



ДЕПАРТМАН ЗА ФИЗИКУ
ПРИРОДНО – МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ



ПРЕГЛЕД ПРИМЕРА ИЗ АСТРОНОМИЈЕ У
ГИМНАЗИЈСКИМ УЏБЕНИЦИМА ИЗ ФИЗИКЕ
СА ДОДАТНИМ ПРЕДЛОЗИМА

- мастер рад -

Ментор:
проф. др Ивана Богдановић

Кандидат:
Соња Смиљанић

Нови Сад, септембар 2020.

Овај рад посвећујем мојој мами...

Желим да се захвалим својој менторки др Ивани Богдановић за указано поверење, све корисне савете, предлоге и бескрајно разумевање не само током израде овог рада, већ и током читавих студија.

Захвалност дугујем и професорки др Тијани Продановић за то што је указаном помоћи и својим ентузијазмом учинила студије астрономије још лепшим него што сам могла очекивати...

Такође, захвална сам својој породици, а посебно мом тати, на стрпљењу и безусловној и безграничној подршци коју су ми пружили током студија.

Садржај

Садржај.....	4
1. Увод.....	5
1.1. Мотивација за анализу и основни циљеви.....	5
1.2. Структура мастер рада.....	6
2. Теоријске основе корелације наставних садржаја.....	7
2.1. Настава као сложен процес, значај корелација наставних садржаја.....	7
2.2. Врсте корелисања наставних садржаја.....	8
3. Корелација физике и астрономије у првом разреду природно-математичког смера.....	9
3.1. Годишњи наставни програм предмета физике у првом разреду природно-математичког смера.....	9
3.2. Динамика транслаторног кретања.....	9
3.3. Гравитација.....	10
3.4. Предлог додатне корелације наставних садржаја у првом разреду.....	20
4. Корелација физике и астрономије у другом разреду природно-математичког смера.....	25
4.1. Годишњи наставни програм предмета физике у другом разреду природно-математичког смера.....	25
4.2. Молекулско-кинетичка теорија гасова.....	25
4.3. Термодинамика.....	26
4.4. Стална електрична струја.....	26
4.4. Предлог додатне корелације наставних садржаја у другом разреду.....	27
5. Корелација физике и астрономије у трећем разреду природно-математичког смера.....	29
5.1. Годишњи наставни програм предмета физике у трећем разреду природно-математичког смера.....	29
5.2. Магнетно поље.....	29
5.3. Електромагнетни таласи. Таласна оптика.....	30
5.4. Геометријска оптика. Оптички инструменти.....	33
5.5. Оптички инструменти.....	35
5.6. Фотометрија.....	36
5.7. Предлог додатне корелације наставних садржаја у трећем разреду.....	38
6. Корелација физике и астрономије у четвртном разреду природно-математичког смера.....	43
6.1. Годишњи наставни програм предмета физике у четвртном разреду природно-математичког смера.....	43
6.2. Релативистичка физика.....	43
6.3. Квантна природа електромагнетног зрачења.....	43
6.4. Таласна својства честица.....	45
6.5. Физика атомског језгра.....	47
6.6. Предлог додатне корелације наставних садржаја у четвртном разреду.....	47
7. Закључак.....	51
8. Литература.....	52
9. Биографија кандидата.....	53

1. Увод

У данашњем друштву развој науке и технологије утиче на образовање, његову структуру и садржај, као и целокупну организацију наставе. Један вид модернизације наставе у основним и средњим школама јесте корелисање наставних садржаја. Корелација наставних садржаја ученицима пружа боље разумевање, решавање проблема, закључивање и савладавање градива. На тај начин ученици могу лакше да повезују градиво, а кроз наставу је обухваћена целокупна стварност.

Знања из различитих научних области се неретко преплићу и прожимају. Физика, као фундаментална наука, има примену у великом броју других наука. Она условљава развој других наука, али и сам развој других наука условљава развој физике. Исто тако, физика као наставни предмет је повезана са много других наставних предмета. Када се физика жели довести у везу са неким другим наставним предметом, прва асоцијација јесте математика јер је улога математике у физици кључна. Поред математике, корелација наставних садржаја постоји између физике и хемије, физике и биологије, физике и географије итд. У овом раду акценат ће бити на вези физике и астрономије.

1.1. Мотивација за анализу и основни циљеви

Главна мотивација за израду овог рада јесте чињеница да су астрономија и астрофизика као науке у школама заступљене веома мало у односу на физику, при чему је њихова међусобна повезаност изузетна. С обзиром да је астрономија наука која се бави изучавањем небеских објеката и појава у свемиру, она користи математику, физику и хемију да би објаснила њихово порекло и еволуцију.

Како је примена физике у астрономији веома широка, те се уз то физика изучава у свим разредима гимназије, то је била додатна мотивација да се уради прецизна анализа корелације астрономије и физике у уџбеницима, не би ли се оправдала почетна претпоставка о недовољној заступљености астрономије. Примарни циљ рада јесте управо да се јасно утврди где се јавља корелација физике и астрономије у самим уџбеницима. Секундарни циљ је маркирање области, лекција, закона и слично у којима има простора за корелисање ових наука. Астрономија постоји као засебан наставни предмет у четвртом разреду смера за обдарене ученике гимназије „Јован Јовановић Змај” у Новом Саду, Математичке гимназије у Београду, математичког смера Прве крагујевачке гимназије у Крагујевцу и математичког смера Гимназије у Краљеву. Ипак, у овом раду ће фокус бити на плану и програму природно-математичког смера гимназије у Србији. По том програму астрономија се званично обрађује у оквиру часова физике такође у четвртом разреду.

На крају, овај рад се не везује за уску тему из физике, већ обухвата широк спектар области које се обрађују у гимназији, те ће у том смислу аутору пружити и систематичну припрему за школско градиво којим ће се бавити у будућности.

1.2. Структура мастер рада

Мастер рад је конструисан на следећи начин. Први део рада обухвата теоријске основе корелација наставних садржаја, при чему су прво наведени општи задаци наставе, а кроз које се, затим, уводи значај корелисања у настави. Укључена је и конкретна подела корелација наставних садржаја. Први део је намењен увођењу у сам рад. Други и главни део рада је конципиран тако да је обрађен сваки разред посебно. Обрада подразумева детаљно урађену анализу постојећих корелисаних садржаја астрономије и физике у уџбеницима, уколико таквих има, и преглед потенцијалних додатних корелација које се већ не налазе у оквиру одговарајућег градива физике. Анализа обухвата издвојене конкретне садржаје из уџбеника, уз јасно назначене корелације са астрономијом.

Фокус је остао на градиву предвиђеном наставним програмом за физику за природно-математички смер гимназије.

2. Теоријске основе корелације наставних садржаја

2.1. Настава као сложен процес, значај корелација наставних садржаја

Основне факторе наставе чине ученик, наставник и наставни садржаји. Ови фактори чине тзв. дидактички¹ троугао, те уколико макар један члан недостаје, то више не представља наставу. Наставни садржаји, или наставно градиво, су научни садржаји прилагођени одговарајућој школи и разреду, а одређује их школски план и програм. Генерално, настава је веома сложен образовно-васпитни процес, а њени задаци зависе од циља школе у којој се настава одвија. Општи задаци наставе су материјални, функционални и васпитни, где материјални представљају стицање знања, те развијање навика и вештина, а функционални подразумевају психофизички развој деце.

Посматрајући један изолован наставни предмет може се рећи да је успешно конструисан уколико има одговарајући концепт, подлеже принципу научности и излаже га стручан наставни кадар који користи одговарајуће савремене наставне методе. Међутим, у реалности, ни један предмет не постоји изоловано већ је у систему целокупне наставе. Уосталом, међу самим природним наукама, поготово техничким, постоји нераскидива веза и границе међу њима нису јасно дефинисане. За пример се могу узети математика и физика, где је развој физике без математике био немогућ или физика и хемија, где се обе баве структуром атома са различитих аспеката. Нити једна наука не може да се развија самостално. Уз то, њиховим међусобним везама долази до настанка и развитка нових области, при чему проучавање метода једне науке може да се користи у другој, као што се и сазнања из једне науке могу користити у некој другој. Учење само по себи је интердисциплинарни проблем, јер се њиме баве многе науке са различитих становишта.

Многи појмови, величине и закони који се упознају у оквиру једне науке, имају општи карактер. На пример материја, кретање, супстанција, маса, сила, енергија, рад, температура, унутрашња енергија, поље и многи други, имају општенаучно значење, јер се користе при проучавању свих природних наука и шире. Ови фундаментални појмови формирају се као резултат узајамне повезаности читавог система наука. (Распоповић, 1992)

Према томе, неопходна је и корелација међу школским предметима, што подразумева синхронизацију наставних планова и програма, па и нивоа обраде градива, те критеријума оцењивања. Корелација као појам подразумева узајамност или повезивање садржаја у склопу једног предмета у школи, као и садржаја више различитих предмета. Дакле, да би такав сложен процес, као што је настава, функционисао, потребно је да рад појединца и колектива буду спрегнути, као и да постоји изражена веза наставних предмета и садржаја у оквиру једног предмета.

Због чега је то важно у контексту ученика и како то утиче на успешност конструисања предмета? Синхронизација обраде различитих наставних предмета и њихових садржаја ученицима обезбеђује дубљу обраду информација, већи степен разумевања градива, систематизацију и генерализацију стечених знања. У принципу, успостављање корелације

¹ Дидактика (од грч. διδάσκειν — подучавати) је грана педагогије која изучава образовање и наставу.

директно утиче на све типове знања. Главни типови знања су: чињенично – познавање чињеница, одговарајуће терминологије, основних појмова неопходних за познавање неке области; концептуално – повезивање тих основних појмова са ширим структурама, систематизација, уопштавање; процедурално – кориштење стечених вештина, примена знања, способност истраживања; метакогнитивно – свесност, разумевање сопствених когнитивних² процеса, самоспознаја. Међупредметним повезивањем, те поређењем наставних садржаја, свестраним посматрањем, анализама и самим тим доношењем комплетнијих закључака усвајање знања постаје дугорочно. Највиши ниво поседовања знања лежи управо у интердисциплинарности, односно могућности повезивања, и на крају примене. Повезаност предмета омогућава постављање шире основе за усвајање наредних ужих и сложенијих научних појмова. Примера ради, познавање тригонометријских функција (математика) омогућава даљу обраду низа области у физици, као што су првенствено осцилације и таласи, па затим и даље од класичне физике: квантна механика, атомска физика, нуклеарна физика и тако даље. Поред дубљег усвајања знања, корелисање наставних предмета и садржаја унутар њих позитивно утиче на развој мишљења код ученика, где оно постаје шире, отвореније и далекосежније, што даље омогућава лакше решавање сложених проблема.

2.2. Врсте корелисања наставних садржаја

Како се корелисање наставних садржаја остварује међу дисциплинама, али и међу наставним садржајима једне дисциплине, разграничене су три врсте корелација.

Дијагонална корелација је врста корелисања која је до сада у раду називана међупредметном. Дакле, представља везу градива између два различита наставна предмета. Главну структуру повезивања градива између два предмета остварују првенствено план и програм, те одговарајући уџбеници. Међутим, могуће је уочити и искористити повезаност два предмета и само уколико постоји добра комуникација међу наставницима. Корелација астрономије и физике, што је тема овог рада, јасно, спада у дијагоналну корелацију.

Хоризонтална корелација подразумева повезивање градива једног наставног предмета обрађиваног у једном одређеном разреду. У том случају наставник није ограничен школским програмом, већ има пуну слободу, и у неку руку обавезу, да сам формира корелације наставних садржаја током школске године.

Вертикална корелација подразумева повезивање градива једног наставног предмета, али обрађиваног у различитим разредима. Као и приликом хоризонталне корелације и овде наставник повезује градиво из претходних разреда, те наводи ученике да то и сами чине.

2 Когниција је способност обраде података, односно усвајање знања, на основу искуства, то јест путем перцепције.

3. Корелација физике и астрономије у првом разреду природно-математичког смера

3.1. Годишњи наставни програм предмета физике у првом разреду природно-математичког смера

У прва три разреда се ради махом класична физика, тако да је у први разред смештено градиво из, углавном, класичне механике. Ученици првог разреда часове физике имају два пута недељно, а распоред по областима кроз целу годину је следећи:

1. Увод у физику
2. Кретање
3. Динамика транслаторног кретања
4. Динамика ротационог кретања крутог тела
5. Равнотежа тела
6. Гравитација
7. Закони одржања

3.2. Динамика транслаторног кретања³

У склопу наставне области динамике транслаторног кретања предвиђене су следеће наставне јединице: *Сила, Маса, Импулс, Њутнови закони механике, Трење, Центрипетална сила и Инерцијалне силе*. Наставна јединица чији је садржај корелисан са астрономијом је Центрипетална сила.

3.2.1. Центрипетална сила

С обзиром да је свако криволинијско кретање убрзано, то значи да ако се неко тело равномерно креће по кружности, оно има убрзање – то је нормално или центрипетално убрзање:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{r}$$

v – брзина тела,
 r – полупречник кривине

Према Другом Њутновом закону, постоји сила која је одговорна за постојање таквог убрзања, а она је једнака производу масе и убрзања тела:

$$\vec{F}_{cp} = m \cdot \vec{a}_{cp}$$

m – маса тела

3 Приказане лекције прате гимназијске уџбенике из физике издавачке куће *Круг*.

Таква сила зове се центрипетална сила. Правац центрипеталног убрзања се поклапа са правцем полупречника, а усмерено је ка центру кружне путање, а центрипетална сила има исти правац и смер као центрипетално убрзање. Интензитет центрипеталне силе:

$$F_{cp} = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad \text{односно} \quad F_{cp} = m \cdot r \cdot \omega^2$$

m маса тела,
r полупречник кривине путање,
v брзина,
ω угаона брзина кретања

Центрипетална сила није одређена врста силе, већ збир свих сила које делују на тело у правцу полупречника према центру кружне путање.

Корелација наведене наставне јединице са концептима из астрономије:

Пример дат у уџбенику:

Центрипетална сила која омогућава Месецу да кружи око Земље је гравитациона сила.

Питање из уџбеника:

Сателит се креће око Земље по кружној путањи. Да ли на сателит делује једна сила (гравитациона) или две (гравитациона и центрипетална)?

Гравитациона сила се обрађује као засебна област, али је овде послужила као добар пример центрипеталне силе у небеској механици. Уз пример са Месецом дат је и пример електричне силе под чијим дејством електрони круже око језгра. Под претпоставком да ученици првог разреда познају поједностављену илустрацију кретања електрона по орбитама око језгра, могу то кретање да повежу са кретањем Месеца око Земље, сателита око матичних планета, па и планета око своје матичне звезде, те да уоче да је и гравитациона сила центрипетална.

