstructio*, Science & Education 15:31 – 54;
56. Крњајић С. (2006): *Предпоставке успешне наставе*, Београд: Институт за педагошка истраживања;
57. Куликов Л. В. (2001): *Психологија сознания*, Москва: Питер;
58. Lawson E. A. et al. (2001): *Evaluating CollEe Science and Mathematics Instruction: A Reform Effort that Improves Teaching Skills*, Journal of CollEe Science Teaching, 31(6), 388 – 393;
59. Lawson E. A. (2009): *Basic Inferences of Scientific Reasoning, Argumentation, and Discovery*, Wiley Periodicals, Inc: Science Education, 94, 336 – 364. доступно на <http://www.interscience.wiley.com>;
60. Laudan L. (1968): “*Theories of Scientific Method from Plato to Mach*,” History of Science 7, 1–38;
61. Lederman G. N. (1998): *The State of Science Education: Subject Matter Without Context*, Electronic Journal of Science Education , ISSN 1087 – 3430 Vol. 3 No. 2 – December 1998;
62. Lederman N. G. et al. (2002): *Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners. Conceptions of nature of science*, Journal of Research in Science Teaching, 39(6), 497 – 521;

63. Léna P. & Quéré Y. (2004): *A new Approach to Teaching Science and Mathematics*, Proceedings of International Conference on Primary Science and Mathematics Education, Beijing, China 1 – 4. november 8 – 10;
64. Lehrer K. (1990): *Theory of Knowledge*, London: Routledge;
65. Luera R.G., Otto C. & Zitzewitz W. P. (2005): *A conceptual change approach to teaching energy and thermodynamics to pre – service elementary teachers*, Illinois State University Physics Dept.J. : Phys. Tchr. Educ. Online, 2(4) доступно на [http://www.phy.ilstu.edu/jpteo2\(4\)may05.pdf](http://www.phy.ilstu.edu/jpteo2(4)may05.pdf);
66. Луковић И. и Вербић С. (2009): *Постигнуће ученика из физике*, ТИМСС 2007, Београд: Институт за педагошка истраживања, стр.187;
67. Martin I.V.S. et al. (2004): *TIMSS 2003 international science report: findings from IEAs trends in international mathematic and science study at the fourth and eighth grade*, Chestnut Hill, MA: Boston CollEe;
68. Mayer R. E. (2003): *Learning and instruction*. Upper Saddle River: Prentice Hall;
69. Mestre J.P. (2001): *Implications of research on learning for the education of prospective science and physics teachers*. Physics Education 36:44 – 51;
70. Millar R. & Driver R. (1987): *Beyond Processes*, Studies in Science Education 14, 33 – 62;
71. Милошевић Љ. и Томић В. (1991а): *Радна свеска из физике – провера знања на задацима Ф 6*, Београд: Стручна књига;
72. Милошевић Љ. и Томић В. (1991б): *Радна свеска из физике – провера знања на задацима Ф 7*, Београд: Стручна књига;
73. Милошевић Љ. и Томић В. (1991в): *Радна свеска из физике – провера знања на задацима Ф 8*, Београд: Стручна књига;
74. Мишковић В. В. (1975): *Хронологија астрономских тековина 1*, Београд: САНУ;
75. Мишковић В. В.(1976): *Хронологија астрономских тековина 2*, Београд: САНУ;
76. Milas G. (2005): *Istraživačke metode u psihologiji i drugim društvenim znanostima*. Zagreb: Naklada slap;
77. McDermott M. C. (2001): *Oersted Medal Lecture 2001: Physics education research – the key to student learning*, American Journal of Physics, 69(11),

- 1127 – 1137;
78. Mužić V. (2004): *Uvod u metodologiju istraživanja odgoja i obrazovanja*, Zagreb: Educa;
79. Nagl G.M. i Obadović Ž.D. (2010): *Naučni metod u nastavi fizike: povezanost postignuća učenika i naučnog metoda*, Beograd: Pedagogija 4/2010;
80. Нагл Г.М. и Обадовић Ж.Д. (2008): *Научни метод у настави физике у друштвено – језичком смеру гимназије*, Нови сад: Педагошка стварност 7 – 8 год. LIV;
81. Нагл М. (2005): *Гимназија поново актуелна*, Зборник предавања и постер радова са Републичког семинара о настави физике, Врњачка Бања: ДФС, стр. 101;
82. Нагл М. (2006): *Информатичко одељење*, Гимназијски гласник 11/4, Шабац: Шабачка гимназија;
83. National Research Council (1996): *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press;
84. Naylor R. H. (1990): „*Galileo's Method of Analysis and Synthesis*“, *Isis*, 81: 695 – 707;
85. Niess M. L. (2005): *Preparing teachers to teach science and mathematics with technology: Developing a technology pedagogical content knowledge*, *Teaching and Teacher Education*, 21, 509 – 523;
86. Никитин, А. А. (2001): *Теоретические основы обучения учащихся методам научного познания при изучении физики в школе*, Санкт – Петербург: Издательство Санкт – Петербургскова университета;
87. Nola R. (1998): *Constructivism in Science and in Science Education: A Philosophical Critique*, in Matthews, M. (ed.), *A Constructivism in Science Education*. Philosophical Examination, New York: Kluwer Academic Publishers;
88. Недовић В. (2000): *Гимназија у систему образовања Србије*, Краљево;
89. Newton I. (1687): *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, London: S.Pepys Preses;
90. Obadović D.Ž. et al. (2007): „*Hands on*“ *Experiments in Interated Approach in Teaching Physics and Chemistry*, CP899, Sixth International Conference of

- the Balkan Physical Union, edited by S. A. Cetin and I. Hikmet American Institute of Physics 978-0-7354-0404-5/07/pp507-508;
91. OECD (2004): *Learning for Tomorrow's World – First Results from PISA (2003)* доступно на: <http://www.oecd.org/dataoecd/1/60/34002216.pdf>;
92. Офре Ш. са сар. (2004): превод на српски Јокић С., *Зрнца нуке 2*, Београд: ЗУНС и ДФС;
93. Gingerich O. (1983): *Laboratory Exercises in Astronomy – The Orbit of Mars*, Sky&Telescope, Harvard – Smithsonian Center for Astrophysics;
94. Пантић М. (2005): *Увод у Ајнштајнову теорију гравитације*, Нови Сад: ПМФ Нови Сад, Департман за физику;
95. Pedretti, E. (2005): *STSE education: principles and practices*; in S. Aslop, L. Bencze & E. Pedretti (eds.): *Analysing exemplary science teaching: theoretical lenses and a spectrum of possibilities for practice* (52 – 83). McGraw – Hill Education Press;
96. Пијаже, Ж. (1968): *Психологија интелигенције*, Београд: Нолит;
97. Pintrich P. & Schunk D. (2002): *Motivation in education: Theory, research and applications*. 2<sup>nd</sup> ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall;
98. Петровић К. (1992): *Историја Карловачке гимназије*, Нови Сад: Матица српска;
99. Петровић Т. (1998): *Настава физике у основним и средњим школама – стање и путеви побољшања*“, Зборник предавања са Републичког семинара о настави физике, Београд: Друштво физичара Србије;
100. Петровић Т. (1994): *Дидактика физике*, Београд: Физички факултет;
101. Poljak V. (1985): *Didaktika*, Zagreb: Školska knjiga, Пољак
102. Pugh K. J. et al. (2009): *Motivation, Learning, and Transformative Experience: A Study of Deep Engagement in Science*, Wiley Periodicals, Inc: Science Education, 94, 1 – 28. доступно на <http://www.interscience.wiley.com>;
103. Rado P. (1999): *Transition in Education*, Institute for Educational policy, Budapest: Open Society Institute,;
104. Распоповић, М. (1992): *Методика наставе физике*, Београд: ЗУНС;
105. Распоповић М. (1998): *Физика за гимназије*, Београд: ЗУНС;



