



ТЪМНАТА МАТЕРИЯ В КЛАСНАТА СТАЯ

Симона Стоянова, Анета Маринова

Профилирана езикова гимназия „Никола Йонков Вапцаров“ – Шумен

Резюме. Този доклад илюстрира една възможност за използване на съвременните компютърни технологии за включване на ученици в реални изследователски проекти, за осъвременяване на учебното съдържание и за увеличаване на броя на учебните часове, свързани с астрономията.

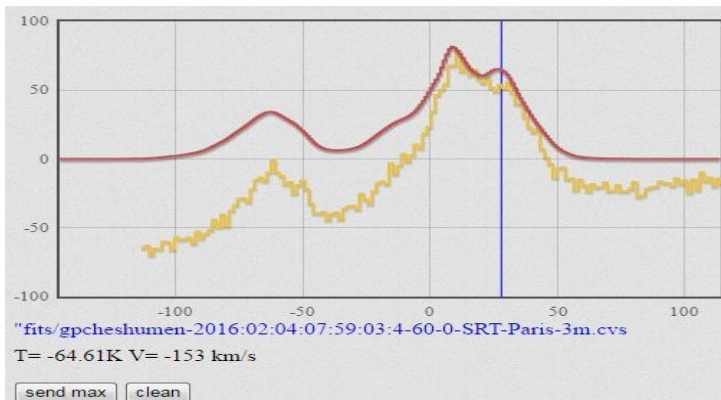
Keywords: radio telescopes; dark matter; students

През 2012 г. в Европейската организация за ядрени изследвания (ЦЕРН) експериментално бе потвърдено съществуването на Хигс бозона. През 2015 г. бяха регистрирани дълго търсените гравитационни вълни. За да се вдъхновят от науката и да я изберат за своя професия, младите хора трябва да знаят какво се случва на нейния „преден фронт“, кои са големите въпроси, които чакат отговор. Това може да стане реалност, като се включат учениците с интереси в дадена област в истински изследователски проекти, в които учител и ученик стават партньори.

Ще представим проведените от ученици в Профилираната езикова гимназия „Н. Й. Вапцаров“ – Шумен, наблюдения на Млечния път с роботизирани радиотелескопи. Получените астрономически данни са използвани за: построяване на ротационната крива на Млечния път; изследване на разпределението на неутралния водород в галактичната равнина; из-

следване на разпределението на неутралния водород с издигане над галактичната равнина.

Началото поставиха Дамян Бойчев и Симеон Бойчев през 2016 година, когато бяха ученици в XI клас на Профилираната гимназия с преподаване на чужди езици „Н. Й. Вапцаров“ (от септември 2016 г. Профилирана езикова гимназия „Н. Й. Вапцаров“). Към настоящия момент те са студенти първокурсници. Работата бе продължена от Огнян Симеонов и Симона Стоянова, които сега са ученици в XII клас. Експерименталните данни са получени чрез SRT Network – мрежа от роботизирани радиотелескопи, с които учениците от европейските училища могат да провеждат дистанционни наблюдения на Млечния път. Тази мрежа е създадена и се поддържа в рамките на проекта Hands-On Universe, Europe¹⁾, финансиран по програмата „Учене през целия живот“. Оборудването на телескопите измерва и записва интензитета на електромагнитните вълни с дължина на вълната 21 сантиметра, излъчвани от неутралния водород, т.нар. HI. Създаден е общодостъпен архив от експерименталните данни. Когато потребителят избере запис от архива, интерфейсът представя графично зависимостта на яркостната температура (Ivanov, 2003) на лъчението от радиалните скорости на излъчващите облаци водород, лежащи на един зрителен лъч (фиг. 1). Температурата е мярка и за интензитета на лъчението. Най-десният пик е от излъчването на най-близкия до галактичния център облак.²⁾ При кликуване върху него интерфейсът изчислява радиалната скорост на облака и разстоянието му до центъра на Галактиката.