3.3. Гравитација

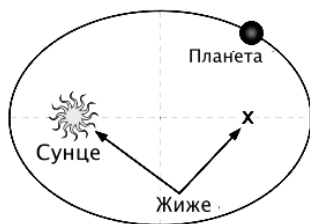
Сва тела која имају масу интерагују гравитационо, при чему интензитет гравитационе силе није занемарљив тек код небеских објеката. У том смислу гравитација се данас изучава кроз астрофизичарску призму, али како је и Земља небески објекат, те постоје директне последице гравитације овде, на њеној површини, гравитација као наставна област се обрађује на предмету физике. Важно је нагласити да се у школи ради Њутнова гравитација, а не Ајнштајнова општа теорија релативности⁴. У склопу ове области предвиђене су следеће наставне јединице: *Кеплерови закони*, *Њутнов закон гравитације*, *Гравитационо поље*, *Земљина тежа*, *Убрзање слободног пада*, *Тежина тела*. Одавде се већ може добити идеја да се углавном не обрађује небеска механика, већ управо последице гравитације на Земљи.

⁴ Гравитацију не третира као силу већ као последицу закривљености простор-времена око масивних објеката.

3.3.1. Кеплерови закони

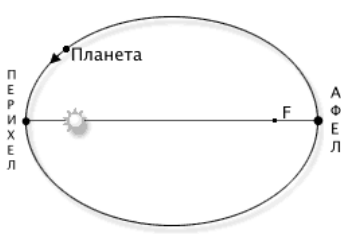
Први Кеплеров закон:

Планете Сунчевог система се крећу око Сунца по елиптичним путањама, у чијој се заједничкој жижи налази центар Сунца (слика бр. 1).



Слика бр. 1 – илустрација елиптичне путање планета

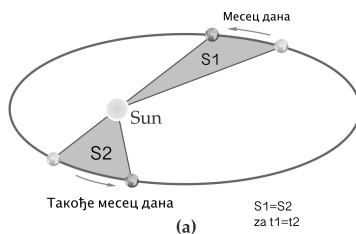
Положај планете најближи Сунцу и положај најудаљенији Сунцу такође леже на правцу жижа (односно велике полуосе). Ови положаји планета носе називе перихел и афел, респективно (слика бр. 2).



Слика бр. 2 – перихел и афел планете

Други Кеплеров закон:

Свака планета се креће тако да дуж која спаја планету са Сунцем за исто време пребрише исту површину (слика бр. 3).



Слика бр. 3 – дуж планета-Сунце за исто време пребрише исту површину

Површина коју дуж Сунце-планета пребрише у јединици времена је секторска брзина

s :

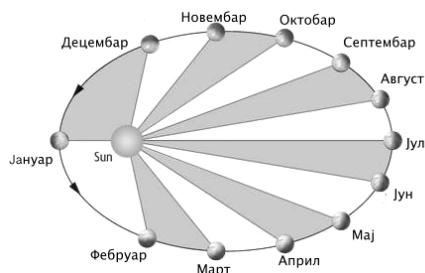
$$s = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Секторска брзина планете је константна. То је само друга формулација II Кеплеровог закона.

$$s = \text{const} \quad \text{односно} \quad \frac{\Delta S}{\Delta t} = \text{const}$$

s – секторска брзина
 ΔS – површина коју пребрише
 дуж планета-Сунце
 Δt – временски интервал у ком
 пребрише површину

Да би планета за исто време прешла већи пут (а види се са слике да, како би била пребрисана једнака површина, она за исто време прелази различите путеве), она мора да се креће брже. Обрнуто, да би за исто време прешла мањи пут, мора да се креће спорије. То значи да се планета креће најбрже у перихелу, а најспорије у афелу.



Слика бр. 4 – положаји Земље сваког месеца и површине које пребрише сваког месеца

Трећи Кеплеров закон:

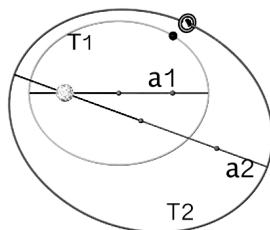
Однос квадрата периода обиласка планете око Сунца и трећег степена велике полуосе путање за све планете је једнак.

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{const}$$

T – период револуције било које
 планете око Сунца
 a – велика полуоса њене
 елиптичне путање

Другим речима, планете које су даље од Сунца имају дуже периоде обиласка. Јер, за било које две планете важи:

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \text{const}$$



T_1 – период револуције једне
 планете око Сунца
 a_1 – велика полуоса њене
 елиптичне путање

T_2 – период револуције друге
 планете око Сунца
 a_2 – велика полуоса њене
 елиптичне путање

Слика бр. 5 – илустрација великих полуоса две планете

3.3.2. Њутнов закон гравитације

Гравитациона сила делује и између тела која нису у контакту, чак и када су на великом растојању: она има неограничено дејство у простору, али њен интензитет опада са квадратом растојања. Гравитациона сила је привлачна и делује на сва тела која имају масу. Карактеристике те силе описује Њутнов закон гравитације:

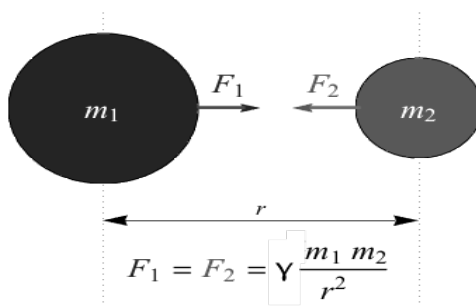
$$F = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

F – гравитациона сила између две материјалне тачке
 $m_{1/2}$ – маса материјалних тачака које међусобно гравитационо делују
 r – растојање на ком се те материјалне тачке налазе
 γ – гравитациона константа:
 $\gamma = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

Гравитациона сила којом интерагују две материјалне тачке директно је сразмерна њиховим масама и обрнуто сразмерна квадрату међусобног растојања.

Овај закон важи за материјалне тачке и хомогена сферна тела која интерагују. За неправилна тела: неко тело се састоји од n материјалних тачака, а неко друго од m материјалних тачака. Нека се та два тела налазе на коначном растојању једно од другог, те интерагују гравитационо. Свака материјална тачка једног тела делује горе формулисаном гравитационом силом на сваку материјалну тачку другог тела, тако да би се укупна гравитациона сила између та два тела добила сумирањем свих гравитационих силица између свих материјалних тачака.

Када две материјалне тачке (или хомогене кугле) интерагују гравитационо, то значи да једна материјална тачка делује на другу одређеном гравитационом силом, а да друга материјална тачка делује на прву гравитационом силом истог интензитета и правца, супротног смера (слика бр.6).



Слика бр. 6 – примена III Њутновог закона на гравитациону силу

С обзиром да је вредност гравитационе константе изузетно мала ($\gamma = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$), то значи да је вредност гравитационе силе изузетно мала између свих тела која немају масу реда величине масе већих небеских објеката. Гравитациона сила јесте најслабија од четири фундаменталне силе.

Корелација наведене две наставне јединице са концептима из астрономије:

Кеплерови закони, као што је у уџбенику и наведено, описују кретање планета у Сунчевом систему, те они спадају у небеску механику. Посматра се како се тела, под дејством гравитационе силе, крећу у свемиру. Кеплеровим законима се уводи у област гравитације с обзиром да су хронолошки формулисани пре закона о сили гравитације⁵. Може се рећи да су то „чисто астрономски” закони. Након Кеплерових закона уводи се општи случај, најједноставнија апроксимација закона гравитације, а то је за два тачкаста тела, па затим за два хомогена сферна тела. У теоријском делу нема конкретне корелације са астрономијом, закон је формулисан математички. Међутим, корелација се види у примерима који су наведени након саме лекције, те у одговарајућој збирци задатака. У уџбенику је наведен један рачунски пример, а у одговарајућој збирци задатака је под насловом *4.1. Кеплерови закони и Њутнов закон гравитације* наведено седамнаест рачунских задатака. Свих укупно осамнаест задатака се тичу кретања тела Сунчевог система. То значи да су сви рачунски примери дати из астрономије. Како су задаци међусобно веома слични, овде ће бити наведено само неколико њих. У великом проценту задатака се може приметити и хоризонтална корелација са центрипеталном силом.

Рачунски пример из уџбеника - средњи ниво:

Сателит се обрће око Месеца по кружној путањи удаљеној 200 km од Месечеве површине. Одредити период обртања и линијску брзину сателита. Маса Месеца је $7,23 \cdot 10^{22}$ kg, док је његов полупречник 1700 km.

Решење:

$$h = 200 \text{ km}$$

$$M = 7,3 \cdot 10^{22} \text{ kg}$$

$$R_M = 1700 \text{ km}$$

$$v, T = ?$$

Сателит се креће по кружној путањи под дејством гравитационе силе, што значи да му гравитациона сила даје центрипетално убрзање (гравитациона сила је у овом случају центрипетална).

Поставља се једначина кретања на следећи начин:

$$F_g = m \cdot a_{cp}$$

$$\gamma \frac{M \cdot m}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

где је М маса Месеца, m маса сателита, а r растојање центара два тела која интерагују, а важи:

$$r = R + h$$

5 Исаак Њутн је показао да ако се привлачна сила понаша по закону реципрочног квадрата, планете се морају тачно кретати у сагласности са Кеплеровим законима.

Математичким сређивањем израза лако се добије за брзину сателита:

$$v = \sqrt{\left(\frac{\gamma \cdot M}{r}\right)}$$

Уврштавањем познатих вредности израчуна се вредност брзине сателита:

$$v = 1600 \frac{m}{s}$$

Период обртања сателита је обрнуто сразмеран са угаоном брзином на следећи начин:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2r\pi}{v}$$

Уврштавањем познатих вредности израчуна се вредност периода обртања сателита:

$$T = 2h$$

Задатак бр. 282. - основни ниво

Колико пута је период ротације Земљиног сателита на висини 3200 km већи од периода ротације сателита који кружи у близини Земље? ($R_z = 6400 \text{ km}$)

Решење:

$$h_1 = 3200 \text{ km}$$

$$h_2 \rightarrow 0$$

$$R_z = 6400 \text{ km}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = ?$$

Растојање од центара два тела која интерагују је као у претходном задатку:

$$r = R_z + h$$

Према томе, важи:

$$r_1 = R_z + h_1; r_2 = R_z$$

Закон који повезује периоде обртања тела са полупречницима њихових путања је Трећи Кеплеров закон:

$$\frac{T_1^2}{r_1^3} = \frac{T_2^2}{r_2^3}$$

Математичким сређивањем израза лако се добије однос периода обртања тела:

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\left(\frac{r_1^3}{r_2^3}\right)}$$

Уврштавањем познатих вредности израчуна се вредност тог односа:

$$\frac{T_1}{T_2} = 1,84$$

Дакле, период обртања Земљиног сателита који орбитира на великој висини од површине је скоро два пута већи од периода обртања сателита који орбитира близу површине.

Задатак бр. 287.б) - основни ниво

Полупречник Марса је два пута мањи од полупречника Земље, док је маса Марса 10 пута мања од масе Земље. Колики је однос сила којима Земља и Марс привлаче тела истих маса на површинама тих планета?

Решење:

$$R_z = 2 R_M$$

$$M_z = 10 M_M$$

$$\frac{F_g^Z}{F_g^M} = ?$$

$$F_g^Z = \gamma \frac{M_z \cdot m}{R_z^2} = \gamma \frac{10 M_M \cdot m}{(2 R_M)^2}$$

$$F_g^Z = \gamma \frac{M_M \cdot m}{R_M^2}$$

$$\frac{F_g^Z}{F_g^M} = \frac{\gamma \frac{10 M_M \cdot m}{4 R_M^2}}{\gamma \frac{M_M \cdot m}{R_M^2}}$$

Математичким сређивањем израза, добије се тражени однос:

$$\frac{F_g^Z}{F_g^M} = \frac{10}{4} = \frac{5}{2}$$

3.3.3. Гравитационо поље

Међусобно деловање (интеракција) тела која нису у контакту се остварује преко одговарајућег поља. Гравитационо поље је преносилац гравитационе интеракције. Оно постоји око сваког тела, односно свака маса је извор гравитационог поља, што значи да свако тело интерагује гравитационо са другим телима. Да би се гравитационо поље квантитативно описало, уводи се нова величина, а то је јачина гравитационог поља. Јачина гравитационог поља је векторска величина.

$$\vec{G} = \frac{\vec{F}}{m_0}$$

*G – јачина гравитационог поља
F – гравитациона сила која делује
на пробно тело јединичне масе
m₀ – маса пробног тела*

$$[G] = 1 \frac{N}{kg}$$

Јачина гравитационог поља је бројно једнака сили која би у датој тачки поља деловала на неко пробно тело. Нека је извор гравитационог поља тело масе *M* занемарљивих димензија. Пробно тело масе *m₀* које је унето у то поље се налази на растојању *r* од извора поља. Сила која делује на пробно тело у тој тачки је:

$$F = \gamma \frac{M \cdot m_0}{r^2}$$

Јачина поља у тој тачки је:

$$G = \frac{F}{m_0}$$

*G – јачина гравитационог поља
F – гравитациона сила која делује
на пробно тело јединичне масе
M – маса извора грав. поља
m₀ – маса пробног тела*

$$G = \gamma \frac{M}{r^2}$$

Дакле, јачина поља зависи од масе тела које ствара то поље и положаја посматране тачке у пољу (растојања посматране тачке од извора). Не зависи од масе пробног тела.

Корелација наведене наставне јединице са концептима из астрономије:

Све фундаменталне интеракције (електромагнетна, јака и слаба нуклеарна и гравитациона) се остварују преко одговарајућег поља. Међусобна интеракција тела која нису у контакту се остварује управо преко одговарајућег поља. Како се овде ради о гравитационој интеракцији, то значи да сви небески објекти великих маса формирају око себе гравитационо поље. Због тога сви рачунски примери како у уџбенику, тако и у збирци подразумевају тражење јачине поља неког од објеката Сунчевог система у некој одређеној тачки.

Задатак бр. 307. - напредни ниво

Космички брод се креће од Земље према Месецу. На ком растојању од центра Земље на брод не делује⁶ гравитациона сила? Маса Земље већа је 81 пута од масе Месеца, а средње растојање између центара Земље и Месеца је $3,8 \cdot 10^8 \text{ m}$.