106. Распоповић М. и сар. (1999а): *Задаци из физике за самостално вежбање и провере знања (контролне вежбе) за 6. разред основне школе*, Београд: Просветни преглед;
107. Распоповић М. и сар. (1999б): *Задаци из физике за самостално вежбање и провере знања (контролне вежбе) за 7. разред основне школе*, Београд: Просветни преглед;
108. Распоповић М. и сар. (1999в): *Задаци из физике за самостално вежбање и провере знања (контролне вежбе) за 8. разред основне школе*, Београд: Просветни преглед;
109. Распоповић М. и Распоповић З. (2006): *Физика за гимназију општег и друштвено – језичког смера*, Београд: ЗУНС;
110. Репкин В.В. (1997): *Развивающее обучение и учебная деятельность*, Рига;
111. Ристић Ж. (1995): *О истраживању, методу и знању*, Београд: Просвета – ИПИ;
112. Richard V. & Bader B. (2009): *R – presenting the Social Construction of Science in Light of the Propositions of Bruno Latour: For a Renewal of the School Conception of Science in Secondary Schools*, Wiley Periodicals, Inc: Science Education, 94, 743 – 759. доступно на <http://www.interscience.wiley.com>;
113. Rudolph J. L. (2002): *Some thoughts on portraying epistemology in today's classrooms: A reply to Garrison*, Wiley Periodicals, Inc: Science Education, 87(1), 90 – 93, доступно на <http://www.interscience.wiley.com>;
114. Rudolph J. L. (2005а): *Epistemology for the masses: The origins of the scientific method in American school*, History of Education Quarterly, 45, 341 – 376;
115. Rudolph J. L. (2005б): *History of Education Quarterly Vol. 45 No. Redish, E.F. 2003: Teaching physics with the physics suite*, New York: Wiley;
116. Rusbult F. C. (1997): *A model of „Integrated scientific method” and its application for the analysis of instruction*, PhD, University of Wisconsin – Madison, доступно <http://www.asa3.org/ASA/education/think/science.htm#top2>;



117. Савица Т. (2003): *Структура система примарног и секундарног образовања и Европи*, Београд: МПИС;
118. Sadler M. P. & Tai H. R. (1997): *The role of high – school physics in preparing students for college physics*, *The Physics Teacher*, 35, 282 – 285;
119. Segedinac M. i Halaši R. (1998): Blumova taksonomija kao osnova za konkretizaciju i operacionalizaciju culjeva i zadataka nastave hemije u nastavnoj oblasti struktura materije, *Pedagogija* 2/98, 88 – 99;
120. Сериков В.В. (1999): *Образование и личность, теория и практика проектирования педагогических систем*, Москва: Логос;
121. Службени гласник РС – Просветни гласник (1990): *Наставни план и програм за први разред гимназије друштвено – језичког смера*, Београд: Службени гласник, бр.10;
122. Singh C., Moin L. & Schunn D. Ch. (2010): *Introduction to physics teaching for science and engineering undergraduates*, Illinois State University Physics Dept. J. : Phys. Tchr. Educ. Online, 5(3) доступно на [http://www.phy.ilstu.edu/jpteo5\(3\)win10.pdf](http://www.phy.ilstu.edu/jpteo5(3)win10.pdf);
123. Scherr R. E. (2003): *An implementation of Physics by Inquiry in a large – enrollment class*, *Physics Teacher*, 41(2), 113 – 118;
124. Suzić N. (2007): *Primijenjena pedagoška metodologija*, Banja Luka: XBS;
125. Tala S. (2009): *Unified View of Science and Technology for Education: Technoscience and Technoscience Education*, *Science & Education* (2009) 18 (3 – 4): pp. 275–298;
126. Tang X. et al, (2009): *The Scientific Method and Scientific Inquiry: Tensions in Teaching and Learning*, *Science Education*, 84(6), 29 – 47. доступно на: [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com), DOI 10.1002/sci.20366;
127. Tomašević B., Trivić D. i Voјović S. (2009): *Kurikulum kao podrška istraživačkom pristupu u učenju hemije*, *Zbornik instituta za pedagoška istraživanja*, God. 41, Br. 2(478 – 495);
128. Томић Ј. и Радивојевић Б. (2001а): *Контролни задаци из физике за 6. разред основне школе*, Београд: ЗУНС;
129. Томић Ј. и Радивојевић Б. (2001б): *Контролни задаци из физике за 7. разред основне школе*, Београд: ЗУНС;

130. Томић Ј. и Радивојевић Б. (2001в): *Контролни задаци из физике за 8. разред основне школе*, Београд: ЗУНС;
131. Трнавац Н. и Ђорђевић Ј. (1998): *Педагогија*, Београд: Научна књига;
132. Трубников Н.Н. (1990): *Наука и нравственность (о духовном кризисе европейской культуры). Заблуждающийся разум? Многообразие вненаучного знания*, Москва: Наука, стр.279;
133. Yeo R. R., (1986): “*Scientific Method and the Rhetoric of Science in Britain, 1830–1917,*” in *The Politics and Rhetoric of Scientific Method: Historical Studies*, Dordrecht: D. Reidel Publishing Company;
134. Friedman R. M. (2001): *The Politics of Excellence: Behind the Nobel Prize in Science*, New York : Freeman;
135. Freitas I. M., Jimenez R. & Mellado V. (2004): *Solving Physics Problems: The Conceptions and Practice of an Experienced Teacher and an Inexperienced Teacher*, Journal of Research in Science Education, 34, 113 – 133;
136. Haig B.D. (2005): *An Abductive Theory of Scientific Method*, Psychological Methods, 10(4), 371 – 380 доступно на <http://www.sciencedirect.com/science>;
137. Hartle J. B. (2002): *Gravity: An Introduction to Einstein’s General Relativity*, San Francisco: Addison Wesley;
138. Hawking S.W. & Penrose R. (2000): *The Nature of Space and Time*, Princeton : Princeton University Press;
139. Hassard J. & Weisberg J. (1999): *The emergency of global thinging among american and russian youth as a contribution to public understanding*, International Journal of Science Education, Vol.2, No.7, 731–743;
140. Häussler P. & Hoffmann L. (2000): *A curricular frame for physics education: Development, comparison with students’ interests, and impact on students’ achievement and self – concept*. Science Education, 84(6), 689 – 705.
141. Hestenes D. (1992): *Modeling games in the Newtonian Worl*, American Journal of Physics 60:732 – 748;
142. Hodson D. (1986): *Laboratory Work as Scientific Method*, Journal of Curriculum Studies 28, 115 – 135;

143. Campanario J.M. (2002): *The Parallelism Between Scientists' and Students' Resistance to New scientific ideas*, International Journal of Science Education, 24(10), 1095 – 1110;
144. Cahyadi V. & Butler P. H. (2007): *Empowering Learners of Physics: Helping Instructors Use Physics Education Research*, Research and Development in Higher Education, Christchurch: University of Canterbury press. 5, 352;
145. Chang H. (2004): *Inventing Temperature: Measurement and Scientific Progress*, Oxford: Oxford Studies in Philosophy of Science;
146. Цветковић Д. (2002): *Збирка питања и задатака из физике 1*, Београд: ИТП Научна;
147. Ципро М. (1990): *Научно – технички прогрес и васпитање младежи*, Москва: Сов. Педагогика, № 8. С. 71;
148. Clegg B. (2003): *The First Scientist: A Life of Roger Bacon*, London: Constable & Robinson;
149. Cohen L., Manion L., and Morrison, K. (2001): *Research methods in education – 5th edition*. London: Routledge/Falmer.
150. Чалуковић Н. (2003а): *Збирка задатака из физике за 7. разред*, Београд: Круг;
151. Чалуковић Н. (2003б): *Физика 1 – збирка задатака и контролних вежбама за први разред гимназије*, Београд: Круг;
152. Чалуковић Н. (2001а): *Физика 1 – уџбеник за први разред гимназије*, Београд: Круг;
153. Чалуковић Н. (2001б): *Физика 1 – уџбеник за први разред Математичке гимназије*, Београд: Круг;
154. Чалуковић Н. (2001ц): *Физика 1М – збирка задатака за први разред Математичке гимназије и за припрему такмичара*, Београд: Круг;
155. Шадриков В.Д. и Старовойтенко Е.Б. (1987): *Концепција индивидуализације васпитања*, Москва: Сов. Педагогика, № 10. С. 63;
156. Шарпак Ж. (2001): *Рука у тесту – наука у основној школи*, Београд:ДФС;

157. Шулежко Е. М. (2003): *Разработка структуры и содержания пропедевтического курса физики на основе метода научного*, Москва: Наука;
158. Шетрајчић Ј. и Цветковић Б. (2005): *Физика – збирка задатака са лабораторијским вежбама за гимназију општег типа и друштвено – језичког смера*, Београд: ЗУНС;
159. Шешић Б. (1982): *Основи методологије друштвених наука*, Београд: Научна књига;

## Глава VII

### 7. ПРИЛОЗИ

#### 7.1. Прилог 1. – Припреме за експерименталне вежбе

##### 7.1.1. Марсова Орбита

*Дефиниција проблема:* Небеска тела се крећу око Земље?

*Прикупљање података:* Узимамо координате положаја планете Марс;

*Формулација хипотезе:* Сва небеска тела се окрећу око Земље!?

*Експеримент:* Покушавамо да нацртамо путању планете Марс постављајући Земљу у центар координатног система (геоцентрични систем) – не успевамо!

