

РЕГИОНАЛНИ ЦЕНТАР ЗА ТАЛЕНТЕ ВРАЊЕ

**ИЗРАЧУНАВАЊЕ ВРЕДНОСТИ МАГНЕТНОГ ПОЉА И УКУПНЕ
ЕНЕРГИЈЕ ОСТАТКА СУПЕРНОВЕ G1.9+0.3**

**CALCULATING THE VALUE OF THE MAGNETIC FIELD AND THE
TOTAL ENERGY OF THE SUPERNOVA REMNANT G1.9+0.3**

Аутор:

ПЕШИЋ МАРИЈАНА, ученица 4.разреда Гимназије „Стеван Јаковљевић“, Власотинце

Члан фондације даровитих: „Христифор Црниловић-Кица“, Власотинце

Ментор:

ВЕЉКОВИЋ МАЈА, професор физике

Власотинце 2015.

ИЗРАЧУНАВАЊЕ ВРЕДНОСТИ МАГНЕТНОГ ПОЉА И УКУПНЕ ЕНЕРГИЈЕ ОСТАТКА СУПЕРНОВЕ G1.9+0.3

CALCULATING THE VALUE OF THE MAGNETIC FIELD AND THE TOTAL ENERGY OF THE SUPERNOVA REMNANT G1.9+0.3

Аутор:

ПЕШИЋ МАРИЈАНА, ученица 4.разреда Гимназије „Стеван Јаковљевић“, Власотинце

Члан фондације даровитих: „Христифор Црниловић-Кица“, Власотинце

Ментор:

ВЕЉКОВИЋ МАЈА, професор физике

РЕЗИМЕ:

У овом раду се анализира најмлађи познати галактички остатак супернове који носи ознаку G1.9+0.3. Старост овог остатка супернове одређена је комбиновањем података из NASA's Chandra опсерваторије у X-подручју и VLA радио-опсерваторије.

Циљ овог рада је да рачунским операцијама одредимо вредност магнетног поља B за минималну вредност укупне енергије $E_{u, min}$, да израчунамо спектрални индекс помоћу вредности које имамо на располагању као и сама анализа еволуције спектралног индекса.

Кључне речи:остатак супернове G1.9+0.3, вредност укупне енергије, вредност магнетног поља, спектрални индекс, експанзија остатка супернове

SUMMARY:

We analyze the youngest supernova remnant labeled G1.9+0.3. Age of the supernova remnant is determined by combining data from NASA's Chandra X-ray observatory and VLA radio-observatory. The aim is to determine with the arithmetic operations the value of the magnetic field B and minimum value the total energy $E_{u, min}$, to calculate the spectral index using value that we have available and analyze the evolution of the spectral index.

Key words:supernova remnant G1.9+0.3, the value of the total energy, the value of the magnetic field, spectral index, the expansion of the supernova remnant

УВОД

Број познатих експлозија супернових и њихових остатака у нашој галаксији није много велики. Просечан „живот“ једног остатка супернове износи око 30 000 година, док неки остаци преживе и више од 100 000 година, у зависности од средине (околине) у којој се експлозија десила.

Пре неколико година, група астронома окупљена око професора Стефана Рејнолдса (Stephen Reynolds) са North Carolina State University-та пронашла је нови остатак супернове у непосредној близини нашег галактичког центра који је касније добио ознаку G1.9+0.3.