Решење:

$$M_Z = 81 M_M$$

$$R = 3,8 \cdot 10^8 \text{ m}$$

$$x(G_{uk}=0)=?$$

С обзиром да се гравитациона интеракција преноси гравитационим пољем, тамо где је резултујућа јачина поља једнака нули и интензитет резултујуће гравитационе силе ће бити једнак нули. Стога је потребно пронаћи, из услова задатка, у којој тачки је резултујућа јачина поља једнака нули.

$$\vec{G}_{uk} = \vec{G}_Z + \vec{G}_M$$

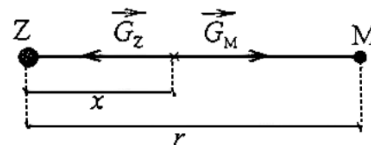
$$G_{uk} = G_Z - G_M \text{ (вектори су супротно усмерени, види слику)}$$

$$\text{за } G_{uk}=0 :$$

$$G_Z = G_M ; \quad r_{GZ} = x ; \quad r_{GM} = r - x \text{ (види слику)}$$

$$G_Z = \gamma \frac{M_Z}{x^2} = \gamma \frac{81 M_M}{x^2} ; \quad G_M = \gamma \frac{M_M}{(r-x)^2}$$

$$\gamma \frac{81 M_M}{x^2} = \gamma \frac{M_M}{(r-x)^2}$$



скица уз решење задатка

Математичким сређивањем израза лако се добије тражено растојање:

$$x = \frac{9}{10} r = 3,42 \cdot 10^8 \text{ m}$$

6 Примедба: коректан одговор би био да технички не постоји тачка између Земље и Месеца у којој не делује гравитациона сила, с обзиром да је Месец у Земљиним гравитационим пољима и обрнуто. У том контексту би било адекватно преформулисати текст задатка на тражење растојања у ком је резултанта гравитационих сила једнака нули.

3.3.4. Земљина тежа и убрзање слободног пада

Гравитациона сила којом Земља делује на неко тело које се налази у њеном гравитационом пољу је сила Земљине теже (или сила теже):

$$F = \gamma \frac{M \cdot m}{(R+h)^2}$$

*M – маса Земље
m – маса тела које се налази у њеном гравитационом пољу
R – полупречник Земље
h – висина на ком се налази тело
R+h – међусобно растојање центра Земље од тела (јер је то потреба растојање које фигурише у Њутновом закону)*

Дакле, сила теже није ништа друго него гравитациона сила којом Земља делује на сва тела која се на њој налазе.

за $h \ll R$:

$$F = \gamma \frac{M \cdot m}{R^2}$$

Убрзање тела које слободно пада, под дејством силе теже и једнако је $9,81 m/s^2$, назива се гравитационо убрзање, а обележава се латиничним словом g .

$$g = \gamma \frac{M}{R^2}$$

*M – маса Земље
R – полупречник Земље*

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

3.3.5. Тежина тела и бестежинско стање

Сила којом тело делује на препреку која спречава његов слободан пад назива се тежина тела. Тежина тела је сила којом тело, зато што га привлачи Земља, делује на хоризонталну подлогу на којој се налази (или ако је окачено на нешто, онда сила којом делује на опругу, канап, ослонац итд. о који је окачено). Обележава се латиничним словом Q . Тежина тела није иста сила као сила теже. Силом теже Земља делује на тело, а тежина тела је сила којом тело делује на Земљу (или подлогу или ослонац). Некада се та два вектора поклопе са једином разликом у напдној тачки, односно у томе што ове две силе не делују на исто тело, али нису нужно исти. Тежина тела је једнака сили теже по интензитету, правцу и смеру само ако подлога (или тачка вешања) у односу на земљу мирује или се креће равномерно праволинијски.

У случају када ослонац/препрека/опруга на којој је тело слободно пада, тело нема тежину. Такође, свако тело које слободно пада нема тежину. Дакле, сва тела која се у односу на земљу крећу гравитационим убрзањем немају тежину. Стање слободног пада је бестежинско стање.

Корелација наведених наставних јединица са концептима из астрономије:

Као и у претходним наставним јединицама (осим Кеплерових закона) и у овој се корелација види у рачунским задацима. Дакле, у теорији у уџбенику није направљена корелација са астрономијом, говори се само о тежини тела на Земљи. Такође, у збирци задатака од укупно девет задатака један задатак је везан за тежину тела у свемиру.

3.4. Предлог додатне корелације наставних садржаја у првом разреду

У поглављу 3.1. наведене су области које су обухваћене програмом за први разред гимназије. Од укупно седам области, корелација са астрономијом се јавља у две: у *Динамици транслаторног кретања* и *Гравитацији*. Како се у првом разреду ради класична механика, потпуно је разумљиво да су то области које „покривају” небеску механику, тако да ни не постоји потреба за корелисањем са астрономијом ван наведених области. Међутим, постоје неке важне интересантне свакодневне појаве које су директна последица концепата из физике који се обрађују, а да нису дате ни у уџбенику ни у збирци, те ће оне бити наведене и образложене у тексту даље.

Пре свега, важно је ученицима јасно разграничити следеће појмове, с обзиром да се у свакодневном језику често мешају:

Сила гравитације: сила којом међусобно делују било која два тела која имају масу. F_g

Сила Земљине теже: гравитациона сила којом Земља делује на тело које се налази у њеном гравитационом пољу; та сила је узрок слободног пада тела и њен интензитет је једнак производу масе тела и гравитационог убрзања. $F = m \cdot g$

Тежина тела: резултујућа сила којом тело делује на подлогу на којој се налази или на канап/ослонац/опругу на које је окачено, јер га гравитационом силом привлачи Земља. Q

Нормална сила реакције подлоге: сила којом подлога делује на тело под правим углом у односу на подлогу, као реакција на деловање тела на подлогу неком силом Q . N

3.4.1. Гравитација у отвореном свемиру

Честа заблуда је да у отвореном свемиру нема гравитације, те да гравитација постоји само на планетама. Гравитационо поље је свуда око нас у простору. Гравитациона сила нема ограничен домет дејства. Значи, делује у бесконачност. Но, њен интензитет опада са квадратом растојања. То значи да постоји неко растојање од Земље на ком се више не би осетио утицај Земљине гравитације, јер би интензитет гравитационе силе био занемарљиво мали. Ипак, и тада би се осетило гравитационо поље Сунца, односно дејство гравитационе силе Сунца. Јер, чак и кад се неко тело потпуно „отргнуло” гравитационом дејству Земље, оно би и даље наставило да се креће око Сунца. Не би „отплутало” ван Сунчевог система. Ако би оно ипак успело да побегне из Сунчевог система, и даље би било под утицајем гравитационог поља наше галаксије, и тако даље. Дакле, гравитација је свуда око нас. Још једна честа заблуда у вези са дометом гравитационе силе јесте да астронаути у *Интернационалној свемирској станици* не ходају по поду летелице већ лебде јер у станици нема гравитације. Ипак, разлог томе што астронаути лебде није зато што тамо нема

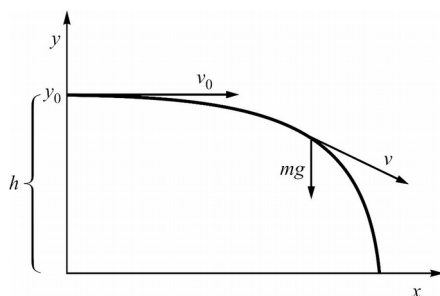
гравитације. Итекако је има; *ИСС* орбитира око Земље под дејством њене гравитације. Када у *ИСС*-у не би било Земљине гравитације, она не би орбитирала око Земље. Прави разлог лебдења астронаута јесте бестежинско стање, а о томе је детаљније написано у једном од наредних објашњења.

3.4.2. Кретање астронаута на Месецу

Астронаути лакше „скакућу” по површини Месеца из разлога што је маса Месеца мања него маса Земље, те је гравитациона сила (и гравитационо поље), или другим речима сила теже Месеца, слабија. Астронаут користи исту силу да би скочио (јер поседује своје мишиће и скелет који раде једнако како раде на Земљи), а мања сила се опире том скоку. Зато ће скочити више. Или пак ако жели да скочи на исту висину као на Земљи, не мора да користи исту количину енергије као што би на Земљи. Такође, поставља се питање да ли човек може бити лакши на некој другој планети него на Земљи. Наиме, маса неког тела је константна величина. Она се не мења од услова под којима се то тело креће. Међутим, тежина тела није нешто што је константно, зато што је тежина тела пре свега сила којом маса тог тела делује. Како је гравитационо убрзање различитих објеката у свемиру различито, због различите масе коју поседују ти објекти, то значи да ће и тежина једног тела бити различита на тим објектима. Тежина нечијег тела зависи од тога да ли се оно налази на земљи, да ли је у лифту, да ли тај лифт тек почиње да силази или тек почиње да се пење, да ли се тај лифт креће равномерно, и на крају зависи од тога да ли се налази на Земљи или Марсу, или пак некој другој планети.

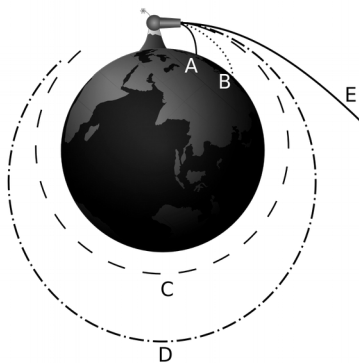
3.4.3. Због чега на земљу пада све сем Месеца и вештачких сателита?

Пре свега, треба имати на уму да ни један сателит не стоји мирно у свемиру. Сателити (укључујући Месец) орбитирају око Земље. Они имају неку брзину v којом се крећу по кружној или елиптичној путањи око Земље. Разматрањем кретања баченог камена (хоризонтални хитац у физици) може се доћи до закључка како сателити орбитирају. Ако се камену саопшти нека брзина v_0 у хоризонталном правцу он ће с временом пасти, јер га Земља вуче вертикално на доле. Пошто је камену саопштена брзина у хоризонталном правцу, а сила теже делује на њега у вертикалном, то значи да је његова путања суперпозиција равномерно праволинијског кретања у хоризонталном правцу и убрзаног кретања (слободног пада) у вертикалном правцу. Другим речима, сила теже закривљује путању тела својим привлачењем (*слика бр. 7*), те да нема гравитације, оно би наставило да се креће праволинијски по инерцији у истом правцу.



Слика бр. 7 – хоризонтални хитац

Што је већа брзина саопштена камену, то је домет камена већи (*A, B на слици бр. 8*). Ако би камен био бачен брзином од 7.92 km/s^7 , он више никада не би пао на земљу (*C на слици бр. 8*), јер би му земља стално измицала у његовој закривљеној путањи. Наиме, камен би пратио закривљеност Земље, али не би никада досегао њено тло, захваљујући својој брзини. Та закривљена путања постала би кружница око Земље и управо то је орбитирање, стање константног слободног пада. „Константно падање а да никада не падне.” Овакво објашњење је поједностављено, не узимајући у обзир отпор ваздуха и рељеф Земље. Сателити који орбитирају ближе Земљи имају већу брзину, којом се супротстављају јачој сили теже, него сателити који орбитирају даље.



Слика бр. 8 – различите путање у зависности од почетне брзине баченог тела

Дакле, одговор на питање јесте да: сви сателити падају ка Земљи, само што због њихове брзине кретања никада на њу не падну, већ је стално „промашују”, те остају заувек у њеној орбити. С обзиром да су сателити у стању слободног пада, то значи да је између осталих и *Интернационална свемирска станица* у стању слободног пада, што даље значи да астронаути који се налазе у *ИСС*-у такође све време слободно падају; убрзање сателита је g . Управо то је разлог зашто астронаути лебде. Због гравитационог дејства сателити круже око Земље, дакле гравитација постоји и у околини сателита.

3.4.4. Плима и осека

Плима и осека су појаве периодичног подизања и спуштања водене масе из океана. До плиме и осеке долази услед дејства гравитације која потиче од Сунца и од Месеца. Осим тога, на периодичност плиме утиче и Земљина ротација. Ова дејства су у реалности суперпонирана и периодично се мењају у зависности од међусобних положаја три наведена тела, што плимске силе чини веома сложеним концептом. Ради једноставности овде ће бити дато само објашњење гравитационог утицаја Месеца на воду океана, с обзиром да је оно, због своје близине Земљи, око 2,2 пута јаче од Сунчевог гравитационог дејства.

Пошто пречник Земље није занемарљиво мали у односу на растојање Месеца и Земље, сила привлачења Месеца је у различитим тачкама Земље различита. Може се узети апроксимација таква да је планета хомогена и сферно симетрична, а у целости равномерно

7 Прва космичка брзина – брзина коју је потребно саопштити телу да почне да орбитира око Земље.

прекривена слојем воде, те посматрати дејство Месечеве гравитације у карактеристичним тачкама (слика бр. 9).

У тачки А, која је најдаља Месецу гравитационо убрзање које потиче од силе теже Месеца је једнако:

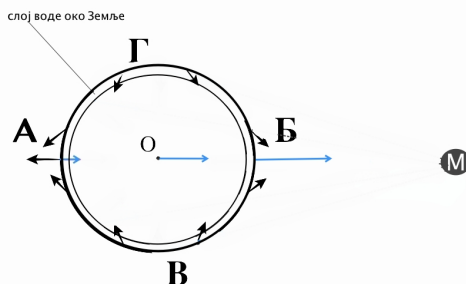
$$g_A^M = \gamma \frac{M_M}{(r+R)^2} \text{ док је у тачки Б оно: } g_B^M = \gamma \frac{M_M}{(r-R)^2}$$

Гравитационо убрзање центра Земље које потиче од силе теже Месеца је:

$$g_o^M = \gamma \frac{M_M}{r^2}$$

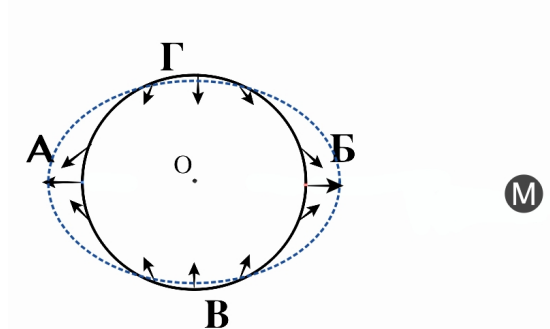
где је M_M маса Месеца, r растојање од Месеца до центра Земље, а R полупречник Земље.

Види се да је $g_A < g_o < g_B$, односно у контексту сила теже Месеца $F_g^A < F_g^O < F_g^B$. На слици су плавим стрелицама обележена наведена гравитациона убрзања. То значи да ће страна ближа Месецу бити више привучена, центар Земље нешто мање и супротна страна најмање. Ова разлика у гравитационим убрзањима различитих тачака Земље се, јасно, јавља кроз целу Земљу, с тим што су овде ради лакше анализе наведене само три карактеристичне тачке. Постојање градијента у гравитационом пољу Месеца је одговорно за накупљање воде и у тачки Б и у тачки А. Црним стрелицама је на слици обележено кретање воде.