*Тестирање хипотезе:* Цртамо путању планете Марс постављајући у центар координатног система Сунце (хелиоцентрични систем) – успевамо!

*Закључак:* Марс – планете се крећу око Сунца!

#### Потребан материјал (слика 7.1)

- угломер,
- лењир,
- шестар,
- милиметарски папир или папир у линије,
- пар ексера или чиода,
- конац.



Слика 7.1. Потребан материјал за вежбу

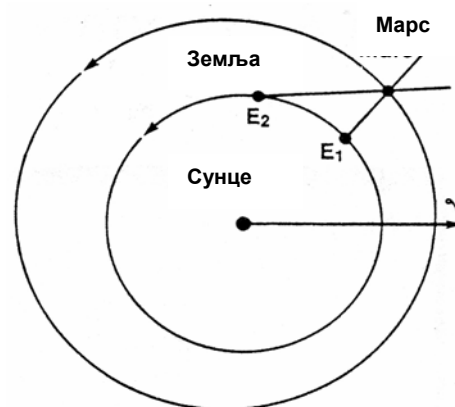
#### Извођење експеримента

Одредите центар на вашем папиру (слике 7.2. – Сунце) и нацртајте усмерену дуж од центра до десне ивице, паралелну са линијама папира за цртање. Дуж представља основни смер од кога меримо углове ( $0^\circ$ ) у Свемиру. То је смер ка Сунцу како се оно види са Земље у време пролећне равнодневнице (ова позиција се налази у сазвежђу Овна и означена је као гама тачка –  $\gamma$ ).

Нацртајте круг пречника 5cm који представља Земљину орбиту (орбите Марса и Земље су елипсе, али су кругови прилично добре априксимације). Поставите угломер центриран на Сунцу и на дужи усмереној ка тачки пролећне равнодневнице,  $\gamma$  – тачки. Од тог положаја ( $0^\circ$ ), измерите у смеру контра од казаљке на сату хелиоцентричну дужину – лонгитуду Земље за сваки пар датума у табели 6.1. и означите то на кругу са великим словом  $E_1$  и  $E_2$  (слика 7.2).

**Табела 7.1.** Координате Сунца и Марса

датум	Хелиоцентрична лонгитуда Сунца	Геоцентрична лонгитуда Марса
17.феб.1585.	$159^\circ 23'$	$135^\circ 12'$
5.јан.1587.	$115^\circ 21'$	$182^\circ 08'$
19.сеп. 1591.	$5^\circ 47'$	$284^\circ 18'$
6.авг.1583	$323^\circ 26'$	$346^\circ 56'$
7.дец.1593	$85^\circ 53'$	$3^\circ 04'$
25.окт.1595	$41^\circ 42'$	$49^\circ 42'$
28.мар.1587	$196^\circ 50'$	$168^\circ 12'$
12.феб.1589.	$153^\circ 42'$	$218^\circ 21'$
10.мар.1585.	$179^\circ 41'$	$131^\circ 48'$
26.јан.1587.	$136^\circ 06'$	$184^\circ 42'$



**Слика 7.2.** Одређивање положаја Марса

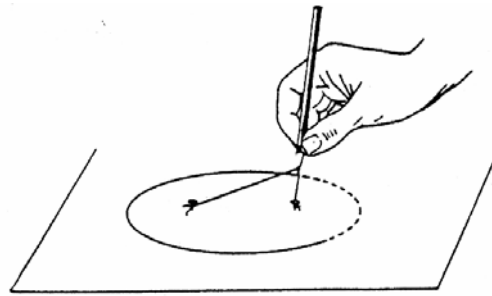
Са Земљом као центром и са почетним правцем и смером ( $0^\circ$ ), који је паралелан правцу и смеру пролећне равнодневнице, нацртајте у смеру супротном од казаљке на сату, линију која представља геоцентричну лонгитуду – дужину Марса. За сваки пар посматрања из табеле 7.1, позиција Марса на његовој орбити добија се као пресек линија нацртаних од обе позиције Земље ( $E_1$  и  $E_2$ ) преко одговарајућих геоцентричних дужина Марса (метода триангулације).

Кеплер је сам упарио и поређао орбиталне позиције Марса, а прве две врсте у табели 7.1. представљају положаје перихела и афела. Када одредите положаје перихела и афела, спојите их линијом (главна оса) и одредите средиште те дужи – средња тачка. Затим, нацртајте круг центриран на средњој тачки који представља орбиту Марса. Главна оса Марсове орбите иде кроз Сунце, као и кроз средњу тачку и положаје перихела и афела. Измерите главну осу, као и дуж између положаја Сунца и средње тачке и помоћу пропорција

израчунајте њене дужине у астрономским јединицама (астрономска јединица – а.ј. је раздаљина од Земље до Сунца, а овде представљена као 5cm ).

Ексцентричност  $e$  орбите Марса је однос раздаљине између Сунца и средње тачке (GS) са дужином главне осе орбите (РА). Одредите ову вредност и запишите је у горњем десном углу дијаграма заједно са вредношћу главне осе за Марсову орбиту.

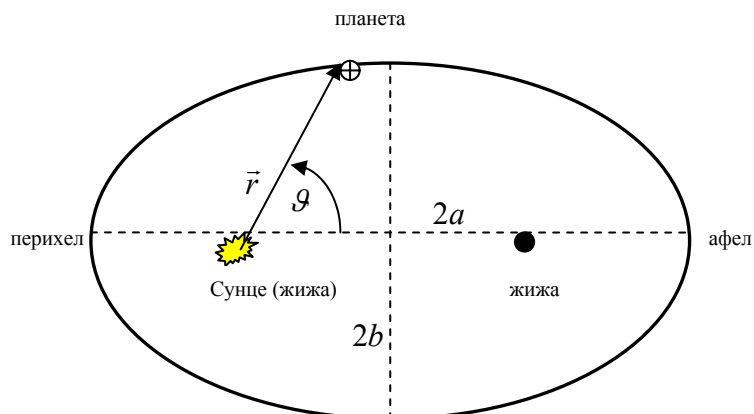
Сада треба упоредити елиптичну орбиту са нацртаном кружном апроксимацијом. Сунце даје један фокус за елипсу, а такозвани „празан фокус“ лежи дуж главне осе у смеру средње тачке, на два пута већем растојању од растојања између Сунца и средње тачке. Причврстите чиоде или ексере на сваком фокусу (слика 7.3). Поставите конач око чиода и оловке тако да врх оловке стиже до тачке перихела или афела само у случају када је конач потпуно затегнут. Конач мора да буде неистегљив и строго одржавајте затегнутост конача док цртате елипсу. Овако нацртана елипса у великој мери ће се поклапати са постојећим кругом (што смо због мале ексцентричности Марсове путање и очекивали).



Слика 7.3. Цртање елипсе уз помоћ две чиоде и конача

### Објашњење

Прва два пара посматрања помажу да се утврди афел и перихел Марса (слика 7.4), а остала три пара падају на нека друга места око Марсове орбите.



Слика 7.4. Елементи путање планета

Земљина орбита се добро апроксимира помоћу круга. Кеплер је утврдио да је ексцентричност Земљине орбите једна половина вредности коју је дао Тихо,  $e = 0.036$ , (стварна вредност је  $\sim 0.0168$ ) и да је њен перихел близу хелиоцентричне дужине од  $100^\circ$ . Кеплер је написао за Тихова израчунавања: „Његова вредност је била тачна у оквиру неколико лучних минута“ (*Astronomia nova*, 1609). Кеплер је на основу Тихових посматрања нумеричким израчунавања утврдио да се путања Марса поклапа са елипсом. То је уопштио и за путање осталих планета:

$$r = \frac{\text{const.}}{1 + e \cos \vartheta}, \quad e = \frac{b}{a} \dots\dots\dots (7.1.)$$

Путања планете је елипса која се може приказати изразом 7.1, где је  $e$  – ексцентричност (спљоштеност) путање,  $2a$  – велика оса елипсе,  $2b$  – мала оса елипсе,  $\vartheta$  – поларни угао рачунат од перихела. Тачка на елиптичној путањи у којој је планета најближа Сунцу назива се перихел, а њој супротна афел (слика 7.1). Растојање између перихела и афела представља дужу осу елипсе –  $2a$ .

### Закључак

Планете се крећу по елиптичним путањама, у заједничкој жижи тих елипси је Сунце.



### 7.1.2. Слободни пад повезаних новчића

Помоћу конца на који су причвршћени новчићи или кликери на одређеним растојањима може се демонстрирати веза између времена падања и пута у случају слободног пада (слика 7.5).



Слика 7.5.

*Изглед повезаних новчића*



Слика 7.6.