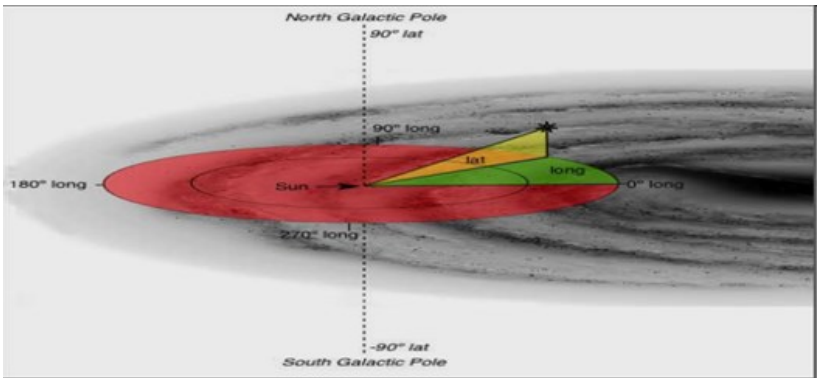


Фигура 1. Зависимост на яркостната температура от радиалните скорости

От февруари 2016 г. до септември 2017 г. направихме резервация на наблюдателно време и проведохме наблюдения с радиотелескопите на университета „Пиер и Мария Кюри“ в Париж и с радиотелескопа на партниращия университет в Краков (фиг.2).

	num	user	l	b	radio telescope	Дата
	9791	gpcheshumen	20	0	SRT-Paris-3m	2016-02-04 07:04:51
	9792	gpcheshumen	25	0	SRT-Paris-3m	2016-02-04 07:11:15
	12981	gpcheshumen	139	0	SRT-Krakow-3m	2017-09-08 06:27:53

Фигура 2. Запис от архива



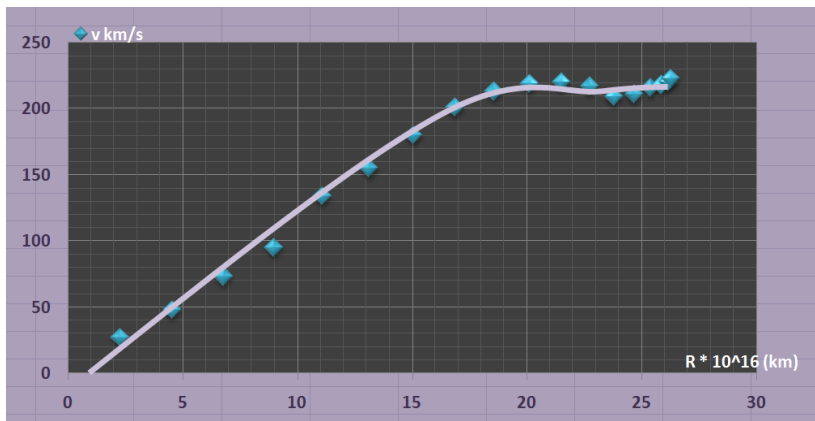
Фигура 3. Галактична координатна система

Таблица 1. Експериментални данни за построяване на ротационна крива

num	user	l	b	radio telescope	Дата	l	R (km) * 10 ¹⁶	v km/s
9791	gpcheshumen	20	0	SRT-Paris-3m	2016-02-04 07:04:51	5	2,29	27
9792	gpcheshumen	25	0	SRT-Paris-3m	2016-02-04 07:11:15	10	4,56	48
12981	gpcheshumen	139	0	SRT-Krakow-3m	2017-09-08 06:27:53	15	6,80	73
						20	8,98	95
						25	11,10	134
						30	13,14	155
						35	15,07	180
						40	16,89	201
						45	18,58	213
						50	20,12	219
						55	21,52	220
						60	22,75	217
						65	23,81	209
						70	24,69	211
						75	25,40	216
						80	25,87	218
						85	26,17	220
						90	26,37	222

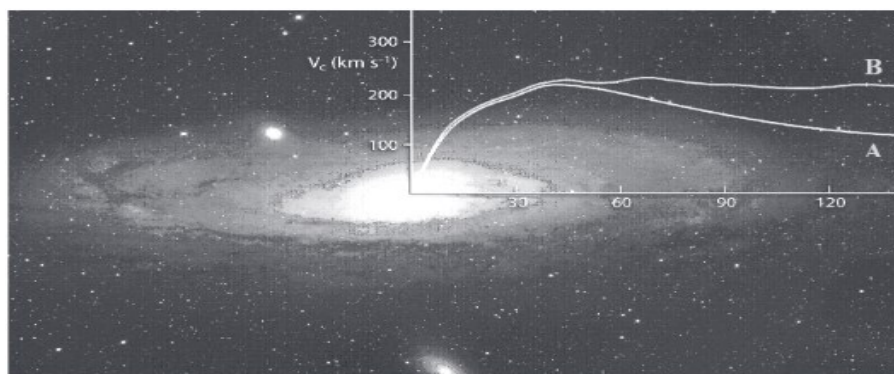
При всяко от тях променяхме посоката на зрителния лъч на телескопа, като задавахме различни стойности на галактичните координати: галактична дължина (l) и галактична ширина (b) (фиг.3). За построяването на ротационната крива на Млечния път задавахме стойност 0^0 на