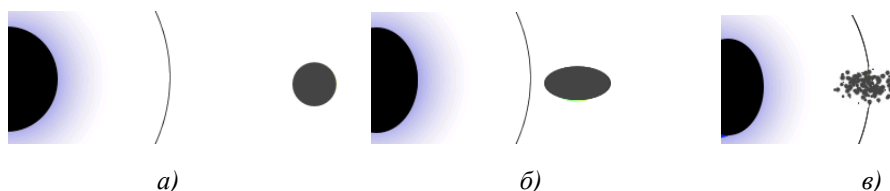
Слика бр. 9 – шематски приказ гравитационог деловања Месеца

Дакле, слој воде заузима облик елипсоида (слика бр. 10) који је развучен у правцу Месеца, што директно значи да у тачкама А и Б истовремено настаје плима, а у тачкама Г и В настаје осека. Плима у тачки Б је израженија него у тачки А. Плима се углавном јавља на отприлике 12,5 сати свакога дана, што је период за који се Земља окрене за 180 степени у односу на Месец.



Слика бр. 10 – шематски приказ истезања слоја воде у правцу Земља-Месец

Појава овакве деформације није везана само за систем Земља-Месец. Наиме, код било ког система два тела која орбитирају око заједничког центра масе може доћи до изражене појаве градијента гравитационог поља неког од тела, или другим речима до изражених плимских сила. Уколико су објекти довољно удаљени, мање тело је практично сферно под дејством сопствене гравитације (слика 11.а). Ако би се приближило већем телу, бива деформисано услед дејства плимских сила (слика 11.б). Уколико би се приближило већем телу до Рошеове границе⁸, плимне силе надвладају сопствену гравитацију малог тела која га чини целим, и тело се распада (слика 11.в).



Слика бр. 11 – Рошеова граница

⁸ Рошеова граница је удаљеност од центра неког објекта унутар ког ће се друго тело распасти, јер је гравитација првог тела јача од сопствене гравитације другог тела, те она није довољна да га одржи целим.

4. Корелација физике и астрономије у другом разреду природно-математичког смера

4.1. Годишњи наставни програм предмета физике у другом разреду природно-математичког смера

Ученици другог разреда природно-математичког смера часове физике имају три пута недељно, а области које су предвиђене за овај разред су:

1. Молекулско-кинетичка теорија гасова
2. Термодинамика
3. Основи динамике флуида
4. Молекулске силе и агрегатна стања
5. Електростатика
6. Стална електрична струја

Корелација садржаја са астрономијом у уџбенику за други разред је изостала. Из тог разлога ће у овом поглављу бити само наведене области у којима има простора за корелацију садржаја, а затим и предлози за њих.

4.2. Молекулско-кинетичка теорија гасова

У склопу наставне области молекулско-кинетичке теорије гасова предвиђене су следеће наставне јединице: *Атоми и молекули, Кретање молекула, Расподела молекула по брзинама, Средњи слободни пут молекула гаса, Дифузија, Температура, Једначина стања идеалног гаса, Термодинамички систем, Притисак идеалног гаса, Изопроцеси и гасни закони, Једначина гасног стања*. Наставни садржај који се може корелисати са астрономијом је идеални гас.

4.2.1. Једначина стања идеалног гаса. Термодинамички систем

Термодинамички систем је систем састављен од великог броја честица. На пример, гас у затвореном суду представља неки термодинамички систем. Како је густина гасова много мања од густине течности и чврстих тела, може се закључити да су у гасу димензије молекула много мање од њихових међусобних растојања. За описивање особина гасова у физици користи се поједностављен модел гаса – тзв. идеални гас. Код идеалног гаса између молекула нема никаквих интеракција које укључују размену енергије, за разлику од реалног гаса, где између молекула постоји слаба интеракција. Једначина која повезује три основна параметра стања гаса (притисак, запремина, температура) је једначина стања гаса и у општем случају има следећи облик:

$$pV = NkT$$

p – притисак;
 V – запремина
 N – број молекула
 k – Болцманова константа
 T – температура

4.3. Термодинамика

У склопу наставне области термодинамике предвиђене су следеће наставне јединице: *Унутрашња енергија, Рад при ширењу и сабијању гаса, Количина топлоте, Први принцип термодинамике, Топлотни капацитети, Адијабатски процес, Други принцип термодинамике, Топлотне машине и Карноов циклус*. Наставне јединице чији садржај се може корелисати са астрономијом су *Унутрашња енергија и Количина топлоте*.

4.3.1. Унутрашња енергија

Као што је већ речено, неки термодинамички систем је састављен од великог броја честица које се крећу и међусобно интерагују, што значи да имају и одговарајуће енергије. Укупна унутрашња енергија неког система је једнака збиру кинетичких и потенцијалних енергија свих честица које чине тај систем. С обзиром да кинетичке енергије молекула зависе од температуре, јасно је да унутрашња енергија тела већа ако је већа температура. Загревањем се повећава унутрашња енергија, хлађењем се смањује. Како је идеални гас систем неинтерагујућих честица, те им је потенцијална енергија једнака нули, унутрашња енергија идеалног гаса је једнака укупној кинетичкој енергији свих атома које чине тај идеални гас. Ако су притисак, температура и концентрација молекула гаса исти у сваком делићу запремине, гас је у равнотежном стању.

4.3.2. Топлотна размена

Процес у ком се мења унутрашња енергија тела без вршења рада је топлотна размена. До размене топлоте може доћи уколико су два тела (система) различитих температура у непосредном контакту. Енергија коју тело приликом размене топлоте отпусти или прими је количина топлоте, а приликом размене топлоте наравно долази до промене температуре. Према Другом принципу термодинамике⁹ топлота се преноси са тела више температуре на тело ниже температуре.

Постоје три механизма размене топлоте: зрачењем (радијацијом), струјањем (конвекцијом) и провођењем (кондукцијом). Уколико је температура неког тела виша од температуре његове околине долази до радијације: топлота извора преноси се тако што се унутрашња енергија трансформише у енергију електромагнетног зрачења. Размена топлоте конвекцијом је карактеристична за флуиде и јавља се у ситуацији када се унутар флуида поремети топлотна равнотежа, а остварује се кретањем честица који чине тај флуид, при чему оне међусобно размењују топлоту. Кондукција је карактеристична за чврста тела у којима дође до појаве температурног градијента, а остварује се углавном кретањем слободних електрона који предају своју топлотну енергију атомима који сачињавају материјал.

4.4. Стална електрична струја

У склопу наставне области сталне електричне струје предвиђене су следеће наставне јединице: *Јачина и густина струје, Електромоторна сила, Омов закон за проводник, Рад и*

⁹ Према Клаузијусу: Немогућ је процес чији је једини резултат прелаз топлоте са тела ниже на тело више температуре.

снага електричне струје, Омов закон за струјно коло, Кирхофова правила, Електрична проводљивост метала, Електрична струја у течностима, Електрична струја у гасовима, и Електрична струја у вакууму. Наставна јединица чији садржај се може корелисати са астрономијом је Електрична струја у гасовима (конкретно плазма).

4.4.1. Електрична струја у гасовима. Плазма

Електрична струја може да тече само кроз гасове који су јонизовани. Јонизација је процес одвајања електрона од атома, којом приликом електрони и јони постају носиоци електричне струје. Гас који има велики степен јонизације зове се плазма и сматра се четвртим агрегатним стањем супстанце. Може се добити загревањем супстанце. У плазми су скоро све честице јонизоване, па интерагују електромагнетним силама, а самим тим плазма има велику електричну проводљивост.

Корелација наведене наставне јединице са концептима из астрономије:

На Земљи је плазма далеко мање заступљена од преостала три агрегатна стања. Постоји један појас у атмосфери (јоносфера) где је материја у стању плазме. У космосу, међутим, плазма је доминантно стање. По проценама, око 99% материје у космосу је у стању плазме.

4.4. Предлог додатне корелације наставних садржаја у другом разреду

Као што је већ наведено, у градиву за други разред корелација са астрономијом је изостала (не рачунајући последњу реченицу у вези са плазмом), што је и разумљиво с обзиром да генерално термодинамички процеси који се одвијају у свемиру далеко превазилазе средњошколски ниво обраде градива. Међутим, простор за корелацију са основама тих процеса постоји, те су надаље у тексту дати предлози.

4.4.1. Унутрашња структура звезда

Појам унутрашње структуре звезда подразумева расподелу њене материје од центра до омотача, извор њене енергије и начине на које се та енергија преноси. Директно посматрање процеса који се одвијају у унутрашњости звезда није могуће, за разлику од процеса који се одвијају у спољашњем омотачу. Ти унутрашњи процеси се моделују, тако да задовољавају и физичке законе и особине звезда које се детектују.

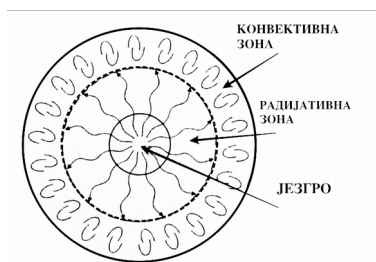
У унутрашњости звезде су температуре врло високе, тако да је материја у стању високо јонизованог гаса, односно плазме. У звездама које су сличне Сунцу гас се може сматрати идеалним, док у звездама које имају много већу густину (и које су углавном при свом еволутивном крају) губе се својства идеалног гаса. Критична густина преко које се гас више не понаша као идеалан зависи од температуре: када звезда достигне толику температуру да се атоми гаса потпуно јонизују, гас се састоји од изразито¹⁰ густо пакованих атомских језгара и слободних електрона. Такав гас изузетно велике густине се назива дегенерисаним. Једначина стања идеалног и дегенерисаног гаса се, јасно је, разликује, где код дегенерисаног гаса мала промена у густини повлачи много веће промене притиска, него што

¹⁰ Растојања међу честицама спадају на растојања реда величине језгра ($10^{-15}m$)

би случај био у идеалном гасу. Такође, притисак дегенерисаног гаса не зависи од температуре.

4.4.2. Унутрашња структура Сунца

Извор енергије свих звезда су термонуклеарне реакције које се одвијају само у језгру. Радијус језгра Сунца је око 25% радијуса целог Сунца, а у њему се налази око 60% укупне масе. Произведена енергија се даље преноси у спољашње делове Сунца. Тај део звезде који је ван језгра је, условно речено, подељен на два сферна слоја: радијативну и конвективну зону. Како називи и сугеришу, кроз радијативну зону пренос енергије се одвија зрачењем, док се кроз конвективну зону одвија конвекцијом. Радијативна зона је дебљине 0.45% радијуса Сунца, а конвективна зона још 0.30% радијуса до површине (слика бр.12).



Слика бр. 12 – унутрашњи слојеви Сунца

У језгру и радијативној зони гас је потпуно јонизован и зрачење релативно слободно пролази, те преноси енергију ка вишим слојевима. Међутим, са порастом радијуса у радијативној зони, температура опада и потпуна јонизација ишчезава. Са тиме материја постаје непрозрачна¹¹, па зрачење више не може бити главни механизам преноса енергије. То је граница радијативне и конвективне зоне. Поред услова непрозрачности, у конвективној зони постоји велики температурни градијент, што је предуслов за конвективи пренос енергије. На доњој граници конвективне зоне температура је око 10^6 K , а на горњој око 10^3 K (на површини Сунца се енергија троши зрачењем). У овој зони се вертикално подижу и спуштају велике масе плазме: топлија маса се креће ка површини, а хладнија маса се спушта ка дубини. Гас при дну конвективне зоне се загрева, према једначини стања његова запремина се повећава, а густина му се смањује. Гас на површини губи своју енергију зрачењем, дакле хлади се, густина му се повећава и спушта се у ниже слојеве. На тај начин се кроз непрозрачну конвективну зону преноси топлота од радијативне зоне до површине Сунца.

¹¹ Непрозрачност је појава где се већина зрачења рефлектује или апсорбује услед велике густине околине.

5. Корелација физике и астрономије у трећем разреду природно-математичког смера

5.1. Годишњи наставни програм предмета физике у трећем разреду природно-математичког смера

Ученици трећег разреда природно-математичког смера часове физике имају три пута недељно, а области које су предвиђене за овај разред су:

1. Магнетно поље
2. Електромагнетна индукција
3. Наизменична струја
4. Хармонијске осцилације
5. Механички таласи
6. Акустика
7. Електромагнетни таласи
8. Таласна оптика
9. Геометријска оптика
10. Оптички инструменти
11. Фотометрија

5.2. Магнетно поље

У склопу наставне области магнетног поља предвиђене су следеће наставне јединице: *Магнетно поље струјног проводника, Лоренцова сила, Амперова сила, Магнетици*. Наставни садржај који се може корелисати са астрономијом је Кретање наелектрисаних честица у магнетном и електричном пољу и феромагнетици.

5.2.1. Лоренцова сила [Кретање наелектрисаних честица у магнетном и електричном пољу]. Феромагнетици

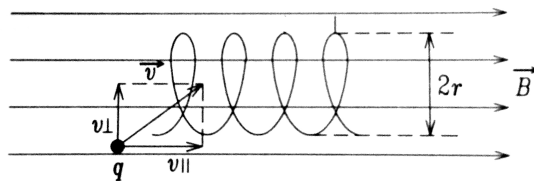
Сила којом магнетно поље делује на неку наелектрисану честицу која се у том пољу нађе је Лоренцова сила. Како је Лоренцова сила једнака:

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

q – количина наелектрисања
честице
 v – њена брзина
 B – вектор магнетног поља

то значи да понашање наелектрисане честице када уђе у магнетно поље зависи од тога под којим углом у односу на вектор поља улази у то поље. Ако честица у поље уђе у правцу линија поља, наставиће да се креће праволинијски у истом правцу. Међутим, уколико уђе у поље под правим углом у односу на правац линија поља, њена путања ће бити кружница.