*Потребан материјал за вежбу*

#### Потребан материјал (слика 7.6)

- танак чврст конач
- 14 једнаких новчића или кликера, дугмади или матица од шрафа
- празна конзерва или метална плоча
- маказе, селотејп
- метар
- дигитална камера

#### Извођење експеримента

На крај конца помоћу селотејп траке залепи се први новчић или кликер. Шест других новчића залепи се тако да се њихов размак у односу на први новчић односи се као  $1 : 4 : 9 : 16 \dots$  (конац А на слици 7.5). Размаци између новчића се односе као  $1 : 3 : 5 : 7 \dots$

Конац слободно виси, тако да први новчић дотакне дно конзерве. Ако се конач пусти да падне у конзерву, новчићи ће у једнаким временским размацама падати на дно конзерве.

На други конач, који је исте дужине као први конач, на један крај се залепи такође новчић. Осталих шест новчића залепе се на конач, тако да су на истим растојањима (конач Б на слици 7.5). Ако се конач пусти да падне, онда ће новчићи падати на дно конзерве у све краћим временским интервалима. Размаци између новчића морају бити изабрани тако да временски интервал падања на дно металне посуде треба да буде 0.1s или 0.2s . Ударе новчића ћемо регистровати слушањем и са дигиталном камером.

За временски интервал падања од 0.1s размак између новчића је:

$$5 \text{ cm} + 15 \text{ cm} + 25 \text{ cm} + 35 \text{ cm} + 45 \text{ cm} + 55 \text{ cm} = 180 \text{ cm}$$

За временски интервал падања од 0.2s размак између новчића је:

$$20 \text{ cm} + 60 \text{ cm} + 100 \text{ cm} + 140 \text{ cm} + 180 \text{ cm} + 220 \text{ cm} = 720 \text{ cm}$$

Експеримент треба извести само у затвореним просторијама, зато што и најмањи ветар утиче на резултат мерења. Ако је конач довољно танак, чуће се удари новчића на дно конзерве. Да би се исти, односно краћи временски интервали могли добро чути, требало би причврстити шест до седам новчића на конач. Препоручује се да се експеримент изведе у просторијама, чији су зидови високи, на пример на степеницама. На тај начин шест новчића се може распоредити на дужи конач, чиме се повећава временски интервал између новчића који стижу један за другим. Краћи временски интервали се овако могу боље регистровати.

Приликом експеримента са дужим концем требало би узети масивније новчиће, да би се утицај струјања ваздуха у просторији учинио што мањим. Важно је да конзерва или метална плоча имају велику површину, зато што новчићи падају на различитим тачкама њене површине.

### Објашњење

Уколико се тело пусти да слободно пада, онда је пређени пут дат изразом:

$$s(t) = \frac{1}{2}gt^2 \quad (7.2.) \quad \text{односно} \quad t(s) = \sqrt{\frac{2s}{g}} \quad (7.3.)$$

(g – гравитационо убрзање)

Сви новчићи на концу се пуштају истовремено заједно са концем. Ако новчићи треба да падну на дно у истим временским размацама, између времена падања  $t_i$  мора постојати следећи однос:

$$t_1 : t_2 : t_3 : \dots = 1 : 2 : 3 : \dots$$

Овај однос времена падања добија се на основу израза 7.2, ако се путеви  $s_i$  новчића (конач А) односе као:

$$s_1 : s_2 : s_3 : \dots = 1 : 4 : 9 : \dots$$

Ако се новчићи причврсте еквидистантно на конач (конач Б), то значи:

$$s_1 : s_2 : s_3 : \dots = 1 : 2 : 3 : \dots ,$$

њихова времена падања  $t_i$  на основу израза 7.3. односе се као:

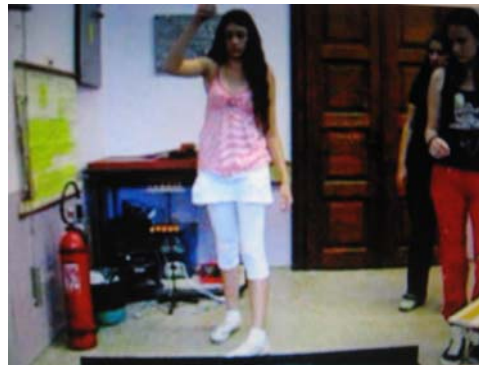
$$t_1 : t_2 : t_3 : \dots = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \dots$$

Ученици групе Аристотел су успешно урадили вежбу, извели закључак и снимили видео запис (видео запис 7.1. и 7.2)



**Видео 7.1.**

*Новчићи у размери (конач А)*



**Видео 7.2.**

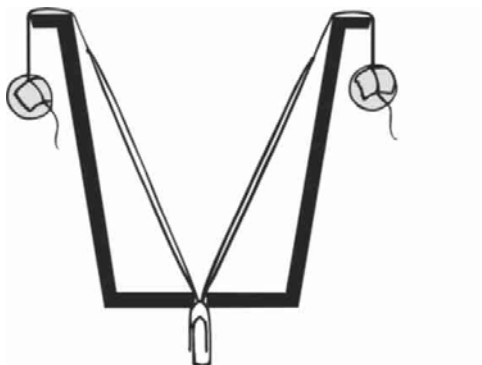
*Новчићи су еквидистантни (конач Б)*

### **Закључак:**

Приликом слободног пада тело се креће убрзано са убрзањем Земљине теже  $g$  (убрзање слободног пада), тако да за исте интервале времена прелази различите путеве.

### 7.1.3. Бестежинско стање

Овим једноставним експериментом ученици треба да покажу да приликом слободног пада – нестаје тежина тела!



**Слика 7.7.**

*Чаша са кликерима*



**Слика 7.8.**

*Потребан материјал*

#### Потребан материјал (слика 7.8)

- велика пластична чаша од јогурта,
- спајалица,
- две гумице исте величине,
- конац,
- два тега или металне кугле,
- селотејп трака,
- дигитална камера.

#### Извођење експеримента

Врхом загрејане игле направи се мали отвор на дну пластичне чаше (пречника  $\sim 3$  mm). Кроз отвор провуку се две гумице и помоћу спајалице учврсте се са спољашње стране, тако да се не могу враћати у унутрашњост чаше. На други крај гумица се причврсти конац, на чијим се крајевима селотејпом причврсте текове.

Ако се чаша са теговима који висе са спољашње стране, пусти да слободно пада са веће висине ( $\sim 2 - 3\text{m}$ , стојећи на столици или столу), може се уочити, како се тегови повлаче у унутрашњост чаше. Експеримент ћемо снимити дигиталном камером, а затим анализирати.

### Објашњење

У стању мировања тежина тегова је уравнотежена силом затезања гумица (заједно са силама трења између конца и ивице чаше). Како је приликом слободног пада чаша неинерцијални систем, тежина тегова је уравнотежена инерцијалном силом, тако да се тегови налазе у бестежинском стању (повлаче се на горе). Тегови падају заједно са чашом, а гумица је у неистегнутом стању.

Ученици групе Галилеј су успешно урадили вежбу, извели закључак и снимили видео запис (видео записи 7.3. и 7.4)



**Видео 7.3.**

*Слободни пад чаше са куглицама 1*



**Видео 7.4.**

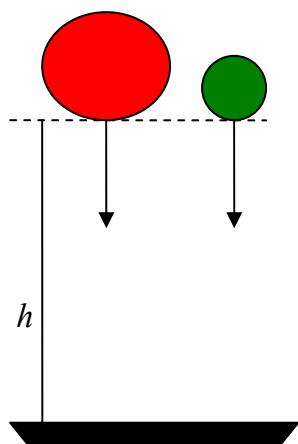
*Слободни пад чаше са куглицама 2*

### Закључак

Приликом слободног пада нестаје тежина тела, односно тела се налазе у бестежинском стању.

### 7.1.4. Слободни пад

Овим једноставним експериментом ученици показују да уколико се тела различитих маса пуште да слободно падају са истих висина, она истовремено стижу на Земљу.



Слика 7.9.

*Шема слободног пада тела*



Слика 7.10.