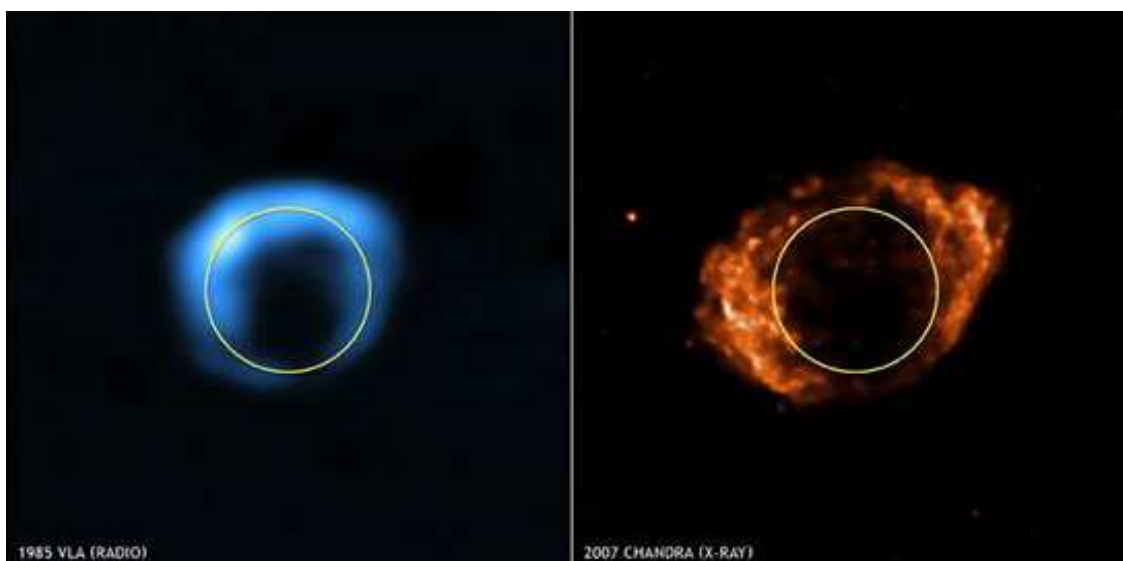
У ствари за овај остатак се знало још од средине 1984. године, идентификован од стране Грина и Гула на основу посматрања вршених са VLA радио-телескопа, али нико није био сигуран у старост овог објекта. Угловни пречник овог остатка је око 1 arcmin што га сврстава међу угловно најмање остатке у нашој галаксији. И иако његова удаљеност није била позната за време открића, било је очигледно да је у питању млад SNR због његове стварне величине.

G1.9+0.3 је један од ретких младих супернових.

Откриће SNRG1.9+0.3и његове основне карактеристике

Професор Рејнолдс користио је податке са Чандра (Chandra) опсерваторије (у X-подручју) и утврдио да је овај необичан објекат у ствари остатак експлозије која се, по њему, десила пре 140-150 година. Поред тога, VLA радио-посматрања показала су и другу страну ове експлозије. Иако је исти механизам (нетермални или синхротонски) одговоран за облике овог објекта, он је веома различитог изгледа у X и радио-подручју на основу података са VLA (слика 1). Овај остатак је удаљен око 8 крс. Стога чињеница да се поменути SNR налази близу густо насељеног центра Млечног пута имплицира на потешкоће у добијању довољно података.

Остаци супернове зраче доминантно нетермално у радио-домену и имају незанемарљив и изузетно важан утицај на међузвездану материју због тога што су богати тежим елементима и ослобађају знатне количине енергије током експлозије.



Слика 1. Упоредње 1985 радио-подручја са 2007X-подручјем

Picture 1. Comparison 1985 Radio with 2007 X-ray

Ударни таласи који настају у експлозији супернове загревају и обликују међузвездану материју, те компресују магнетно поље и убрзавају космичке зраке. Изглед љуске кружног облика често је нарушен интеракцијом са међузвезданом материјом која је неравномерно распоређена у околини остатка.

Скорашња посматрања овог галактичког остатка супернове извршена су на 4.86 GHz са VLA и упоређени су резултатима са ранијим посматрањем на 1.49 GHz који има упоредиву резолуцију 10×4 arcsec. Ово показује да се радио-емисија од овог остатка значајно проширила, за неких 15% за 23 године, са спољашњим пречником од 92 arcsec. Овакво ширење доказује да је G1.9+0.3 најмлађи галактички остатак супернових досада откривен. Посматрања на нижим фреквенцијама од 1.49 GHz су такође разматрана, и указују на повећање интегралне густине флукса G1.9+0.3.

1. Подаци добијени из посматрања SNRG1.9+0.3

Публиковано је неколико посматрања остатка G1.9+0.3 помоћу VLA радио-телескопа на 4.86GHz и на 1.49GHz .