Коначно, ако у поље уђе под неким углом који није 0° или 90° , путања ће јој бити завојница дуж линија магнетног поља, што је уствари комбинација праволинијског и кружног кретања:



Слика бр. 13 – кретање честице, у магнетном пољу, чији вектор брзине је разложен на нормалну и паралелну компоненту

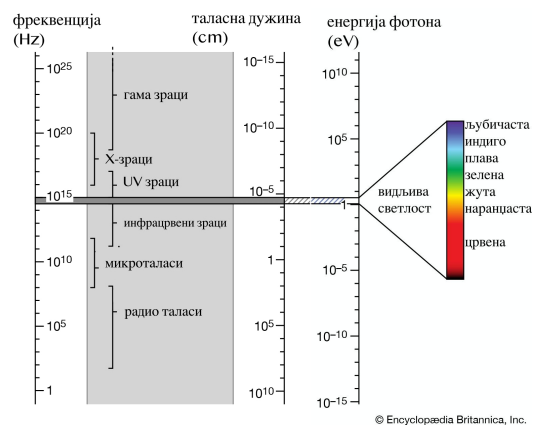
Интеракција којом два магнета међусобно делују се дешава посредством магнетног поља. Око сваког магнета постоји магнетно поље, које се графички приказује линијама сила магнетног поља, тако да извиру у северном, а пониру у јужном полу магнета. Експериментално је показано да колико год се један стални магнет уситнио, увек има северни и јужни пол. Материјали од којих се праве вештачки магнети су феромагнетици. Они имају кристалну структуру, а у тој структури поседују области са сопственим магнетним пољем. Гвожђе је најчешћи пример феромагнетика, по коме су и добили назив. Још један пример, планета Земља се понаша као стални магнет, с тим што су јој магнетни полови супротно оријентисани у односу на географске.

5.3. Електромагнетни таласи. Таласна оптика.

У склопу наставне области електромагнетних таласа и таласне оптике предвиђене су следеће наставне јединице: *Електромагнетни таласи, Интерференција светлости, Дифракција светлости, Поларизација светлости, Одбијање и преламање светлости, Дисперзија светлости, Расејање и апсорпција светлости и Брзина светлости.*

5.3.1. Спектар електромагнетних таласа

Електромагнетно зрачење има опсег таласних дужина од 10^{-17}m до 10^8m . Овај опсег је подељен на неколико области, те се назива спектром електромагнетног зрачења. Природа зрачења из сваке од ових области је иста, разликују се само према начину настанка и таласној дужини, односно енергији. На следећој слици се може видети графичка шема електромагнетног спектра, са одговарајућим фреквенцијама, таласним дужинама и енергијом.



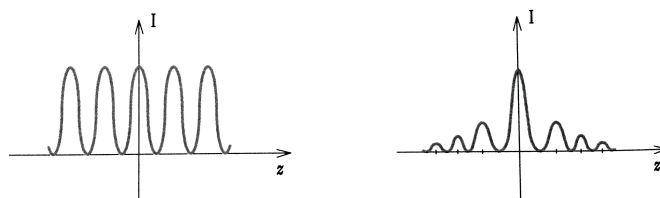
Слика бр. 14 – електромагнетни спектар

5.3.2. Интерференција светлости. Дифракција светлости. Преламање светлости. Дисперзија

Таласна оптика подразумева таласну природу светлости, те објашњава следеће светлосне појаве: интерференцију, дифракцију, поларизацију, дисперзију, одбијање и преламање светлости.

Интерференција је појава слагања кохерентних светлосних таласа два или више извора. Резултат овог слагања је појава наизменичних светлих и тамних места, чија се расподела не мења у времену уколико се не мењају ни почетни услови.

Дифракција је појава одступања таласа од праволинијског простирања при проласку уз оштру ивицу или кроз мали отвор. Ова појава је уочљивија уколико су димензије препреке реда величине таласне дужине таласа светлости. Таласи по проласку препреке интерферирају, при чему такође настају наизменична светла и тамна места. Дифракциона и интерференциона слика се разликују по томе што дифракциона (десно на слици 15) има изражен централни максимум, а интерференциони максимуми (лево на слици 15) су сви истог интензитета.



Слика бр. 15 – интерференциона и дифракциона слика

Дифракциона решетка је најчешће стаклена или пластична плочица у којој се уреже велики број зареза једнаких димензија на једнаком растојању. Пропуштањем светлости кроз дифракциону решетку се добије већи интензитет него ли пропуштањем кроз само један отвор. Уколико је светлост монохроматска, сви максимуми су такође исте таласне дужине. С друге стране, уколико је светлост полихроматска, пропуштањем кроз решетку долази до разлагања светлости на компоненте, чиме се добија дифракциони спектар.

Светлост се при наиласку на граничну површину две прозачне средине делимично одбија, а делимично прелама.

Преламање светлости подразумева пролазак светлости из једне у другу средину, при чему се брзина простирања таласа мења, као и угао простирања у односу на нормалу на дату граничну површину (упадни и преломни угао се разликују). Однос брзина простирања у две средине је индекс преламања. Уколико се на неку граничну површину упути полихроматска светлост, њене компоненте у новој средини имају различите брзине, односно различите индексе преламања и различите преломне углове као последицу.

Дисперзија је зависност индекса преламања средине од таласне дужине упадне светлости, што значи да ће се полихроматска светлост након проласка граничне површине разложити на спектар. Пример: пропуштање беле светлости кроз призму.

5.3.3. Брзина светлости. Доплеров ефекат у оптици

Доплеров ефекат је појава да се мерена таласна дужина сигнала, електромагнетног (светлости) или механичког таласа (звуча), неког извора који се креће разликује од таласне дужине коју тај извор емитује. Израз за Доплеров ефекат је:

$$\nu' = \nu \sqrt{\frac{1 \pm \frac{v}{c}}{1 \mp \frac{v}{c}}}$$

ν' - мерена фреквенција
 ν - емитована фреквенција
 v - релативна брзина
 c - брзина светлости
 + у бројиоцу, - у имениоцу:
 узајамно приближивање
 - у бројиоцу, + у имениоцу:
 узајамно удаљавање

Уз апроксимацију да је релативна брзина извора и посматрача врло мала у односу на брзину светлости, општи израз за Доплеров ефекат је:

$$\nu' = \nu \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

Корелација наведене наставне јединице са концептима из астрономије:

Примећено је да светлост која долази од већине галаксија испољава црвени помак, односно да су мерене таласне дужине веће него што је очекивано на основу физичких процеса који се у њима дешавају. Закључак који је проистекао из ове појаве јесте да се галаксије међусобно удаљавају, тачније – да се свемир шири.

Задатак бр. 508. - основни ниво

Коликом брзином нам се приближава нека звезда ако знамо да је регистрована светлост фреквенције $6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ померена за $2 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ ка ултраљубичастом делу спектра?

Решење:

$$\nu = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\nu' = \nu + 2 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$v = ?$$

Из услова задатка може се пронаћи фреквенција регистроване светлости:

$$\nu' = \nu + 2 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz} + 2 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = (6+2) \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\nu' = 8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Трансформишући израз за Доплеров ефекат може се пронаћи израз за брзину, при чему се бирају одговарајући знакови за случај међусобног приближавања звезде и пријемника:

$$\nu' = \nu \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}}$$

$$\frac{\nu'^2}{\nu^2} \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right) = 1 + \frac{v}{c}$$

$$\frac{\nu'^2}{\nu^2} - \frac{\nu'^2}{\nu^2} \cdot \frac{v}{c} = 1 + \frac{v}{c} / c \cdot \nu^2$$

$$c \nu'^2 - \nu'^2 v = c \nu^2 + \nu^2 v$$

$$c(\nu'^2 - \nu^2) = v(\nu'^2 + \nu^2)$$

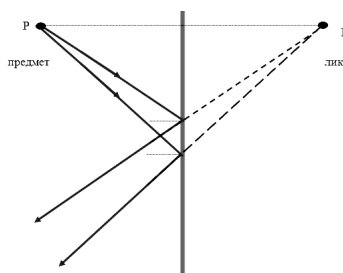
$$v = c \cdot \frac{\nu'^2 - \nu^2}{\nu'^2 + \nu^2} = 1,2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

5.4. Геометријска оптика. Оптички инструменти

Геометријска оптика је област оптике у којој се простирање светлости кроз различите средине разматра апроксимирајући да се светлост кроз хомогену средину креће строго праволинијски, те се занемарују интерференција и дифракција.

5.4.1. Огледала

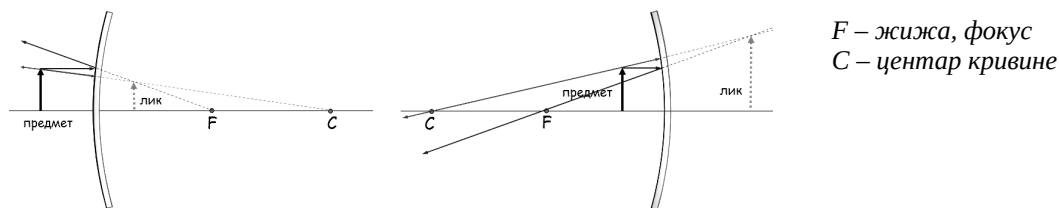
Огледала су глатке углачане површи које одбијају сву светлост која на њих падне. Према облику те површине, огледала се деле на равна и сферна. Шема карактеристичних зрака и формирања lika тачкастог предмета у равном огледалу приказана је на слици испод:



Слика бр. 16 – формирање тачкастог lika у равном огледалу

Тачка L на слици је имагинарни лик, јер се налази у пресеку замишљених продужених зрака. Јасно је да уколико су те глатке углачане површине део сфере, ради се о сферним огледалима.

Ако је сферно огледало углачено са унутрашње стране, у питању је конкавно огледало, а уколико је углачено са спољашње стране, то је конвексно огледало. Шема карактеристичних зрака и формирања lika предмета у сферном огледалу приказана је на слици испод:



Слика бр. 17 – формирање lika у конвексном огледалу (лево) и конкавном огледалу (десно)

Ликови конвексних огледала су увек имагинарни. Да ли ће лик конкавног огледала бити реалан зависи од удаљености предмета и жишне даљине.

5.4.2. Сочива

Хомогено прозрано тело које је ограничено или са две сферне површине или са једном сферном и једном равном површином се назива сочиво. Кроз сочива светлост пролази, за разлику од огледала од којих се одбија. Светлост која пролази кроз сочиво се прелама на обе граничне површине. Сочива могу бити сабирна и расипна. Постоји три типа сабирних и три типа расипних сочива (слика бр. 18).



Слика бр. 18 – типови сочива

Шема светлосних зрака и њихово простирање кроз две врсте сочива су приказани на слици испод:



Слика бр. 19 – сабирно сочиво (лево) и расипно сочиво (десно)

Ликови расипних сочива су увек имагинарни. Да ли ће лик сабирног сочива бити сферан зависи од удаљености предмета.

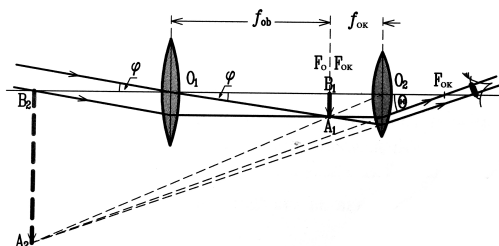
5.5. Оптички инструменти

Оптичким инструментама се сматрају уређаји чија је сврха да дају боље виђење неког предмета, а то су: лупа, микроскоп, телескоп, спектроскоп итд.

Корелација наведене наставне јединице са концептима из астрономије:

Оптички телескопи служе за добијање ликова врло удаљених објеката; за објективе користе сочива или системе сочива за преламање (рефракцију), а системе огледала за рефлексију или комбинацију оба. У зависности од тога који елемент користе, деле се на рефракторе и рефлекторе.

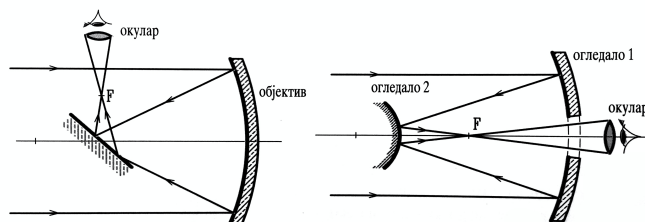
Коначни лик који се формира код рефрактора је имагинаран и обрнут у односу на предмет. То у принципу не представља проблем у астрономији, с обзиром да за посматрање небеских објеката није значајно „како су окренути”, уз то да су већином и симетрични. Добијени лик не буде већи од објекта, али се види под већим углом, што даје утисак да је ближе, те се лакше уочавају детаљи. Општа конструкција лика код рефрактора је следећа:



F – жижа
 f – жижна даљина
 OB – објектив (сочиво ближе предмету)
 OK – окулар (сочиво ближе оку)

Слика бр. 20 – конструкција лика код рефрактора

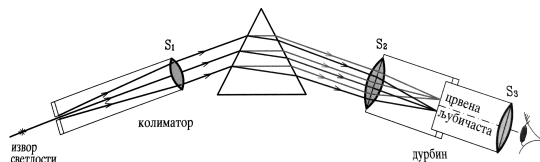
Рефлекторима се постиже велико увећање, те су значајни за посматрање објеката малог сјаја за које је потребно „сакупити” што већу количину светлости. Најчешће кориштени типови рефлектори су Њутнов и Касегренов. Општа конструкција ових рефлектора је следећа:



Слика бр. 21 – принцип рада Њутновог (лево) и Касегреновог (десно) телескопа

Код ових телескопа лик се формира у тачки у којој се поклопе жиже објектива и окулар (на слици тачка F).

Инструменти који се, за разлику од оптичких телескопа, користе за анализу спектралних особина светлости коју емитује неки извор су спектрални уређаји. По конкретној намени деле се на спектроскопе (за посматрање спектра), спектрографе (за снимање спектра) и спектрометре (за мерење таласних дужина појединих компоненти спектра). Основни елемент спектралних уређаја је призма велике дисперзионе моћи чија је улога да разложи претходно колимисан сноп на спектралне компоненте.



Слика бр. 22 – шема спектралног уређаја

5.6. Фотометрија

Фотометрија је област оптике која се бави квантитативним особинама електромагнетног зрачења и њиховим мерењем. Основне величине које се користе у фотометрији су светлосни флуks, јачина светлости и осветљеност.

Корелација наведене наставне јединице са концептима из астрономије:¹²

1) Светлосни флуks (Φ) је енергија коју извор емитује у околни простор у јединици времена:

$$\Phi = \frac{W}{t}$$

Мерна јединица је ват (W).

2) Јачина светлости (I) је светлосни флуks који извор израчи кроз јединични просторни угао. Просторни угао ω је мера отвора конуса и налази се конструкцијом сфере радијуса r око тачке O (слика бр. 23). Ако је S површина на сфери исечена конусом са теменом у тачки O , онда је простори угао:

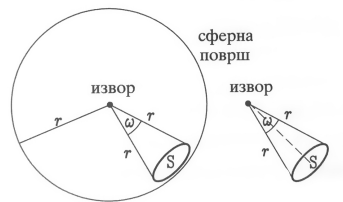
$$\omega = \frac{S}{r^2}$$

а јачина светлости:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

Мерна јединица је ват по стередијану (W/sr).