*Потребан материјал*

#### Потребан материјал (слика 7.10)

- тела различитих маса,
- метар,
- хронометар,
- дигитална камера

#### Извођење експеримента

Одаберемо тела различитих маса. Метром измеримо висину са које пуштамо тела да слободно падају, на пример 1, 2. и 3 метра. На почетку прикупљаћемо податаке тако што ћемо истовремено пуштати два тела да падају са различитих висина. Пад тела бележимо и дигиталном камером. Експеримент је правилно изведен ако истовремено чујемо удар оба тела о подлогу. Експеримент се анализира и са видео снимка. Затим треба тела различитих маса пуштати да одвојено падају са истих висина и при томе бележити висине и њихова времена падања. Експерименталне вредности се унесе у табелу 7.2:

Табела 7.2. Изглед табеле за слободни пад тела различитих маса

Тело бр.	Висина [m]	Време [s]	Тело бр.	Висина [m]	Време [s]	Тело бр.	Висина [m]	Време [s]	
1	1		2			3			
	2								
	3								

### Објашњење

Сила Земљине теже свим телима саопштава исто убрзање које независи од масе тела које слободно пада. Услед тога сва тела са исте висине падају за исто време на Земљу:

$$g = \gamma \frac{M}{R^2} \dots\dots(7.4.) \quad \text{односно,} \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \dots\dots(7.5.)$$

где је  $R$  – полупречник Земље,  $M$  – маса Земље,  $\gamma$  – гравитациона константа.

Ученици групе Галилеј су успешно урадили вежбу, извели закључак и снимили видео запис (видео запис 7.5. и 7.6).

### Закључак

Тела различитих маса истовремено падају на земљу (подлогу).



Видео 7.5.

Слободни пад тела 1

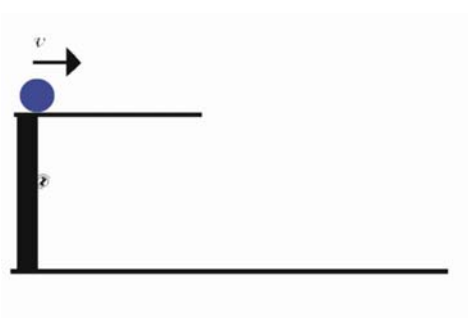


Видео 7.6.

Слободни пад тела 2

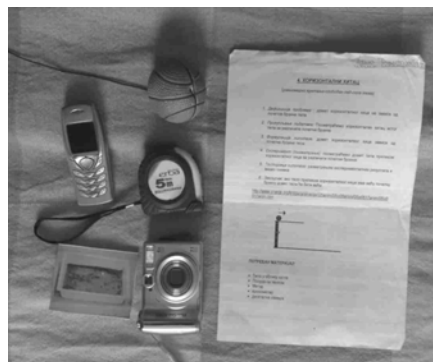
### 7.1.5. Хоризонтални хитац

Експеримент треба да покаже да домет хоризонталног хица зависи од почетне брзине тела.



Слика 7.11.

Шема хоризонталног хица



Слика 7.12.

Потребан материјал

#### Потребан материјал (слика 7.12)

- тело у облику кугле,
- посуда са песком,
- метар,
- хронометар,
- дигитална камера.

#### Извођење експеримента

Куглицу пустимо да пада са стола различитим почетним брзинама (слика 7.11). Куглица пада у песак тако да јасно видимо траг удара. Тада одређујемо домет хоризонталног хица у равни пода, тако што меримо растојање од ивице стола до трага у песку који је направила куглица. Меримо и време пада куглице. Хоризонтални хитац куглице снимамо дигиталном камером. Експерименталне резултате записујемо у табелу 7.3:



Табела 7.3. Табела за хоризонтални хитац

Домет [m]	Време [s]	Брзина [m/s]

**Објашњење**

Хоризонтални хитац је сложено кретање које је дуж хоризонталног правца равномерно кретање, а дуж вертикалног правца слободни пад. Ако координату  $x$  узмемо за хоризонтални правац, онда се она мења:

$$x = V_0 \cdot t \quad \dots\dots\dots(7.6.)$$

где је  $V_0$  почетна брзина коју је тело имало у хоризонталном правцу у тренутку одвајања од стола. Како се тело у хоризонталном правцу креће равномерно, брзина се не мења током целог кретања све до тренутка пада у песак. Мерећи време пада  $t_u$  и домет  $x_{\max}$ , можемо одредити почетну брзину:

$$V_0 = \frac{x_{\max}}{t_u} \quad \dots\dots\dots(7.7.)$$

**Закључак**

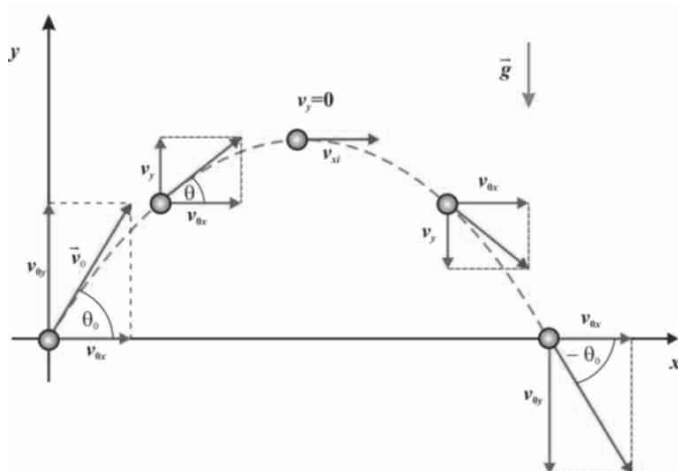
Што је почетна брзина већа, домет је већи.

Ученици групе Аристарх су успешно урадили вежбу, извели закључак и снимили видео запис (видео запис 7.7. и 7.8).

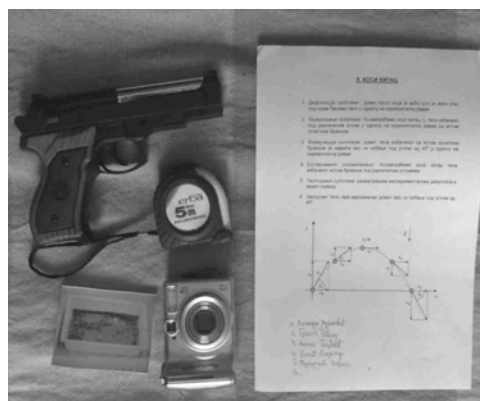
**Видео 7.7.***Хоризонтални хитац 1***Видео 7.8.***Хоризонтални хитац 2*

### 7.1.6. Коси хитац

Експеримент треба да покаже да домет косог хица зависи од угла под којим је бачено тело у односу на хоризонталну раван.



Слика 7.13. Коси хитац



Слика 7.14. Потребан материјал

#### Потребан материјал (слика 7.14)

- пиштољ играчка који избацује куглице,
- посуда са песком,
- метар,
- дигитална камера.

#### Извођење експеримента

Пиштољ са куглицама поставићемо под различитим угловима у односу на под. За исти угао урадићемо више мерења да бисмо посуду са песком поставили на најбоље место како бисмо измерили домет куглице. Поступак понављамо за више углова. Резултате приказујемо у табели 7.4. и експеримент снимамо дигиталном камером.

Табела 7.4. Табела за експеримент коси хитац

Угао (°)	Домет [m]
15	
30	
45	
60	
75	

**Објашњење**

Коси хитац је сложено кретање које је дуж хоризонталног правца равномерно кретање, а дуж вертикалног правца убрзано под дејством Земљине теже. Ако координату  $x$  узмемо за хоризонтални правац, онда се она мења као:

$$x = V_{0x} \cdot t, \quad V_{0x} = \text{const.} \quad \dots\dots\dots(7.8.)$$

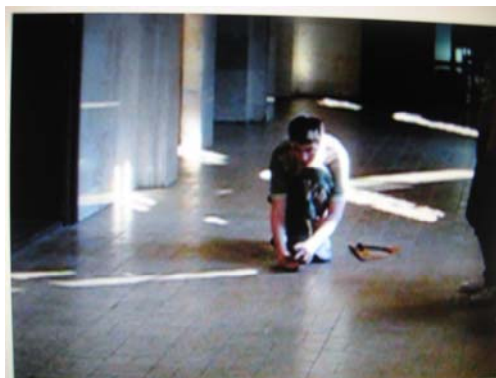
где је  $V_{0x}$  је компонента почетне брзине дуж  $x$  – осе коју је тело имало у хоризонталном правцу у тренутку одвајања од подлоге. Како се тело у хоризонталном правцу креће равномерно, брзина  $V_{0x}$  се не мења током целог кретања све до тренутка пада у песак. Познајући компоненту брзине  $V_{0y}$  и укупно време кретања хица  $t_u$ , можемо израчунати максимални домет према:

$$x_{\max} = V_{0x} t_u = \frac{2 \cdot V_{0x} \cdot V_{0y}}{g} \quad \dots\dots\dots(7.9)$$

**Закључак**


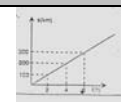
Домет у случају косог хица зависи од угла под којим је тело бачено. Домет је максималан ако је угао  $45^\circ$ .

Ученици групе Тихо Брахе су успешно урадили вежбу, извели закључак и снимили видео запис (видео запис 7.9. и 7.10).