галактичната ширина b , а на галактичната дължина ℓ – стойности от 0° до 90° . Така зрителният лъч се плъзга в първи квадрант на галактичната равнина. След като обработихме данните с инструментариума на проекта, получихме отразените в таблица 1 резултати за радиалните скорости v на излъчващите облаци неутрален водород и разстоянията им до галактичния център R . С тези данни построихме ротационната крива на неутралния водород в Млечния път (фиг. 4). Тя представя зависимостта на радиалната скорост v на излъчващото вещество от разстоянието до галактичния център R . От графиката ясно се вижда, че на разстояния, по-големи от $20 \cdot 10^{16}$ км, скоростта остава почти постоянна. По-отдалечените звезди, от по-слабо населените региони, се движат почти толкова бързо, колкото и по-близките. Подобен е видът на кривите за всички спирални галактики (фиг. 5) (Petrov & Dechev, 2010). „Това, което виждаш в спиралните галактики, не е това, което получаващ“, казва Вера Рубин, която заедно с Кент Форд изследва движението на тези звездни формирования и стига до проблема с липсващата маса. Законите на Нютон и Кеплер, приложени към видимата маса във вътрешността на орбитите на отдалечените звезди, показват, че тя не е достатъчна да задържи в орбита толкова бързо движещи се обекти.



Фигура 4. Ротационна крива на Млечния път

Днес много учени приемат, че неочакваното по-бързо въртене на веществото с отдалечаване от центъра на галактиките се дължи на невидима тъмна материя (Topilskaya, 2015). Тя би трябвало да е сферично симетрично разположена около центъра и да е разпространена на много по-голямо разстояние от излъчващата материя.

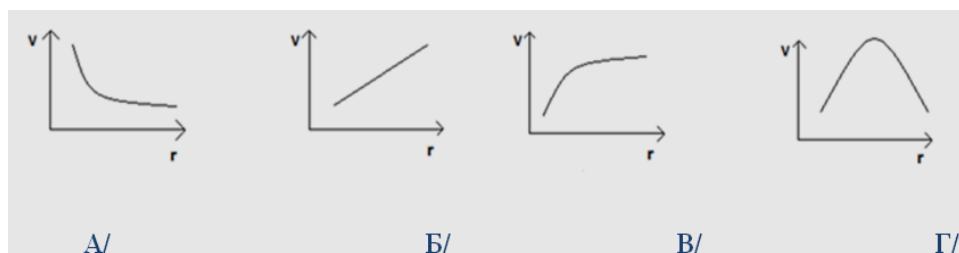


Ротационна крива на типична спирална галактика: теоретично предсказана от законите на Кеплер (A) и реално наблюдавана (B)

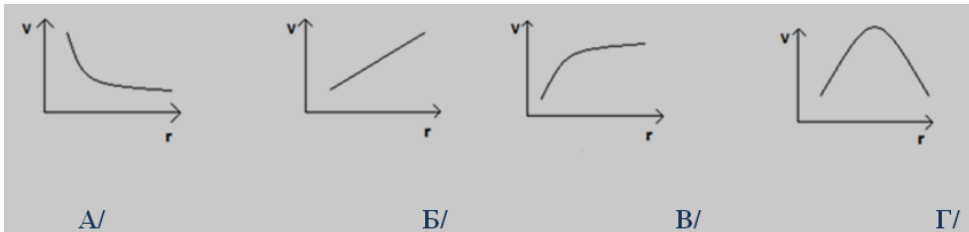
Фигура 5. Ротационна крива на спирална галактика

Формата на кривата, която построихме по наблюдателни данни, е много близка до получената от учените и може да бъде използвана за запознаване на по-широк кръг от ученици с идеята за тъмната материя. Това може да се случи чрез работа по проект, в часовете за физичен практикум или в семинарни занятия. Симеон Бойчев и Дамян Бойчев предлагат един вариант за реализация на тази възможност. Те създадоха работен лист за лабораторно упражнение³⁾, като приложиха изследователски подход в обучението. Целта е учениците да се поставят в ролята на откриватели: да построят ротационна крива на Млечния път и чрез съпоставянето на експериментално получената с теоретично предсказаната форма да стигнат до идеята за съществуването на тъмната материя. Тук са представени три от задачите в упражнението.