¹² Напомена: фотометрија је једна од главних метода анализе електромагнетног зрачења небеских тела, поред спектроскопије и полариметрије. У уџбенику се фотометрија не спомиње у контексту астрономије, али величине које се користе у фотометрији генерално и фотометрији у астрономији су идентичне, па да би се избегло дуплирање садржаја, све ће бити описане под датим поднасловом.



Слика бр. 23 – просторни угао

3) Осветљеност површине (E) је количник флукса Φ који нормално пада на површину S и површине S :

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Уколико флукс не пада нормално на површину, осветљеност зависи од угла под којим зрачење пада на површину (φ). У том случају се примењује Ламбертов закон:

$$E = E \cdot \cos \varphi$$

Уврштавањем претходно дефинисаних величина, може се видети да осветљеност опада са квадратом растојања извора од површине:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \varphi$$

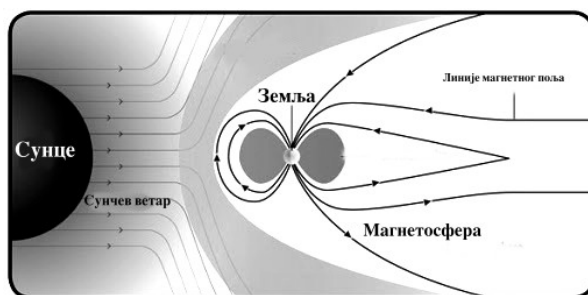
Јединица за осветљеност је ват по квадратном метру (W/m^2)

5.7. Предлог додатне корелације наставних садржаја у трећем разреду

5.7.1. Сунчев ветар. Поларна светлост

Сунчев ветар је кретање плазме, која константно напушта Сунчеву површину, кроз свемир. Спољашњи слој Сунчеве атмосфере који се назива корона достиже температуре око милион степени целзијуса. На тим температурама честице имају изузетно високе кинетичке енергије, те Сунчева гравитација није довољна да их „задржи”, већ се оне емитују у свемир у свим правцима. Тачан настанак и еволуција Сунчевог ветра су још увек отворено питање у астрономији. Ипак, неке од последица ове појаве по Земљу су директно опсервабилне, тако да ће овде акценат остати на томе.

Како се плазма одаљава од Сунца, почиње да се понаша више као гас него као плазма. Подсећања ради, плазму чине позитивно и негативно наелектрисане честице, у овом случају протони и електрони великих кинетичких енергија. Како су оне емитоване у свим правцима, то значи да се Земља може наћи на њиховој путањи. Уколико би те честице стигле до Земљине површине, могле би да направе штету по живот. Међутим, то очигледно није случај: магнетно поље Земље се понаша као штит, преусмеравајући њихов ток. Сунчев ветар је толико јак да својим магнетним дејством практично мења облик Земљиног магнетног поља на тај начин да је оно благо удубљено на страни окренутој ка Сунцу а истегнуто на супротној (слика бр. 24). Овакво деформисано магнетно поље око Земље се још назива магнетосфером.



Слика бр. 24 – илустрација интеракције Сунчевог ветра са магнетним пољем Земље

Иако већина честица обиђе Земљу, неке од њих бивају захваћене Земљиним магнетним пољем. Магнетно поље их усмерава дуж линија поља, те оне убрзавају ка магнетним половима Земље формирајући струју. Просечна брзина честица је 400 km/h . Што им је већа брзина, односно енергија, више могу да приђу Земљиној атмосфери. У тим случајевима када честице Сунчевог ветра имају довољну енергију да продру у Земљину атмосферу, оне интерагују са молекулама азота и кисеоника који је чине. Интеракција подразумева ексцитацију молекула и последично њихову деексцитацију, али тај процес прелази оквири градива трећег разреда. Може се рећи само да се као резултат интеракције Сунчевог ветра са магнетним пољем Земље и честицама атмосфере јавља јака светлост различитих боја на небу (слика бр. 25). Та светлост је познатија као поларна светлост или аурора. На северном географском полу се назива аурора бореалис, а на јужном аурора аустралис.



Слика бр. 25 – аурора бореалис

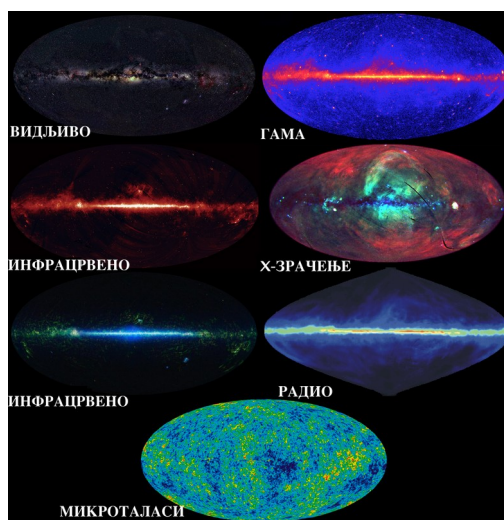
5.7.3. Посматрања у астрономији. Астрономски инструменти

Свемир и објекти у њему се могу посматрати на различите начине. Људско око опажа само видљиви део електромагнетног спектра. Оптички телескопи такође детектују видљиво зрачење. Међутим, небеска тела зраче на различитим таласним дужинама, с тога је неопходно, осим оптичким телескопима, вршити посматрања кроз цео спектар ради прикупљања што више информација о што више различитих процеса који се дешавају. Инструменти којима се светлост разлаже по таласним дужинама и затим снима су спектрографи. Будући да атмосфера Земље апсорбује већину зрачења, на њеној површини могућа су углавном оптичка и радио посматрања. То је један од главних разлога за измештање инструмената ван Земљине атмосфере, где су упућени у орбиту око Земље. Пошто би детаљнији улазак у различите типове астрономских посматрања захтевао засебна дефинисања небеских објеката попут активних галактичких језгара, квазара, пулсара, неутронских звезда и слично, овде ће само укратко бити наведено који су ти типови.

Један од облика ЕМ зрачења је гама зрачење. Гама зрачење карактеришу кратке таласне дужине, реда величине 10^{-10} m, односно велика фреквенција. То значи да ово зрачење има високе енергије, реда величине 10^5 eV. Телескопима који су конструисани да детектују гама зрачење могу се видети објекти који нису оптички видљиви, а највећи део гама зрачења који долази из диска галаксије потиче од интеракције космичког зрачења¹³ са гасом. Пошто гама зрачење поседује високе енергије, интензитет му се добрим делом очувава на великим растојањима, што је за астрономе врло погодно. Веома информативна посматрања у астрономији су посматрања X-зрачења, чије енергије су у интервалу од $0,1$ keV до 500 keV. У овом опсегу се виде процеси везани за сам крај живота звезда. За спектроскопију тако кратких таласних дужина, као што су гама и део X-зрачења не могу да се користе класични спектрални материјали као површине за дифракцију, јер ово зрачење има таласне дужине мање од димензија растојања међу атомима. Детекција и мерење енергије оваквог зрачења се углавном врши посредно, путем интеракције зрачења са материјалом. Ултраљубичасти део спектра су астрономи поделили на блиско-ултраљубичасти, далеко-ултраљубичасти и екстремно-ултраљубичасти. Ова три опсега се разликују по енергији зрачења: блиско-ултраљубичасто зрачење је најближе видљивом делу спектра, а екстремно-ултраљубичасти је најближи X-зрачењу и уједно има највећу енергију. Затим, инфрацрвено зрачење чији су основни извори тела ниске температуре. Пошто сва тела зраче топлоту, инфрацрвени

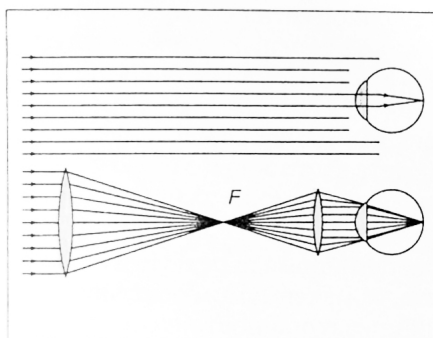
¹³ Космичко зрачење је природно јонизујуће зрачење високих енергија

детектори могу регистровати објекте у „мраку”. Поред тога, инфрацрвено зрачење може релативно неометано да пролази кроз простор испуњен прашином, што значи да се инфрацрвеним детекторима могу изучавати објекти заклоњени прашином и гасом. Зрачење највећих таласних дужина спада у радио домен, што значи да радио телескопи морају имати веома велике димензије. Данас се највећи радио телескоп налази у Кини, са пречником диска од 500 m , који између осталог снима и потенцијалне вештачке радио изворе, или другим речима ванземаљски живот.



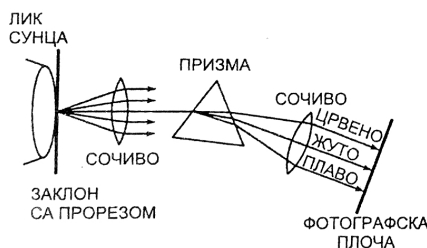
Слика бр. 26 – свемир сниман на различитим таласним дужинама

Речено је да су спектрографи инструменти који снимају разложену светлост на спектар. Овакви уређаји као основни елемент користе призму за рефракцију, дифракциону рефлективну или трансмисиону решетку за дифракцију или гризму која представља комбинацију призме и дифракционе решетке. Оптички телескопи, с друге стране, за објективе користе сочива или системе сочива за рефракцију, системе огледала за рефлексију или комбинацију оба. У зависности од тога који елемент користе, деле се на рефракторе и рефлекторе. Главна функција ових елемената код оптичких телескопа јесте да сакупе што више светлости и појачају њен интензитет, с обзиром да је већина небеских објеката довољно далеко да им интензитет светлости слаби на путу до Земље (слика бр. 27).



Слика бр. 27 – телескоп појачава упадни снап светлости

Пример уређаја који користи систем сочива је уређај за фотографисање Сунца у различитим таласним дужинама. Овакав уређај се назива спектрохелиограф, а на слици се може видети шематски приказ принципа рада:



Слика бр. 28 – снимање спектра Сунца

5.7.4. Хаблов закон

Мерена таласна дужина сигнала, електромагнетног (светлости) или механичког таласа (звука) неког извора који се креће се разликује од таласне дужине коју тај извор емитује. Ако се извор удаљава од посматрача, мерена таласна дужина је већа од емитоване и то се назива црвеним помаком. Уколико се извор приближава посматрачу, мерена таласна дужина је мања од емитоване и то се назива плавим помаком. Црвени и плави помак произилазе из Доплеровог ефекта. Промена таласне дужине је директно сразмерна радијалној брзини извора.

У астрономији је дефинисан космолошки црвени помак z који је последица ширења свемира:

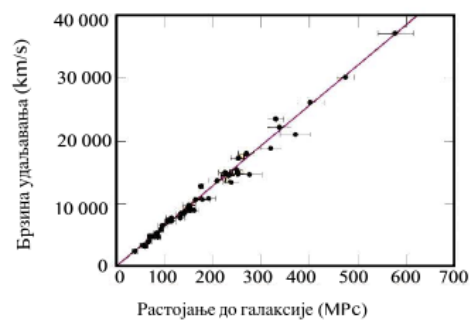
$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \quad \begin{array}{l} \lambda_0 - \text{емитована таласна дужина} \\ \lambda - \text{мерена таласна дужина} \end{array}$$

Космолошки црвени помак даје информацију колико је неки објект удаљен и стар: објекти на црвеном помаку $z = 0$ су нам просторно и временски близу, $z > 0$ је за објекте који су из раније епохе свемира и просторно удаљени, а $z = \infty$ одговара тренутку великог праска.

Потврду о ширењу свемира је дао Едвин Хабл који је, мерећи црвени помак великог броја галаксија, уочио да се оне даље галаксије брже удаљавају од нас. Линеарна зависност између брзине удаљавања галаксије и њене удаљености потврђује хипотезу да се свемир шири, а данас је позната као Хаблов закон:

$$v = H_0 \cdot d$$

где је v радијална брзина удаљавања галаксија, d њена удаљеност од Земље а H_0 Хаблова константа.



Слика бр. 29 – график Хабловог закона

6. Корелација физике и астрономије у четвртом разреду природно-математичког смера

6.1. Годишњи наставни програм предмета физике у четвртом разреду природно-математичког смера

Ученици четвртог разреда природно-математичког смера часове физике имају пет пута недељно, а области које су предвиђене за овај разред су:

1. Релативистичка физика
2. Квантна природа електромагнетног зрачења
3. Таласна својства честице и појам о квантној механици
4. Квантна теорија атома
5. Молекулска структура и спектри
6. Физика чврстог стања
7. Индуковано зрачење и ласери
8. Физика атомског језгра
9. Физика елементарних честица

По званичном програму за четврти разред природно-математичког смера, предвиђено је да се од пет часова физике један час недељно ради астрономија. Како је главна тема рада заступљеност примера из астрономије у уџбеницима из физике, у овом поглављу неће бити посебне речи о одговарајућем уџбенику из астрономије, већ и даље искључиво о уџбеницима из физике.

6.2. Релативистичка физика

У склопу наставне области релативистичке физике предвиђене су следеће наставне јединице: *Специјална теорија релативности*, *Постулати теорије релативности и релативистички ефекти* и *Релативистичка динамика*. Наставни садржај који се може корелисати са астрономијом је Релативност времена и простора, конкретно Дилатација времена и Парадокс близанаца.

6.2.1. Дилатација времена. Парадокс близанаца

Специјална теорија релативности је теорија Алберта Ајнштајна која разматра физичке појаве у инерцијалним системима референце¹⁴, при брзинама блиским брзини светлости. За брзине много мање од брзине светлости, сви закони се свode на законе класичне механике. Теорија је изграђена на два постулата, где први тврди да се свака физичка појава у истим условима дешава на исти начин у свим инерцијалним системима, а други да је брзина светлости у вакууму иста у свим инерцијалним референтним системима. Последице

¹⁴ Инерцијални системи референце су системи који мирују или се крећу равномерно праволинијски у односу на неки други инерцијални систем.

релативистичких ефеката су релативност времена (дилатација времена) и релативност растојања (контракција дужине).