**Видео 7.9.***Коси хитац 1***Видео 7.10.***Коси хитац 2*

7.2. Прилог 2. – Контролне вежбе

Табела 7.5. Контролна вежба 1

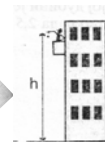
1. ЗАОКРУЖИ СЛОВО ИСПРЕД ТАЧНОГ ОДГОВОРА:																																																						
1. Тело је инертно због: А) трења      Б) отпора ваздуха      Г) силе      Д) брзине      Е) масе																																																						
2. Густину супстанције одређујемо тако што: А) запремину поделимо тежином      В) тежину поделимо запремином Б) запремину помножимо масом      Г) масу поделимо запремином      Д) запремину поделимо масом																																																						
3. Ако истовремено меримо притисак на подножју и врху брда, атмосферски притисак ће бити: А) једнак на подножју и врху брда      В) независан од надморске висине Б) на врху већи него на подножју      Г) једнак притиску на морској површини      Д) на подножју већи него на врху																																																						
4. Две силе делују на неко тело у истом правцу а супротном смеру. Једна износи 90 N, а друга 30 N. Вредност њихове резултанте је: А) 60 N      Б) 30 N      В) 270 N      Г) 150 N      Д) 120 N																																																						
5. Тело се креће равномерно успорено кад му се брзина у једнаким временским интервалима: А) мења равномерно      В) смањује у истим износима Б) повећава различито      Г) смањује различито      Д) повећава у истим износима																																																						
6. Трење клизања саоница повећава се са порастом: А) брзине      Б) површине      В) тежине      Г) температуре      Д) запремине																																																						
7. Колика је фреквенција осцилатора чији је период осциловања 0,02 секунде: А) 50 s      Б) 50 Hz      В) 0,02 s      Г) 0,02 Hz      Д) 20 Hz																																																						
8. Којом врстом наелектрисања су наелектрисана тела А и Б: А) А–позитивно, Б–позитивно      В) А–негативно, Б–позитивно      Б) А–позитивно, Б–негативно      Г) А–негативно, Б–негативно																																																						
9. Еквивалентан отпор три паралелно везана отпорника је: А) $R_e = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}$ Б) $R_e = R_1 + R_2 + R_3$ В) $R_e = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}$ Г) $R_e = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}$																																																						
10. Светлосни зрак заклапа са површином равног огледала угао од 60°. Одбојни угао је: А) 90°      Б) 60°      В) 50°      Г) 40°      Д) 30°																																																						
2. ПОДАТКЕ У ДЕСНОМ СТУПЦУ ПРИДРУЖИ ОДГОВАРАЈУЋИМ ПОДАЦИМА У ЛЕВОЈ КОЛОНИ:																																																						
11. <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table> А) пут Б) маса Ц) време				12. <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table> 1. секунда 2. грам 3. метар 4. минута 5. центиметар 6. килограм							13. <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table> А) сила Б) густина В) атмосферски притисак Г) притисак затвореног гаса Д) запремина тела Е) различите дужине											<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table> 1. барометар 2. манометар 3. ареометар 4. динамометар 5. термометар 6. мензура 7. нонијус											<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table> А) потенцијал Б) фреквенција В) електромоторна сила Г) количина топлоте Д) електрични отпор Е) магнетна индукција											<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table> 1. цул 2. ом 3. волт 4. херц 5. тесла										
3. ДОПУНИ започету мисао тако да буде исправна, речима РАСТЕ, ОПАДА, ОСТАЈЕ ИСТА:																																																						
14) Када се на брод товари терет, тада сила потиска која истискује брод из воде .....																																																						
15) Када се смањује маса етанола у његовом воденом раствору густина раствора .....																																																						
16) Када се тело удањава од површине Земље, његова тежина .....																																																						
17) Рад који се врши на одређеном путу расте када сила .....																																																						
18) Када температура гаса расте, брзина његових молекула .....																																																						
19) Када отпор у електричном колу расте, јачина струје .....																																																						
20) Када магнетни флукс расте, индукована електромоторна сила .....																																																						
4. ШТО КРАЋЕ ОДГОВОРИ или РЕШИ ЗАДАТАК:																																																						
																																																						
21) Са слике одреди: А) какво је кретање?.....Б) колика је брзина?.....																																																						
22. Колика је апсолутна температура на 27 °C?																																																						
23. Висина воде у резервоару изнад отвора водовodne цеви је 100 метара. Колики је притисак на отвору водовodne цеви?																																																						
24. Дизалица изврши рад 6·10 <sup>5</sup> J за један минут. Њена снага износи																																																						
25. Колика је таласна дужина звучних таласа у ваздуху (v=340m/s), ако су произведени звучном виљушком од 400 Hz?																																																						
26. Језгро X редног броја Z и масеног A емитије α честицу. Одредити редни и масени број новонасталог језгра Y.																																																						
27. Количина топлоте је мера за промену.....																																																						
28. Тело мења свој облик, брзину или смер кретања, ако на њега делује.....																																																						
29. Одреди колико линија сила магнетног поља пролази нормално кроз 1 cm <sup>2</sup> , ако је јачина магнетне индукције 10 kT.																																																						
30. Шта се дешава са снагом струје, ако се електричном колу доведе 3 пута већи напон?																																																						

Табела 7.6. Контролна вежба 2

1. ЗАОКРУЖИ СЛОВО ИСПРЕД ТАЧНОГ ОДГОВОРА:			
1. Сила гравитације је: А) одбојна      Б) привлачна      В) и одбојна и привлачна      Г) неутрална			
2. Њутнов закон гравитације који представља математички израз за интезитет силе гравитације између два тела маса $m_1$ и $m_2$ на растојању $r$ и где је $\chi$ гравитациона константа је: А) $F = \chi \frac{m_1 \cdot m_2}{r}$ Б) $F = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ В) $F = \chi \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ Г) $F = \chi \frac{m_1^2}{r^2} \cdot m_2$			
3. Гравитационо поље је: А) простор око тела масе $m$ где се осећа дејство гравитационе силе      В) гравитационо поље око планете Земље Б) сила између два тела масе $m_1$ и $m_2$ Г) простор око тела			
4. Земљина тежа је: А) гравитациона сила којом тела привлаче Земљу      В) тежина тела Б) гравитациона сила којом Земља привлачи тела      Г) гравитациона сила масе $m$			
5. Тежина тела је: А) гравитациона сила којом Земља привлачи тела      В) гравитационо убрзање Б) сила којом тело делује на непокретан ослонац или затеже конач      Г) сила Земљине теже			
6. На малим висинама изнад Земљине површине привлачна сила Земљине теже дата је формулом, где је $m$ маса тела, а $g$ гравитационо убрзање: А) $F = m^2 \cdot g$ Б) $F = \frac{g}{m}$ В) $F = \frac{m}{g}$ Г) $F = m \cdot g$			
7. Убрзање Земљине теже – гравитационо убрзање $g$ је: А) константно и износи $g = 9,81 m/s^2$ В) највеће на екватору, а најмање на половима Земље Б) највеће на половима, а најмање на екватору Земље      Г) највеће у средишту Земље			
8. Слободни пад је: А) равномерно убрзано кретање тела без почетне брзине под дејством Земљине теже Б) равномерно убрзано кретање тела са почетном брзином под дејством Земљине теже В) равномерно кретање под дејством Земљине теже Г) равномерно успорено кретање тела без почетне брзине под дејством Земљине теже			
9. Хитац увис је: А) равномерно кретање тела у пољу Земљине теже Б) равномерно убрзано кретање тела са почетном брзином у пољу Земљине теже В) равномерно успорено кретање тела са почетном брзином у пољу Земљине теже Г) равномерно успорено кретање тела без почетне брзине у пољу Земљине теже			
10. Ако са $t_1$ означимо време које је потребно да камен бачен увис стане на некој висини од Земље а са $t_2$ време да се камен поново врати на Земљу онда је: А) $t_1 = 2t_2$ Б) $t_1 < t_2$ В) $t_1 > t_2$ Г) $t_1 = t_2$			
2. ПОДАТКЕ У ДЕСНОМ СТУПЦУ ПРИДРУЖИ ОДГОВАРАЈЋИМ ПОДАЦИМА У ЛЕВОЈ КОЛОНИ:			
11.	А) гравитациона сила	1. њутн 2. килограм	
12.	Б) гравитационо убрзање	3. $m/s^2$ 4. $m \cdot s^2$	
13.	В) тежина тела	6. метар	
14.	Г) брзина слободног пада	7. $m/s$	
15.	Д) пут при слободном паду	8. $m \cdot s$	
16.	Е) време пењања при хицу увис	9. секунда	
3. ДОПУНИ започету мисао тако да буде исправна, речима РАСТЕ, ОПАДА, ОСТАЈЕ ИСТА:			
17. Са смањењем растојања између тела гравитациона сила .....			
18. Када се тела из ваздуха преместе у воду гравитациона сила између тела .....			
19. Када се тело удаљава од површине Земље, његова тежина .....			
20. Убрзање Земљине теже од полова до екватора .....			
21. При слободном паду брзина тела .....			
22. При хицу увис брзина тела .....			
4. ШТО КРАЂЕ ОДГОВОРИ или РЕШИ ЗАДАТАК:			
23. Ако се гравитациона сила смањила 4 пута онда значи да се растојање повећало?			
24. Ако се тело масе $m = 1kg$ налази на површини Земље и гравитационо убрзање је $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ , онда је тежина тела $Q$ (слика 24)?			
25. Кликер слободно пада 2,2 секунде. Са које га је висине пустио човек ( $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ ) (слика 25)?			
26. Дечак је камен бацио брзином $V_0 = 1 \frac{m}{s}$ вертикално увис. Колико времена прође до заустављања камена на некој висини? (слика 26)			



24.