Скорашња Чандра посматрања су открила да је G1.9+0.3 један од ретких остатака који зрачи у X-подручју, и где доминира синхротонско зрачење уместо термалног.

У даљем тексту представљена су скорашња радио-посматрања (из 2008.) помоћу VLA којасемогуупоредитисастаримпосматрањима (из 1985.)насличној резолуцији, али на

другим фреквенцијама, са циљем одређивања вредности магнетног поља B укупне минималне енергије $E_{u, min}$.

1.1 Поређење посматрања из 1985. и 2008. године

G1.9+0.3 је 2008. године био посматран са VLA радио-телескопа на 4.86 GHz у C конфигурацији. Резолуција ових посматрања приближно се и поклапа са посматрањима која су урађена 1985. године на 1.49 GHz у B конфигурацији (Табела 1).

	Посматрања из 1985.	Посматрања из 2008.
Датум	16.4.1985.	12.03.2008.
Конфигурација	B	C
Фреквенција	1.49 GHz	4.86 GHz
Експозиција	25 min	29 min
Примарна калибрација	3C286	3C286
Добијена густина флука	14.70 Jy	7.49 Jy
Секундарна калибрација	B1829-106	J1751-251
Добијена густина флука	0.927 Jy	0.569 Jy

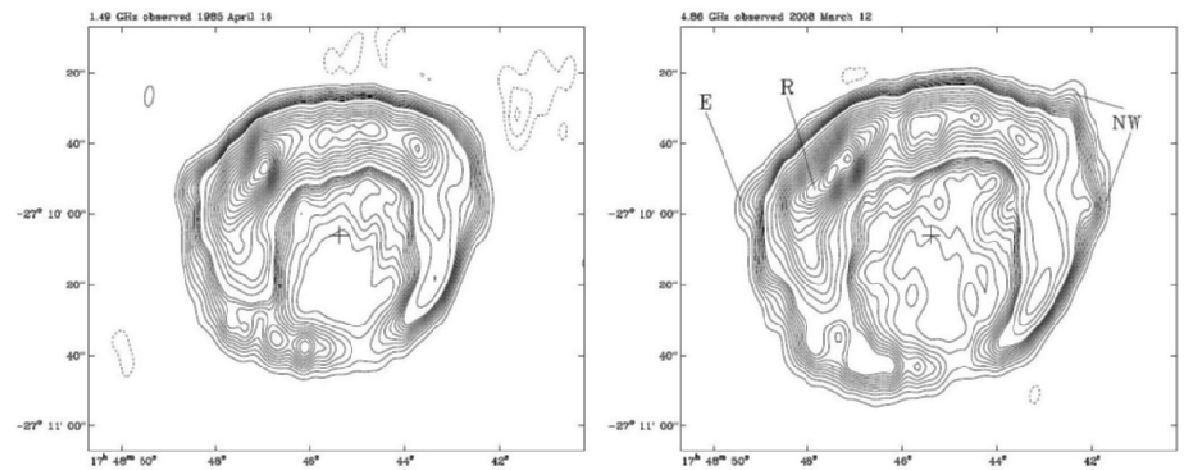
Табела 1. Подаци посматрања из 1985. и 2008.

Table 1. Data observation of 1985. and 2008.

Нова посматрања су обрађена помоћу стандардних техника у AIPS-у. Подаци који су били оштећени су означени, скала флука је била калибрисана на основу посматрања коришћењем 3C286. Ранија посматрања на 1.49 GHz су такође прерађена. Иако је дужина експозиције G1.9+0.3 слична у оба случаја, детаљи UV покривања су различити, због разлике звезданог времена, недостатка неких антена и означавања оштећених података.

Према томе, системски снопови су мало другачији. За испитивање ширења направљене су слике са истом резолуцијом ради упоређења (слика 2).