Везу између координата једног догађаја у два различита система референце дају Лоренцове трансформације. Нека се један систем референце S' креће константном брзином u у односу на систем референце S дуж његове x -осе и нека се два догађаја A и B у систему S' догађају на истом месту, на x' -оси.

$$A = A(x_1', y_1', z_1', t_1')$$

$$B = B(x_2', y_2', z_2', t_2')$$

$$\text{где је } x_1' = x_2' \text{ и } y_1' = y_2' = z_1' = z_2' = 0$$

У S систему ће координате датих догађаја бити:

$$A = A(x_1, 0, 0, t_1)$$

$$B = B(x_2, 0, 0, t_2)$$

Лоренцова трансформација временске координате:

$$t = \gamma \left(t' - \frac{ux'}{c^2} \right), \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

u – брзина система S' који се креће дуж x -осе система S

Временски интервал између ова два догађаја у систему S' је:

$$t_2' - t_1' = \tau_0$$

Временски интервал између ова два догађаја у систему S је:

$$t_2 - t_1 = \gamma \left(t_2' + \frac{ux_2'}{c^2} \right) - \gamma \left(t_1' + \frac{ux_1'}{c^2} \right)$$

$$t_2 - t_1 = \gamma (t_2' - t_1') = \gamma \tau_0$$

$$\tau = \gamma \tau_0$$

Пошто је $\gamma > 1$ следи да је $\tau > \tau_0$

Одавде се види да је време између два догађаја најмање у оном референтном систему у ком се ти догађаји дешавају на истом месту (у овом случају то је систем S'). У сваком другом систему референце у ком се ти догађаји не дешавају на истом месту, временски интервал између њих је већи (у овом случају као последица кретања система S' догађаји посматрани из система S неће бити на истом месту). Другим речима, време спорије тече у референтним системима који се крећу. Ова појава се назива дилатацијом времена. У ту сврху се дефинише сопствено време, као време између два догађаја у оном референтном систему у ком се они дешавају на истом месту (τ_0). Треба напоменути да за случај класичних брзина кретања система, много мањих од брзине светлости, фактор γ постаје једнак јединици, те се и временски интервали изједначе, односно време једнако тече.

Корелација наведене наставне јединице са концептима из астрономије:

Као потенцијална нелогичност претходних закључака јавио се парадокс близанаца. СТР предвиђа да осим што време тече спорије у систему који се креће брзином блиској брзини светлости, *сви* процеси се успоравају, укључујући и биолошке. Уколико би се претпоставила два близанца и разматрала ситуација да један од њих одлази са Земље ракетом која се креће брзином $u=0,94c$, долази се до две супротне тврдње које не могу бити обе тачне. Наиме, ради лакшег праћења нека се близанац који остаје на Земљи зове Пера, а близанац који одлази у свемир зове Мика и нека имају по осамнаест година.

Са становишта Пера, време у ракети тече спорије за фактор 3:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \approx 3$$

Како је $\tau = \gamma \tau_0$, то значи да Мика стари три пута спорије. То даље значи да ако би се Мика вратио после 12 година, Пера би имао 30 година, а Мика 22 године.

Са становишта Мике, Земља се креће брзином $u=0,94c$ јер су системи референце равноправни. То значи да ће Пера старити три пута спорије, те да ће по повратку с пута Мика имати 30 година, а Пера имати 22 године.

Дакле, са становишта Пера он ће бити старији, а са становишта Мике он ће бити старији, што је парадокс. Решење овог парадокса лежи у томе да је претпоставка да су системи равноправни погрешна, јер за разлику од система везаног за Земљу, систем референце везан за ракету није инерцијалан. При поласку и при приземљењу ракета убрзава и успорава, као и при евентуалној промени правца на свом путу, што систем везан за њу чини неинерцијалним, а СТР је формулисана само за инерцијалне системе.

6.3. Квантна природа електромагнетног зрачења

У склопу наставне области квантне природе електромагнетног зрачења предвиђене су следеће наставне јединице: *Топотно зрачење*, *Фотоелектрични ефекат*, *Фотони* и *Комптонов ефекат*. Наставна јединица чији садржај се може корелисати са астрономијом је Топотно зрачење.

6.3.1. Топотно зрачење

Свако тело емитује електромагнетно зрачење на рачун своје унутрашње енергије, при чему спектар тог зрачења зависи од температуре. Пошто такво зрачење следи само из чињенице да се тело налази на некој температури већој од апсолутне нуле, назива се топлотним зрачењем. Већина свакодневних предмета се налази на релативно ниским температурама, па се њихово топлотно зрачење уочава у инфрацрвеном делу спектра. Неко тело ће зрачити у видљивом делу тек ако је на високој температури. Осим што свако тело зрачи, оно и апсорбује зрачење које на њега падне.

Укупна енергија топлотног зрачења које тело емитује у јединици времена са јединице површине је емисиона моћ:

$$E = \frac{W}{St}$$

W – укупна енергија топлотног зрачења
 S – површина тела
 t – време зрачења

Однос енергије зрачења које тело апсорбује и укупне енергије зрачења која падне на тело је апсорпциона моћ:

$$A = \frac{W_{\lambda}^{aps}}{W_{\lambda}^{up}}$$

W – енергија топлотног зрачења, при чему λ означава одређену таласну дужину; aps апсорбовано зрачење а up упадно

Тело које апсорбује сво зрачење које на њега падне, односно тело за које важи $A=1$, назива се апсолутно црно тело. Оно представља теоријски објект, те ни једно реално тело није апсолутно црно. Апсолутно црно тело има, очигледно, највећу могућу апсорпциону моћ. Емисиона моћ апсолутно црног тела је сразмерна четвртој степену температуре тела. Ова релација се зове Штефан-Болцманов закон:

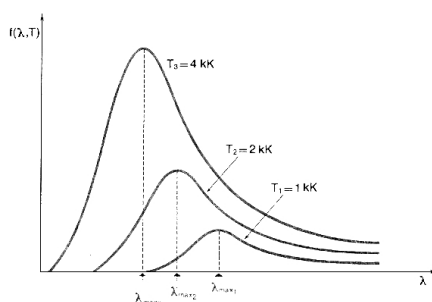
$$E = \sigma T^4$$

где је коефицијент сразмерности Штефан-Болцманова константа σ .

Спектар топлотног зрачења је континуалан (слика бр. 30), при чему нису све таласне дужине заступљене једнаким интензитетом. Највероватнија таласна дужина у спектру топлотног зрачења апсолутно црног тела је обрнуто сразмерна температури тела и то се назива Винов закон померања зрачења:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

где је коефицијент сразмерности Винова константа b .



Слика бр. 30 – Винов закон померања зрачења (спектри три тела различитих температура)

6.4. Таласна својства честица

У склопу наставне области таласног својства честица предвиђене су следеће наставне јединице: *Боров модел атома* и *Дуална природа микрообјеката*. Наставни садржај који се може корелисати са астрономијом су Борови постулати и Водоников спектар.

Експерименти су показали да спектар зрачења атома није континуалан већ има јасно диференциране линије које су груписане у серије. Боров модел атома је дао теоријско објашњење стабилности атома, као система који се састоји од позитивно наелектрисаног језгра и негативно наелектрисаних електрона који орбитирају око језгра, и спектра електромагнетног зрачења. Боров модел се састоји од три постулата:

1. Електрони се у атому крећу око језгра само по одређеним орбитама које се зову стационарне. Док је на стационарној орбити, електрон не емитује електромагнетно зрачење.

2. Момент импулса електрона у атому не може имати произвољну вредност, него мора бити целобројан умножак константе $\hbar$: $L = n \cdot \hbar$; $n = 1, 2, 3, \dots$; n – главни квантни број.

3. Када прелази са једне на другу стационарну орбиту у атому, електрон емитује или апсорбује квант енергије: $h\nu = E_n - E_m$; E_n, E_m – енергије електрона на орбитама између којих се дешава дати прелаз.

Енергије стационарних стања водениковог атома одређене су формулом:

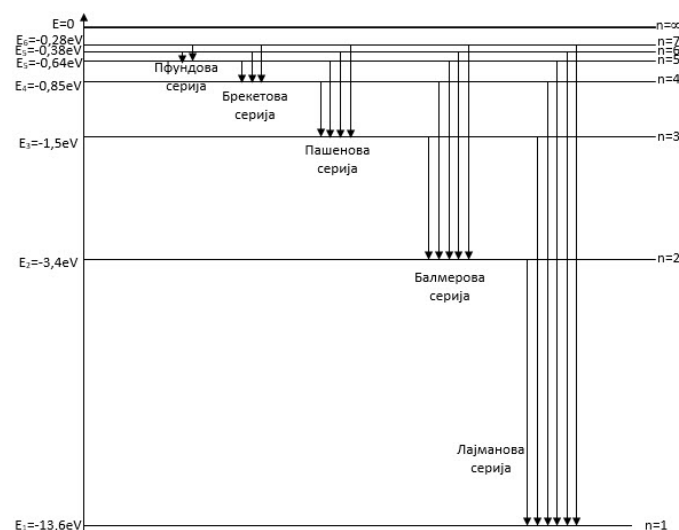
$$E_n = \frac{-1}{n^2} \cdot Z^2 \cdot 13,6 \text{ eV}; n = 1, 2, 3, \dots$$

С обзиром на Трећи Боров постулат и увођењем Ридбергове констане $R = \frac{13,6 \text{ eV}}{hc}$, следи:

при преласку електрона из стања са главним квантним бројем m у стање са главним квантним бројем n емитује се фотон чија је таласна дужина одређена следећом релацијом:

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Једна спектрална серија је везана за један ниво на који се сви прелази те серије врше.



Слика бр. 31 – Спектралне серије водоника

6.5. Физика атомског језгра

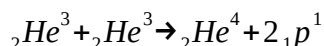
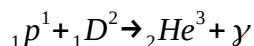
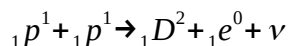
У склопу наставне области физике атомског језгра предвиђене су следеће наставне јединице: *Језгро, Природна радиоактивност, Месбауеров ефекат, Нуклеарне реакције и Нуклеарна енергетика*. Наставна јединица чији садржај се може корелисати са астрономијом је Нуклеарне реакције, конкретно термонуклеарна фузија.

Нуклеарне реакције су генерално сви процеси који се остварују када нека убрзана честица удара у непокретну мету од неког материјала. Развој технике је омогућио да се нуклеарне реакције могу дешавати и сударима снопова, у ком случају нема непокретне мете. Фузија је процес спајања два лака језгра при чему се добија једно стабилно језгро, ослобађа нека честица и велика количина енергије. Да би до фузије два језгра дошло, она морају имати довољне кинетичке енергије да савладају одбојно кулоново дејство, те да се приближе толико да међу њима почну деловати нуклеарне силе. Таква ситуација је природно могућа на високим температурама, стога назив термонуклеарне реакције.

Корелација наведене наставне јединице са концептима из астрономије:

Наиме, тако високе температуре, да језгра имају довољно велику енергију термалног кретања да до фузије дође, се јављају у звездама. Сва енергија која се израчи са звезда настаје управо из термонуклеарних реакција. Један циклус реакција фузије на Сунцу се зове протон-протон ланац, који је праћен ослобађањем велике количине енергије. Принципијелно у Сунцу се троши водоник, а добија се хелијум.

Протон протон ланац:



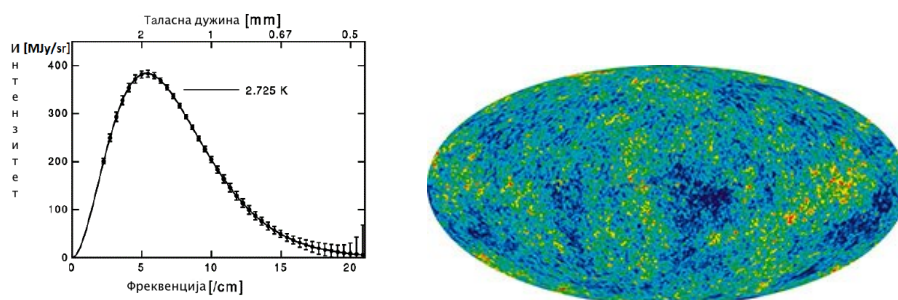
6.6. Предлог додатне корелације наставних садржаја у четвртном разреду

6.6.1. Космичко микроталасно позадинско зрачење

Космичко микроталасно позадинско зрачење (енгл. *Cosmic Microwave Background*, скр. *CMB*) је зрачење које „испуњава” свемир и може се детектовати у апсолутно свим правцима. С обзиром да је настало врло брзо након Великог праска, тачније 380 000 година касније, СМВ је најстарије зрачење које се може детектовати. Епоха у којој се формирају атоми, односно када је свемир био старости око 380 000 година и температуре око 3000K, назива се епохом рекомбинације, упркос чињеници да се електрони и језгра нису пре тога комбиновали у атоме. Наиме, пре тог периода, на температури већој од 3000K свемир је био врела, густа и непрозрачна плазма. Фотони нису могли слободно да се крећу, односно средњи слободни пут им је био неупоредиво мањи од димензија свемира – самим тим светлост није могла да изађе, константно интерагујући, тачније расејавајући се о електроне. Како се свемир ширио и хладио, плазма се рекомбиновала у неутралне атоме; прво водоник, касније и хелијум. Формирали су се атоми, околина се рашчистила и фотони су се пробили. Ти фотони чине

космичко микроталасно позадинско зрачење. С обзиром да се рекомбинација десила у исто време на исти начин у целом свемиру, очекивано је да је СМВ у било ком правцу посматрања исте температуре. Испоставило се да је у питању средња температура $T=2,725K$ са одступањима реда величине микрокелвина. Пошто је толико хладно, људско око га не види, оно је видљиво само у микроталасном делу спектра.

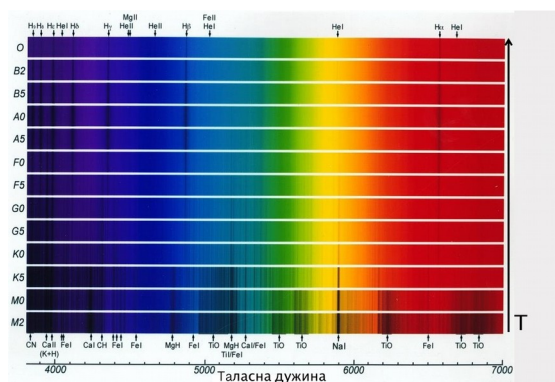
Спектар СМВ-а (слика бр. 32) одступа за око 0,03% од спектра савршеног црног тела. С обзиром да се из положаја максимума спектра термалног зрачења може наћи температура, за СМВ је измерена горе споменута средња температура $T=(2,725 \pm 0,001)K$. Мапа космичког микроталасног позадинског зрачења која се види на слици испод је добијена из података прикупљаних током интервала од девет година, а на њој се разликују те мале флукуације у температури раног свемира.