25.



26.

Табела 7.7. Контролна вежба 3 и 4

1. ДОПУНИ РЕЧЕНИЦЕ:				
1. Аристотел је подржавао _____ систем Свемира.				
2. Алмагест је превод на арапски најобимнијег астрономског зборника старог века кога је написао _____				
3. Користећи посматрања _____ Кеплер је открио законе кретања планета.				
4. Хелиоцентрични модел Сунчевог система и дотадашњег Свемира први је поставио _____				
5. Идеју хелиоцентричног система поново је после 18. векова васкрсао _____				
6. Због залагања за хелиоцентрични систем на ломачи је спаљен _____				
7. _____ је саставио дурбин и посматрањима доказао хелиоцентрични систем.				
8. Гравитациона сила којом интерагују две материјалне тачке је обрнуто сразмерна _____ између тих тачака.				
9. _____ у некој тачки је бројно једнака гравитационој сили која делује на тело јединичне масе у датој тачки.				
10. Максимална висина коју достиже тело при вертикалном хицу увис са Земље зависи од _____ тела.				
2. ПОВЕЖИ ОДГОВАРАЈУЋЕ ПОЈМОВЕ:				
11.	А) Први Кеплеров закон	1) Сила којом се привлаче две материјалне тачке сразмерна је производу њихових маса, а обрнуто сразмерна квадрату растојања између њих.	2) Сила којом се привлаче два тела произвољног облика сразмерна је производу њихових маса, а обрнуто сразмерна квадрату растојања између њихових тежишта.	
	Б) Други Кеплеров закон	3) Планете се крећу око Сунца по концентричним кружним путањама у чијем је центру Сунце.	4) Планете се крећу по елиптичним путањама у чијој се заједничкој жижи налази Сунце.	
	В) Трећи Кеплеров закон	5) Квадрати периода обиласка планета око Сунца сразмерни су кубовима великих полуса путања.	6) Квадрати периода обиласка планета око Сунца обрнуто су сразмерни кубовима великих полуса њихових путања.	
	Г) Њутнов закон гравитације	7) Радијус вектор Сунце – планета у једнаким временским интервалима опише исте углове.	8) Радијус вектор Сунце – планета у једнаким временским интервалима пребрише исте површине.	
12. Свакој величини придружи одговарајућу јединицу		А) тежина	1) 1N	2) 1kg
		Б) јачина гравитационог поља	3) 1N/kg	4) 1N/kg <sup>2</sup>
		В) гравитациона константа	5) 1Nm <sup>2</sup> /kg <sup>2</sup>	6) 1Nkg <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
13. Свакој величини придружи одговарајућу формулу ( M – маса Сунца; m – маса Земље; r – растојање Земље од Сунца; R – полупречник Земље):	А) гравитациона сила $F_g$ којом интерагују Сунце и Земља		1) $\chi \frac{M \cdot m}{r}$	2) $\chi \frac{M \cdot m}{r^2}$
	Б) гравитационо убрзање $g$ у близини Земљине површине		3) $\chi \frac{M}{R}$	4) $\chi \frac{M}{R^2}$
	В) брзина којом пада на Земљу тело бачено хоризонталном брзином $V_0$ са висине $h$		5) $\sqrt{2gh}$	6) $\sqrt{V_0^2 + 2gh}$
3. ОДГОВОРИ СА ДА ИЛИ НЕ:				
14. Да ли гравитациона сила има следеће особине: А) увек је привлачна? Б) зависи од растојања између тела? В) не делује између тела у вакууму?				
15. Да ли је тачно тврђење? А) Тежина тела и Земљина тежа су исте силе; Б) Јачина гравитационог поља је векторска величина; В) Ако су $T_M$ и $\tau_M$ период обиласка Месеца око Земље и полупречник Месечеве путање око Земље, а $T_Z$ и $\tau_Z$ период и полупречник путање Земље око Сунца онда је $T_M^2 : \tau_M^3 = T_Z^2 : \tau_Z^3$				
16. Да ли гравитационо убрзање тела у пољу Земљине теже зависи од: А) удаљености од Земљине површине? Б) масе Земље? В) масе тела?				
17. Ако је отпор ваздуха занемарљив, да ли домет тела при косом хицу зависи од: А) угла под којим се тело баца? Б) брзине којом се тело баца? В) масе тела?				
4. ОДГОВОРИ СА : А>Б, А<Б или А=Б				
18. Положај у којем је планета најближа Сунцу зове се перихел, а положај у којем је најудаљенија од Сунца је афел. Упореди: А) површине које пребрише радијус вектор Сунце – планета за исто време ако се за почетни положај узме афел (А) и ако је почетни положај перихел (Б). Б) брзине планета у афели (А) и перихелу (Б).				
19. Упореди јачину гравитационог поља (А) материјалне тачке масе $m$ на растојању $r$ и јачину поља (Б) материјалне тачке масе $2m$ на растојању $2r$ .				
20. Упореди тежину тела на екватору (А) и на полу (Б) Земље.				
21. Тело је пуштено да слободно пада из хеликоптера у лету. Упореди пут тела до пада на Земљу са становишта посматрача у хеликоптеру (А) и посматрача на Земљи (Б).				
22. Упореди брзину падања са висине $h$ , слободног пада тела (А) и вертикалног хица наниже тела (Б).				
5. ОДГОВОРИ СА : ПОВЕЋАВА СЕ, СМАЊУЈЕ СЕ или НЕ МЕЊА СЕ				
23. Како се мења тежина тела у лифту који се креће убрзано наниже $a < g$ ако се интезитет убрзања смањује?				
24. Два тела су пуштена, једно после другог, да слободно падају са исте висине. Ако је отпор ваздуха занемарљив, како се током времена мења: А) растојање између тела? Б) брзина једног тела у односу на друго?				
25. Ако се повећава угао под којим се баца тело са Земље (коси хитац), а почетна брзина је увек иста, како се мења: А) време кретања до највише тачке? Б) максимална висина коју достиже тело? В) брзина тела у највишој тачки путање?				
6. ЗАОКРУЖИ ТАЧАН ОДГОВОР:				
26. Од свих планета у Сунчевом систему највећу удаљеност од Сунца достиже : А) Земља Б) Марс В) Нептун Г) Сатурн Д) Јупитер				
27. Гравитационо убрзање на површини Земље је $g$ . Колико је гравитационо убрзање на висини $R$ над површином Земље ( $R$ је полупречник Земље)? А) $g$ Б) $g/2$ В) $g/4$ Г) $2g$ Д) $4g$				
28. Тело је бачено вертикално навише са Земље брзином $10m/s$ . Ако је $g = 10m/s^2$ , време кретања тела до пада на Земљу је: А) 1s Б) 2s В) 5s Г) 10s Д) 20s				
29. Тело је бачено са Земље брзином $V_0$ под углом од $30^\circ$ према хоризонту. Брзина тела при паду на Земљу је: А) $(V_0 \cdot \sqrt{3})/2$ Б) $V_0/2$ В) $V_0$ Г) $(V_0 \cdot \sqrt{2})/2$ Д) $2V_0$				
30. Колику тежину има човек масе $70kg$ у лифту који се креће сталним убрзањем $g/3$ усмереним навише ( $g = 10m/s^2$ ): А) 700N Б) 525N В) 933,3N Г) 1000N Д) 333,3				
31. Ако се гравитациона сила смањила 4 пута онда значи да се растојање повећало? А) 4 пута Б) 8 пута В) 2 пута Г) 12 пута Д) 16 пута				



7.3. Прилог 3. – Изабрана питања ученика на крају часа

Da li je Isakova teorija o gravitaciji jedino pravilno dosjetku?