Позиционо поравнање ових слика је било постигнуто помоћу привидне позиције збијеног извора који је отприлике 1.4 arcmin према северу од центра остатка супернове. Мора се нагласити да ранија посматрања на 1.49 GHz највероватније немају довољно информација да потпуно одреде зрачење са G1.9+0.3. За посматрање на 4.86 GHz у C конфигурацији највећа угаона величина добро снимљена са пуном синтезом је 5 лучних минута – пошто C конфигурација нема исте размере као B конфигурација, али има бољу покривеност.



Слика 2. Лево: 1.49 GHz из 1985. године - Десно: 4.86 GHz из 2008. године

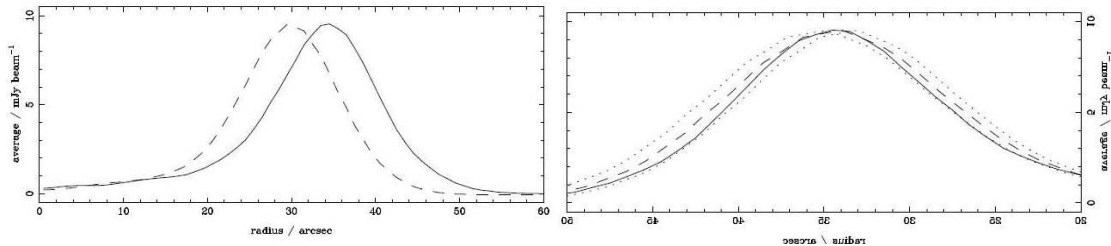
Picture 2. Left: 1.49GHz of 1985. – Right: 4.86 of 2008.

Због датих проблема са недостатком зрачења великих размера у посматрањима на 1.49 GHz, такође је урађено неколико кратких посматрања G1.9+0.3 на 1.43 GHz у истом посматрачком делу као када је посматрано на 4.86 GHz, са циљем провере временске варијације у густини флукса G1.9+0.3. Ова провера се састојала од два кратка (\square 4 min) скенирања G1.9+0.3, заједно са граничним калибрацијским посматрањем 3C286 да би се наместила скала крајње густине флукса (са претпостављеном густином флукса од 14.7 Jy), и приближном секундарном калибрацијом J1751-253. Резултати ових мерења и посматрања разматраће се у даљим деловима рада.

2. Експанзија и структура

На слици 2 се види да постоји ширење остата G1.9+0.3 у радио-подручју између 1985. и 2008. године. Да би се одредило направљен је радиални профил зрачења обе слике (слика 3), уређен по свим угловима, од центра који је прилагођен да максимизује врх радијског профила из 2008. Ова позиција је на $17^{\text{h}} 48^{\text{m}} 45^{\text{s}}$, $27^{\circ} 10' 6''$, J2000 што је близу геометријског центра остатка супернове. Поново скенирање радијалног профила из 1985. указује на просечно ширење од 15% између 1985. и 2008. (0.65% годишње). Ширење је нагнуто према очекивано сјајнијој страни остатка супернове (северна и североисточна страна). Овај резултат потврђује да је потребно одређено ширење да би се поклопиле границе са резултатима добијеним X-посматрањима. Ако предпоставимо слободно ширење, то би указивало на старост од 150 година за G1.9+0.3, што онда представља

најмлађи познати галактички остатак супернове. Претпоставља се да је остатак супернове током ових година мењао брзину ширења. Веома велика апсорпција Х-зрака указује на то да је G1.9+0.3 релативно близу центру галаксије. А ако се узме у удаљеност од 8.5кpc, старост од 150 година и спољашњи радио-пречник од 92 arcsecто одговара брзини ширења од 12000km/s.



Слика 3. Слика лево: радијални профил радио-емисије за G1.9+0.3, испрекидана линија је из 1985. док је пуна из 2008. године – Слика десно: скаларни профил из 1985. проширењем од 12% (тачкаста крива), 15% (испрекидана) и 18% (тачкаста крива)

Picture 3. Left: the radial profile of the radiation of radio-emission- Right: Scalar profile of 1985.