Коя графика представя изменението на орбиталната скорост на планетите в Слънчевата система с отдалечаване от Слънцето?



Разгледайте формата на експериментално построената от вас крива. До коя от графиките е най-близка?



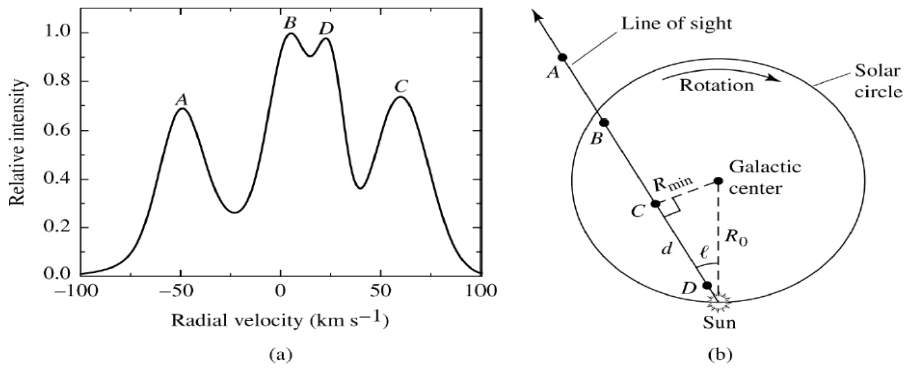
...направете предположение на какво се дължат различията.

.....
.....
.....

Дамян и Симеон подготвиха и качиха в YouTube видеоръководство⁴⁾ за работа с интерфейса на проекта EU HOU, което помага на учениците при работата им.

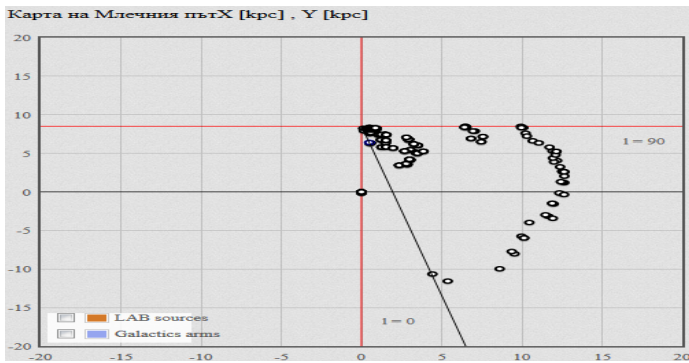
Упражнението е апробирано с ученици от XI клас. Целта бе да се провери дали един учебен час е достатъчен за изпълнение, дали задачите са ясно формулирани и дали са достъпни. Работните листове бяха попълнени в електронен вариант. Изпълнението отне около 30 минути, като използваните страници в интернет бяха отворени на всички компютри предварително. Остана достатъчно време, за да се запознаят учениците в края на часа с предвидения кратък филм за тъмната материя. След апробацията учениците посочиха къде трябва да се прецизират указанията за работа и кои източници на информация са по-добри.

На уебсайта на проекта Hands on Universe има учебен ресурс за построяването на ротационната крива. В хода на работата ние постепенно усвоявахме и осмисляхме функционалните възможности на използвания софтуер. Стана ясно, че с получените данни може да визуализираме положението на неутралния водород в равнината на Галактиката.

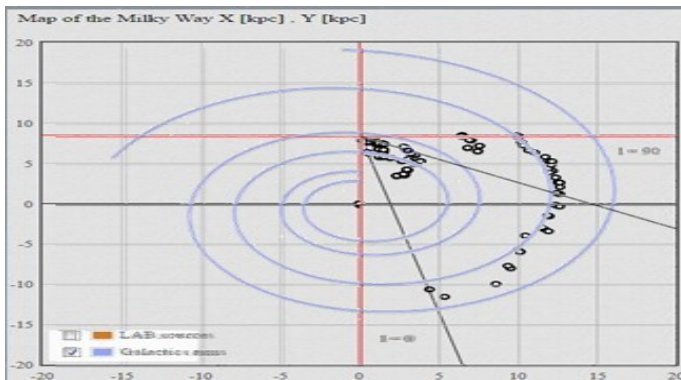


(a) Plot of Hydrogen 21-cm emission along a line-of-sight from the Sun. (b) A diagram showing the positions of the 4 Hydrogen clouds (A,B,C,D) relative to the Sun. Note that the cloud with the smallest R (cloud C) has the largest radial velocity