Da li smo mi razumeli gravitaciju ispravno?

Šta je jačina gravitaciona?  $\star$  Keplerov zakon Gravitaciono ubrzanje (sta je?)

Da li svaka planeta ima gravitaciono ubrzanje?

DA LI GRAVITACIONA POJMA IZ CENTRA ZEMLJE?

Zasto se MESEK kreće OKO ZEMLJE?

Da li je istina da je putnik dobio do zaključka iako mu je razlika mala na kraju?

Šta je gravitacija? Šta je težina?

Od čega se nastala gravitacija, materija...? Šta je Zemlja? g. p. mesto...

Da li je moguće da se planeta nalazi na kraju drugog planeta, npr. Mrc?

1. Želio bih da znam nešto više o Njutnovim knjizi: Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica. **Навадна бачка!**

DA ZEMLJA STANE A MESEK NE STANE DA SE KREĆE DA LI BI ZEMLJA UDARILA U MESEK, OBJASNIJE?

Ако Земља одједном нестане, где ће ићи Месец? **Торзиона бата**

Колико је КАТА ТЕШКА?

Јел може да се измери ТА ТЕЖИНА?

Šta je  $\chi$  i kako izračunati?

Da li postoji taj kosmos u koji vidimo taj beskonačan prostor?

KADA SU UTVRĐENE TEORIJE O ZAKONU SLOBODNOG PADA?

ŠTA JE  $v_{max} = \frac{v_0}{\sqrt{2}}$

Зашто о хитачу највише и највише немају средњу брзину?

Како везе има Монализа с овим? (Молиро је на слици)

Које ми мисли, када брину на делом коњу ако скокати с брзором?

Да ли би човек ако паде са 100м скоккао као лоптицу из експеримента?

ŠTA JE  $\chi_{max}$ ? Које кретање је највише?

Да ли је  $\chi = \frac{1}{2}gt^2 - \frac{1}{2}gt^2$

DRUGA KOSMIČKA BRZINA?

Da li je i kamna sa romena kosu hitac?

Šta se tu? Kolika je brzina potrebna da izademo iz Sunčevog sistema?

Da li postoji kosmos u koji vidimo taj beskonačan prostor?

Da li postoji kosmos u koji vidimo taj beskonačan prostor?

Da li postoji kosmos u koji vidimo taj beskonačan prostor?

### Биографија аутора

Мр Мирко Нагл рођен је 15.07.1969. год. у Новом Саду, од оца Горана Нагла, електроинжењера и мајке Љиљане Опачић – Нагл, адвоката. Ожењен је супругом Јеленом Нагл, адвокатом. Има две ћерке Анђелу и Валерију. Живи и ради у Шапцу.



Дипломирао је 1994. и стекао звање дипломирани астрофизичар на Математичком факултету у Београду, Катедри за астрономију, а затим магистрирао на истој 2000. и стекао звање магистра астрофизике. Наслов магистарске тезе је „Диск и хало Млечног пута на основи анализе металичности и просторне расподеле звезданих јата”. Користи се руским и енглеским језиком.

Стално је запослен као професор физике и астрономије у Шабачкој гимназији. Радио је као асистент – приправник на Математичком факултету у Београду, Катедри за астрономију за предмете Општа астрофизика и Методика наставе и историја астрономије. Ради као предавач за предмет Биофизика на Високој пољопривредној школи струковних студија у Шапцу. Стручни је сарадник Астрономске обсерваторије у Београду, делегат Друштва физичара Србије за Мачвански округ, члан надзорног одбора Друштва астронома Србије и био је члан Комисије за планове и програме и прегледе уџбеника Министарства просвете РС. Аутор је и коаутор више научних, стручних радова и саопштења објављених у међународним и домаћим часописима и научним скуповима. Био је заменик и директор Шабачке гимназије. Одборник је Скупштине града Шапца.

Нови Сад, јун 2011. године

мр Мирко Нагл

---



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ПРИРОДНО–МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ, ДЕПАРТМАН ЗА ФИЗИКУ  
КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број:

**РБР**

Идентификациони број:

**ИБР**

Тип документације:

**ТД**

Тип записа:

**ТЗ**

Врста рада:

**ВР**

Аутор:

**АУ**

Ментор:

**МН**

Наслов рада:

**НР**

Језик публикације:

**ЈП**

Језик извода:

**ЈИ**

Земља публиковања:

**ЗП**

Уже географско подручје:

**УГП**

Година:

**ГО**

Издавач:

**ИЗ**

Место и адреса:

**МА**

Физички опис рада:

**ФО**

Научна област:

**НО**

Научна дисциплина:

**НД**

Предметна одредница/ кључне речи:

**ПО**

**УДК**

Чува се

**ЧУ**

Важна напомена:

**ВН**

Извод:

**ИЗ**

Датум прихватања теме од НН већа:

**ДП**

Датум одбране:

**ДО**

Чланови комисије:

**КО**

Монографска документација

Текстуални штампани материјал

Докторска дисертација

мр Мирко Г. Нагл

проф. др Душанка Ж. Обадовић

Примена научног метода у настави физике у друштвено – језичког смера гимназије Српски (ћирилица)

српски/енглески

Република Србија

Војводина

2011.

Ауторски репринт

Природно – математички факултет, Департман за физику, Трг Доситеја Обрадовића 4, Нови Сад  
7/153/159/69/17/0/3

Физика

Методика наставе физике

научни метод, настава физика, гравитација, постигнуће ученика, функционалност знања.

Библиотека департмана за физику, ПМФ–а у Новом Саду

Приказана је анализа резултата квантума, квалитета и ретенције знања при обради наставне теме *Гравитација* применом научног метода у настави физике за ученике гимназије друштвено – језичког смера. Статистички значајни резултати показују да примена научног метода резултује порастом квантума, квалитета и ретенције знања ученика у односу на знања ученика за које је настава изведена на традиционални начин.

27. новембар 2008.године

*Председник:* др Мирјана Сегединац,  
редовни професор, ПМФ, Нови Сад  
*ментор:* др Душанка Ж.Обадовић,  
редовни професор, ПМФ, Нови Сад  
*члан:* др Милан Пантић,  
редовни професор, ПМФ, Нови Сад  
*члан:* др Споменка Будић,  
доцент,Филозофски факултет, Нови Сад

UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCES, DEPARTMENT OF PHYSICS  
KEY WORDS DOCUMENTATION

*Accession number:*  
**ANO**

*Identification number:*  
**INO**

*Document type:*  
**DT**

*Type of record:*  
**TR**

*Content code:*  
**CC**

*Author:*  
**AU**

*Mentor/comentor:*  
**MN**

*Title:*  
**TI**

*Language of text:*  
**LT**

*Language of abstract:*  
**LA**

*Country of publication:*  
**CP**

*Locality of publication:*  
**LP**

*Publication year:*  
**PY**

*Publisher:*  
**PU**

*Publication place:*  
**PP**

*Physical description:*  
**PD**

*Scientific field:*  
**SF**

*Scientific discipline:*  
**SD**

*Subject/ Key words:*  
**SKW**

*UC*  
**UC**

*Holding data:*  
**HD**

*Note:*  
**N**

*Abstract:*  
**AB**

Monograph publication

Textual printed material

Ph.D. Thesis

M.Sc. Mirko G. Nagl

Ph.D. Dušanka Obadović, full professor

Application of scientific methods in teaching physics in languages and social sciences department of grammar schools Serbian (Cyrilic)

Serbian/English

Republic of Serbia

Vojvodina

2011.

Author's reprint

Faculty of Sciences, Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad 7/153/159/69/17/0/3

Physics

Didactics of physics

Scientific method, teaching physics, gravity, student achievement, applicability of knowledge

Library of Department of Physics, Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad none

The analysis of the results of quantum, quality and retention of knowledge when processing a specific topic using the *Gravity* of the scientific method in physics for high school students socio - linguistic directions. Statistically significant results show that the application of scientific method results in increased quantum, quality and retention of students knowledge in relation to students knowledge of the teaching is done in traditional ways.

27. november 2008.

*Accepted by the Scientific Board:*  
**ASB**

*Defended on:*  
**DE**

*PhD Thesis defend board:*  
**DB**

*President:* Ph.D. Mirjana Segedinac, full professor, Faculty of Sciences, Novi Sad

*Member:* Ph.D. Dušanka Obadović, full professor Faculty of Sciences, Novi Sad

*Member:* Ph.D. Milan Pantić, full professor Faculty of Sciences, Novi Sad

*Member:* Ph.D. Spomenka Budić, associate professor, Faculty of Philosophy, Novi Sad