3. Повећање сјаја

Пошто је G1.9+0.3 млад остатак супернове, очигледно је запитати се како се густина радиофлуksа мења са временом. Табела 2 показује доступне вредности густине флуksа G1.9+0.3 у данашњој литератури. Ова посматрања су направљена разноврсним инструментима и резолуцијама, али густина флуksа није на конзистентним скалама, што прави потешкоће при поређењу. Ипак, постоји доказ да се густина флуksа повећавала током последњих неколико деценија. Комбиновањем интегрисане густине флуksа из нових посматрања дају спектрални индекс α за радио-емисију од 0.72 ± 0.06 . Грешка у овом спектралном индексу користи 5% варијације у појединим густинама флуksа, не укључујући било коју могућу систематску неодређеност релативне скале посматрања густине флуksа.

Радио-посматрања супернових показују повећање сјаја током времена због смањивања непрозрачности. Након тога, радио-супернове показују стабилно опадање зрачења.

Предвиђања повећања сјаја се могу направити само на основу теорије о убрзању честица и утицаја магнетног поља. Па се може израчунати густина енергије релативистичких честица, магнетно поље, а стога и синхронска луминозност.

Густина радио-флуksа за G1.9+0.3				
ν / MHz	S / Jy	ΔS / Jy	Време посматрања	Референца
332	2,84	0,10	1986-1989	LaRosa (2000.)
408	1,18	0,07	1969-1971	Clark & Crawford (1974.)
843	1,0	0,05	1985-1991	Gray (1994.)
843	0,986	0,031	1997-2007	Murphy (2007.)
1400	0,748	0,038	1993-1996	Condon (1998.)
1425	0,935	0,047	2008	D.A. Green & S.P. Reynolds (2008)
2695	0,440	0,044	1981-1984	Reich (1984.)
4850	0,236	0,016	1990	Griffith (1994.)
4860	0,437	0,022	2008	D.A. Green & S.P. Reynolds (2008.)
4875	0,20	0,05	1974-1975	Altenhoff (1979.)
5000	0,20	0,03	1975	Caswell (1975.)

Табела 2. Густина флуksа за G1.9+0.3

Table 2. Flux density for G1.9+0.3

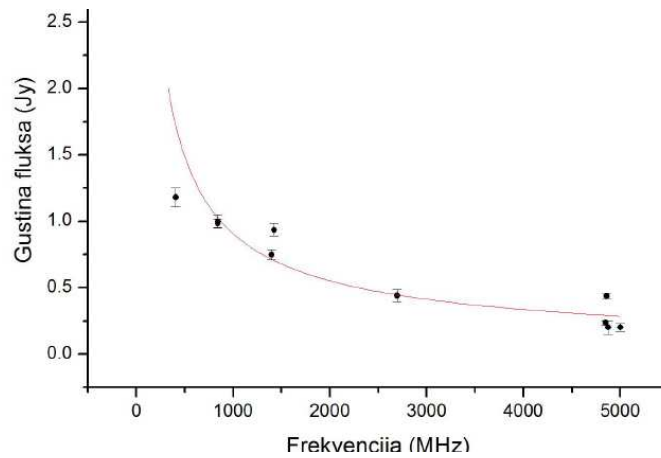
После формирања повратног ударног таласа готово сви модели указују на смањење сјаја са временом. Међутим док остала објашњења не буду одбачена, најприродније је да се са ефикасношћу којом ударни талас предаје енергију релативистичким електронима и магнетно поље мора повећавати са временом.

4. Спектрални индекс за SNR G1.9+0.3

Спектрални индекс који су Грин и Рејнолдс добили износи $\alpha = 0.72$, а добијен је помоћу два мерења која су они извршили. Пошто већ имамо на располагању више мерења (табела 2), искористићемо све доступне податке да одредимо спектрални индекс који ћемо користити у даљем рачуну.