Слика бр. 32 – спектар (лево) и мапа (десно) космичког микроталасног позадинског зрачења

6.6.2. Звездани спектри. Херцшпрунг-Раселов дијаграм

Прву класификацију звезданих спектра, сачињену од спектра преко 200 хиљада звезда, формирао је Едвард Пикеринг уз помоћ Вилијамине Флеминг на основу јачине водоникових линија. Спектре је означио редом словима А, В, ... по опадајућем интензитету водоникове линије. Испоставило се да се остале линије не уклапају у ову класификацију, те Ени Џамп Кенон неколико година касније мења распоред спектра по температури, тако да именује класе спектра О, В, А, F, G, K, M¹⁵, где је О класа највеће температуре, а М најмање.



Слика бр. 33 – расподела спектра по температури

¹⁵ Ени је осмислила начин за лакше памћење редоследа класа, тако да представљају акроним за реченицу „Oh, Be A Fine Girl/Guy, Kiss Me”

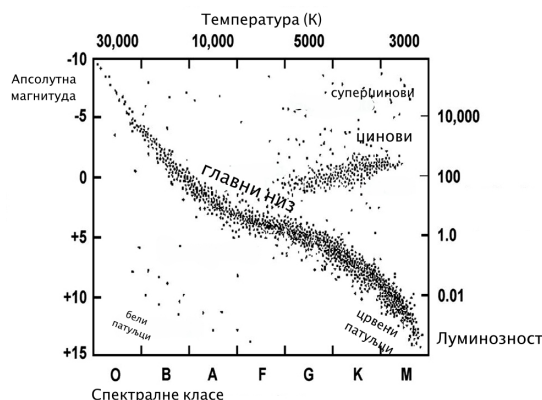
Са слике се може уочити да постоји некакав патерн, почевши од најочљивијег а то је да звезде ниских температура имају много више апсорпционих линија. То потиче од чињенице да је у тим условима молекулима омогућено да се формирају, док би се на високим температурама распали. Даље, изражене линије јонизованог хелијума и неких јонизованих тежих метала се виде у најтоплијим звездама, јер до јонизације може доћи тек на тим температурама. У најхладнијим звездама се губе линије водоника јер су температуре прениске да би се водоник могао побудити. С друге стране, појављују се линије тежих метала, јер они имају ниске енергије екситације.

Од температуре такође зависи и сјај звезда, тачније луминозност L што је укупна енергија коју звезда површинске температуре T и пречника R израчи са целе површине у јединици времена. Веза између луминозности и емисионе моћи, која је дефинисана раније, је:

$$L = 4 \pi R^2 E$$

$$L = 4 \pi R^2 \sigma T^4$$

Дату везу луминозности и температуре су независно нашли Ејнар Херцшпрунг и Хенри Норис Расел и представили дијаграмом, те је данас позната као Х-Р дијаграм:



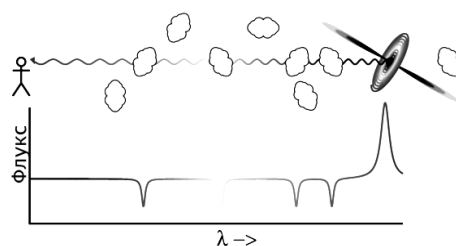
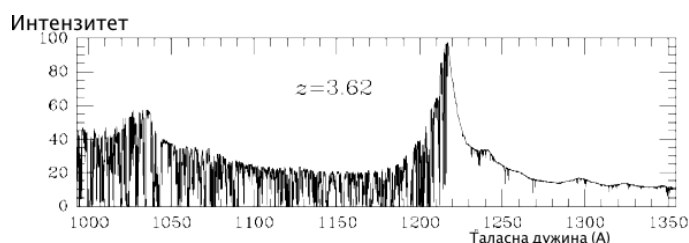
Слика бр. 34 – Х-Р дијаграм

Групе које се уочавају на дијаграму се називају класама луминозности. Наиме, различите класе луминозности представљају различите стадијуме живота звезде. Најдужи део живота је главни низ, те је и највише звезда управо у тој класи. Затим, област суперџинова и џинова су хладне црвене звезде, област белих патуљака су мале звезде високих температура. Закључак је да луминозност звезде зависи од температуре, али и њених димензија. Две звезде исте температуре различитих димензија имају различит сјај. За звезде главног низа постоји веза између њихове масе и луминозности $L \propto M^{3.5}$, па тако масивније звезде имају већу луминозност, што повлачи да брже троше енергију и краће живе. Сунце као звезда главног низа спада у класу G2V, са температуром површине око 6000K.

6.6.3. Лајман- α шума

Галаксије које у спектру показују интензивније зрачење него што би то показао колективни ефекат зрачења објеката које чине ту галаксију су активне галаксије и оне чине око 10% свих галаксија. Један тип активних галаксија су активна галактичка језгра (АГЈ), код којих то интензивно зрачење долази из подручја центра галаксије. Основни извор енергије ових објеката су супермасивне црне рупе које се налазе у њиховим центрима и око себе формирају диск материје коју увлаче. АГЈ се деле на неколико типова, с тим што према унификационом моделу, сви типови представљају један објекат посматран под различитим углом. То су Сајфертове галаксије, радио галаксије, блазари, квазари и објекти QSO (*quasi stellar object*). У спектру АГЈ се јављају јаке и широке емисионе линије. Специфично за спектре квазара су врло интензивне емисионе линије за које се уочава велики црвени помак. Неки од познатих квазара се заиста налазе на великом црвеном помаку ($z > 6$) што указује да потичу из раног свемира. Како су квазари изузетно далеко, то значи да ће њихово зрачење на путу до Земље слабити због интеракције са материјом на коју наиђе на том путу, као што су нпр. облаци гаса, што као последицу има појаву и доста апсорпционих линија. Највише апсорпционих линија припадаће водонику, будући да је то најзаступљенији елемент у свемиру.

Типичан спектар квазара (слика бр. 35) има емисиону Лајман- α линију, која одговара прелазу водоника из првог побуђеног на основно стање ($\lambda_{Ly\alpha} = 121\text{nm}$). Приликом поменуте интеракције зрачења, које потиче од квазара, са материјом на путу до Земље, тај фотон ће бити апсорбован у оближњем облаку гаса и искориштен за екситацију водоника, што се у спектру види као апсорпциона Лајман- α линија. Уколико фотон не би одмах интераговао, доживео би црвени помак и у неком даљем облаку гаса не би имао довољну енергију да екситује водоник. То значи да ће апсорпциону Лајман- α линију дати и емитовани фотон који је иницијално имао мању таласну дужину од 121nm , јер ако претрпи црвени помак, моћи ће да екситује водоник у неком удаљеном облаку гаса. Закључно, то значи следеће: у спектру квазара се види изражена емисиона Лајман- α линија, а на краћим таласним дужинама од тога велики број апсорпционих Лајман- α линија које све потичу од интеракције са облацима гаса на различитим растојањима од квазара. Што је апсорпциона линија на мањој таласној дужини, значи да је настала у гасу ближем Земљи. Овај скуп линија се назива Лајман- α шума.



Слика бр. 35 - Лајман- α шума(лево) и шема настанка исте (десно)

7. Закључак

У овом раду примарни циљ је био да се јасно утврди где се јавља корелација физике и астрономије у уџбеницима за физику. Ради тог циља анализирани су уџбеници и збирке за сва четири разреда природно-математичког смера гимназије. Додатни циљ је био бележење области, лекција, закона и слично у којима има простора за корелисање ових наука. У ту сврху је за сваку одговарајућу лекцију дат предлог на који начин се може извршити корелација, тачније којом појавом. То је посебно интересно јер се употпуњује градиво повезујући знања о појавама на Земљи са појавама у свемиру.

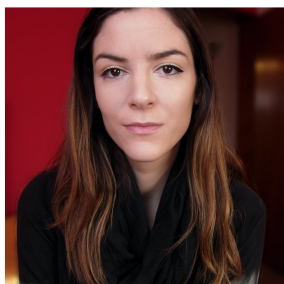
Генерално гледајући, корелација између астрономије и физике би се чак могла назвати дијагоналном с обзиром да се испоставило да се астрономија изучава само у четвртном разреду као посебна, одвојена тема, без обзира што је већина појава у њој већ изучавана на часовима физике у претходним разредима. За обраду астрономије не користе се уџбеници из физике. У првом разреду је постојећа корелација у уџбенику значајна узимајући у обзир обраду наставне области Гравитације. У другом, трећем и четвртном разреду су примери из астрономије већ скоро потпуно занемарени. Простор да градиво физике и астрономије буде испреплетено свакако да постоји, али тренутни програм то не предвиђа на тај начин.

Сматрам да би настава физике била богатија, али не и комплекснија, уколико би се у редовну наставу уградили примери из астрономије. Овај закључак не проистиче из личних преференци, већ из чињенице да синхронизација обраде различитих наставних предмета и њихових садржаја ученицима обезбеђује дубљу обраду информација, већи степен разумевања градива, систематизацију и генерализацију стечених знања, а у недостатку проналаска разлога због кога су примери из астрономије изостављени током изучавања физике.

8. Литература

1. Вујичић Б. & Ђуровић С. 1995. *Астрофизика са астрономијом, одабрана поглавља*, Природно-математички факултет, Нови Сад
2. Вујновић В. 1990. *Астрономија 1 – основе астрономије и планетски сустав*, Школска књига, Загреб
3. Вукићевић-Карабин М. & Атанацковић О. 2004. *Општа астрофизика*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд
4. Лазар, Д. & Богдановић И. 2019. *Основи методике наставе физике*, Природно-математички факултет, Нови Сад
5. Каделбург, Н. & Панић, К. 2014. *Физика за трећи разред гимназије*, Круг, Београд
6. Каделбург, Н. & Панић, К. 2014. *Збирка задатака и тестова за трећи разред гимназије*, Круг, Београд
7. Кука, М. 2007. *Дидактика*, Јанус, Београд
8. Младеновић, М. 2008. *Великани физике*, ПМФ Нови Сад
9. Мркаљ, З. 2010. *Појам корелације у методици наставе*, Београд
10. Morison, I. 2008. *Introduction to astronomy and cosmology*, John Wiley & Sons
11. Осмић И. & Томић Р. 2008. *Дидактика*, Сребреник
12. Продановић, Т. 2010. *Увод у спектроскопију за астрономе*, Природно-математички факултет, Нови Сад
13. Распоповић, М. О. 1992. *Методика наставе физике*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд
14. Чалуковић, Н. 2014. *Физика за први разред гимназије*, Круг, Београд
15. Чалуковић, Н. 2017. *Збирка задатака и тестова за први разред гимназије*, Круг, Београд
16. Чалуковић, Н. 2015. *Физика, уџбеник за други разред гимназије природно-математичког смера*, Круг, Београд
17. Чалуковић, Н & Каделбург Н. 2014. *Збирка задатака и тестова за други разред гимназије*, Круг, Београд
18. Чалуковић, Н. 2014. *Физика за четврти разред гимназије*, Круг, Београд
19. Чалуковић, Н. 2014. *Збирка задатака и тестова за четврти разред гимназије*, Круг, Београд
20. Министарство просвете, науке и технолошког развоја: *Правилник о наставном програму за гимназије*
21. <https://www.exploratorium.edu/>

9. Биографија кандидата



Соња Смиљанић је рођена 1993. године у Сомбору, где је завршила основну школу „Братство-јединство”, а затим Гимназију „Вељко Петровић”. По завршетку гимназије уписује основне студије Астрономије са астрофизиком на Департману за физику Природно-математичког факултета у Новом Саду. Пред сам крај полаже разлику предмета ради уписа на интегрисане студије Мастер професор физике.

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број:

RBR

Идентификациони број:

IBR

Тип документације:

TD

Монографска документација

Тип записа:

TZ

Текстуални штампани материјал

Врста рада:

VR

Мастер рад

Аутор:

AU

Соња Смиљанић

Ментор:

MN

др Ивана Богдановић

Наслов рада:

NR

Преглед примера из астрономије у гимназијским уџбеницима из физике са додатним предлозима

Језик публикације:

JP

Српски (ћирилица)

Језик извода:

JI

Српски/енглески

Земља публиковања:

ZP

Република Србија

Уже географско подручје:

UGP

Војводина

Година:

GO

2020

Издавач:

IZ

Ауторски репринт

Место и адреса:

MA

Природно-математички факултет, Трг Доситеја Обрадовића 4,
Нови Сад

Физички опис рада:

FO

6/58/1/0/35/0/0

Научна област:

NO

Физика

Научна дисциплина:

ND

Методика наставе физике

Предметна одредница/

кључне речи:

PO

UDK

Корелација наставних садржаја, астрономија, примери,
гимназијски уџбеници

Чува се:

ЃU

Важна напомена:

VN

Библиотека департмана за физику, ПМФ-а у Новом Саду

Нема

Извод:

IZ

У раду је дат преглед примера из астрономије у гимназијским
уџбеницима из физике. Поред тога дати су предлози за
примере корелација између физике и астрономије који нису
обухваћени уџбеницима из физике.

Датум прихватања теме од

НН већа:

DP

Датум одбране:

DO

Чланови комисије:

KO

Председник:

члан:

члан:

др Маја Стојановић

др Ивана Богдановић

др Лазар Гавански

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Monograph publication

Type of record:

TR

Textual printed material

Content code:

CC

Final paper

Author:

AU

Sonja Smiljanić

Mentor/comentor:

MN

dr. Ivana Bogdanović

Title:

TI

Review of Astronomy Examples in Grammar School Physics
Textbooks with Additional Suggestions

Language of text:

LT

Serbian (Cyrillic)

Language of abstract:

LA

English

Country of publication:

CP

Republic of Serbia

Locality of publication:

LP

Vojvodina

Publication year:

PY

2020

Publisher:

PU

Author's reprint

Publication place:

PP

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4,
Novi Sad

Physical description:

PD

6/58/1/0/35/0/0

Scientific field:

SF

Physics

Scientific discipline:

SD

Methodology of teaching physics

<i>Subject/ Key words:</i>	Correlation of Grammar school materials, astronomy, examples,
SKW	Grammar school textbooks
UC	
<i>Holding data:</i>	Library of Department of Physics, Faculty of Science and
HD	Mathematics
<i>Note:</i>	None
N	
<i>Abstract:</i>	The thesis gives an overview of examples from astronomy in
AB	Grammar school physics textbooks. In addition, it provides
	propositions for examples of correlations between physics and
	astronomy that are not covered in physics textbooks.
<i>Accepted by the Scientific</i>	
<i>Board:</i>	27.8.2020.
ASB	
<i>Defended on:</i>	10.9.2020.
DE	
<i>Thesis defend board:</i>	
DB	
<i>President:</i>	dr. Maja Stojanović
<i>Member:</i>	dr. Ivana Bogdanović
<i>Member:</i>	dr. Lazar Gavanski