Фигура 6. Определяне на разстояние до излъчващи облаци



Фигура 7. Разпределение на неутралния водород



Фигура 8. Разпределение върху спирални ръкави

Интерфейсът позволява да се определи разстоянието до няколко излъчващи облака, лежащи на един зрителен лъч (фиг. 6) и да се представи положението им в координатна система. За целта използвахме проведените наблюдения за галактични дължини ℓ от 0^0 до 90^0 при галактична ширина $b=0$, но този път замервахме всички пикове, а не само най-десния (фиг.1). В резултат получихме разпределение на неутралния водород в първи квадрант на галактична координатна система, което е представено на фиг. 7. Вижда се, че излъчващото вещество не е равномерно разпределено, а е концентрирано в определени области. При наслагване на спиралните ръкави на Млечния път върху полученото разпределение се получи значително съвпадение (фиг. 8). Този резултат е едно от вероятните обяснения на факта, че младите и горещи звезди и процесите на звездообразуване се наблюдават предимно в спиралните ръкави на Галактиката, където има голямо количество водород (Topilskaya, 2015). А методът на изследване показва как наблюдател, намиращ се в равнината на наблюдение, може да види „невидимото“ – спиралната структура на Млечния път.

	num	user	ℓ	b	radio telescope	Date	
	11167	gpcheshumen	35	90	SRT-Krakow-3m	2016-11-18 10:28:54	
	11168	gpcheshumen	35	80	SRT-Krakow-3m	2016-11-18 10:30:43	
	11169	gpcheshumen	35	70	SRT-Krakow-3m	2016-11-18 10:32:56	
	11170	gpcheshumen	35	60	SRT-Krakow-3m	2016-11-18 10:36:04	
	11171	gpcheshumen	35	50	SRT-Krakow-3m	2016-11-18 10:38:04	
	11172	gpcheshumen	35	40	SRT-Krakow-3m	2016-11-18 10:40:12	
	11173	gpcheshumen	35	30	SRT-Krakow-3m	2016-11-18 10:43:10	
	11174	gpcheshumen	35	20	SRT-Krakow-3m	2016-11-18 10:46:32	
	11175	gpcheshumen	35	10	SRT-Krakow-3m	2016-11-18 10:48:57	
	11176	gpcheshumen	35	0	SRT-Krakow-3m	2016-11-18 10:51:10	

Фигура 9. Част от архива

Изследването на разпределението на водорода в галактичната равнина доведе до идеята да проверим какво се случва с издигане над равнината. За мярка на количеството водород приехме яркостната температура T , защото може да се докаже, че между двете величини съществува правопрпорционална зависимост. Резервирахме наблюдателно време и проведохме наблюденията, като при фиксирана стойност на галактичната дължина ℓ замервахме интензитета на HI през 5^0 на галактичната ширина b . След това задавахме нова стойност на ℓ и повтаряхме процедурата (фиг. 9).

В архива издирихме още измервания за галактични ширини, различни от 0, направени от други наблюдатели. За всяко от тези наблюдения измерихме яркостната температурата на HI. Резултатите са представени в таблица 2. В по-тъмнен нюанс са стойностите от наблюденията, които сме провели самостоятелно.

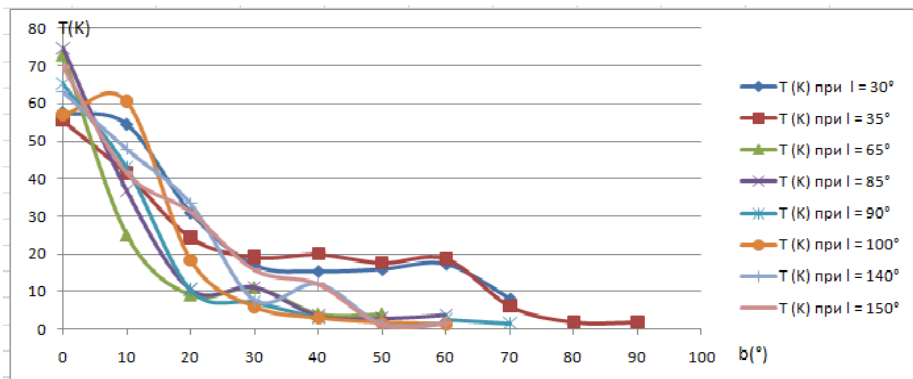
На фиг. 10 е представена графично получената зависимост на яркостната температура T от галактичната ширина b . Вижда се, че с нарастване на

галактичната ширина температурата бързо намалява. Същата зависимост е в сила и за неутралния водород. Може да се направи извод, че той е разположен преимуществено в галактичната равнина и количеството му силно намалява с издигане над нея.

Таблица 2. Експериментални данни от наблюденията, при които зрителният лъч се издига над галактичната равнина

$b(^{\circ})$	Т (К)							
	при $l = 30^{\circ}$	при $l = 35^{\circ}$	при $l = 65^{\circ}$	при $l = 85^{\circ}$	при $l = 90^{\circ}$	при $l = 100^{\circ}$	при $l = 140^{\circ}$	при $l = 150^{\circ}$
0	57,45	55,55	73	74,78	65,3	57	63,09	69,57
10	54,31	41,46	25	36,76	42,94	60,57	47,84	41,49
20	30,87	24,43	9	10,52	10,52	18,39	33,34	31,18
30	16,85	19,2	11	11,12	7,17	5,92	7,64	15,81
40	15,25	19,98	4	3,55	3,05	2,99	11,96	12,05
50	15,8	17,68	4	2,87		1,74	1,33	1,23
60	17,17	18,79		3,78	2,67	1,38	1,52	1,65
70	7,94	6,21			1,6			
80		1,96						
90		1,96						

Данни, взети от общодостъпния архив на <http://euhoi.obspm.fr/public/archive.php>, извлечени с телескопите SRT-Krakow-3m и SRT-Ramplihosa-3m; проведени самостоятелни наблюдения при $l = 35^{\circ}, 65^{\circ}$ и 85° с SRT-Krakow-3m.



Фигура 10. Графика на зависимостта T/b

Съвременните технологии дават възможност на учениците и учителите да работят съвместно в реални изследователски проекти и да получават значими резултати. Този доклад представя едно такова партньорство, но извън страниците му остават достижения, които имат не по-малка стойност. Най-ценното от тях е запаленото любопитство към науката.

Благодарност. Изказваме благодарност към доц. д-р Борислав Станишев Борисов за ценните съвети по редакцията на статията.

NOTES/БЕЛЕЖКИ

1. www.euhou.net
2. http://euhou.obspm.fr/public/Milky_Way_Rotation_A4.pdf
3. <http://innovativeteachersbg.org/SchumenKonference>
4. <https://www.youtube.com/watch?v=suQiT6YE6Eo>

REFERENCES/ЛИТЕРАТУРА

- Ivanov, G.R. (2003). *Obshta astrofizika*. Sofia: Faculty of Physics [Иванов, Г.Р. (2003). *Обща астрофизика*. София: Физически факултет].
- Petrov, G. & Dechev, M. (2010). Тъмната материя в галактиките (pp. 114 – 118). In: *Astromical calendar 2011*. Sofia: Marin Drinov [Петров, Г. & Дечев, Г. (2010). Тъмната материя в галактиките (с. 114 – 118). В: *Астрономически календар за 2011*. София: Проф. Марин Дринов].
- Topilskaya, G.P. (2015). *Fizika mezhzvezdnykh sredi: uchebnoe posobie*. Moskva – Berlin: Dicekt – Media [Топильская, Г.П. (2015). *Физика межзвездной среды: учебное пособие*. Москва – Берлин: Директ – Медиа].

DARK MATTER IN THE CLASSROOM

Abstract. This report illustrates a possibility for using modern computer technologies for the purpose of involving students in real research projects, modernizing the educational content and increasing the number of astronomy classes. Students acquire methodological skills, they profit from their knowledge in physics and computer sciences and see their application in real life.

✉ **Ms. Simona Stoyanova (student)**

✉ **Ms. Aneta Marinova, teacher (corresponding author)**

Secondary Language School
9700 Shumen, Bulgaria
E-mail: aneta_mariniva@abv.bg