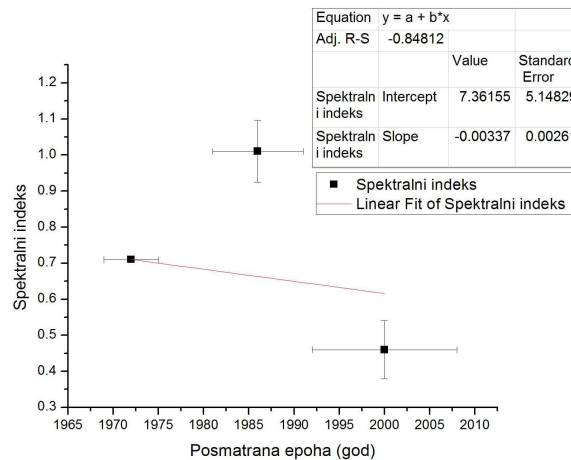
Коришћењем вредности из табеле добијамо следећи графикон (Графикон 1) који нам представља функцију густине флуksа од фреквенције што зависи од спектралног индекса који нам је непознат.

Да бисмо утврдили вредност спектралног индекса примњујемо нелинеаран фит облик $S = C \cdot \nu^\alpha$ и добијамо да спектрални индекс на основу свих мерења (табеле 2) износи $\alpha = 0.72$.



Графикон 1. Функција густине флуksа од фреквенције
 Graph 1. The function of the flux densities of the frequency

Ова вредност спектралног индекса добијена је уз претпоставку да је спектрални индекс константан током времена. Међутим, у питању је млад остатак супернове и његов спектрални индекс би требало да расте са временом. И следеће што желимо је да проверимо да ли и како се спектрални индекс овог остатка мења са временом. Сва мерења груписана су у 3 епохе дате у табели 2 и означене различитим бојама (розе бојом - посматрања обављена у периоду од 1969-1975. године, светло плавом – од 1981-1991. године, док тегет бојом- 1993-2008. године. После ове поделе за сваку епоху посебно је израчунат спектрални индекс на исти начин као на графикону 1 и добијене вредности представљене су на графикону (Графикон 2), у циљу анализе његове еволуције. Међутим, као што се види из графикона 2 статистика је мала, а грешке су велике, па се и раст са овим подацима не може тачно утврдити.



Графикон 2. Спектрални индекс одређених епоха
 Graph 2. The spectral index of certain epochs

РАЧУН

Најчешће коришћен начин за одређивање вредности јачине магнетног поља из радио-синхроматске емисије је рачуном једнаког учешћа, односно коришћењем претпоставке приближно подједнаког учинка енергије зрака и магнетног поља. Овај метод детаљно је презентовао Пахољчик (Pacholczyk 1970.)

Минималну вредност укупне енергије, неопходна за покретање синхротронског механизма, као и магнетно поље изражавамо преко луминозности која се добија преко величина из посматрања (табела 3).

Фреквенција	$\nu=1\text{GHz}$
Густина флукса	$S_{\nu} = 0.6 \text{ Jy}$
Спектрални индекс	$\alpha=0.72$
Удаљеност	$d=8.5\text{kpc}$
Однос енергије садржане у тешким честицама и енергије садржане у електронима	$k=40$
Опсег зрачења	$\nu_{1-2} = 10^7 - 10^{11} \text{ Hz}$
Дијаметар	$D=3.8\text{kpc}$
Радијус	$r=1.9\text{pc}$
Део запремине остатка који је захваћен љуском	$\phi=0.25$

Табела 3. Величине добијене посматрањима

Table 3. The size of the obtained observations

Користећи параметре из табеле 3и метода једнаког учешћа одредићемо вредност магнетног поља и минималну вредност укупне енергије:

$$B = 4.5^{\frac{2}{7}} \cdot (1 + k^{\frac{2}{7}}) \cdot C_{12}^{\frac{5}{7}} \alpha \cdot \phi^{-\frac{2}{7}} \cdot r^{-\frac{6}{7}} \cdot L^{\frac{2}{7}}$$

$$Eu_{min} = C_{13} \alpha \cdot (1 + k^{\frac{4}{7}}) \cdot \phi^{\frac{5}{7}} \cdot r^{\frac{2}{7}} \cdot L^{\frac{4}{7}}$$

Пошто нам нису тачно познати унутрашњи и спољашњи пречник љуске користимо $\phi = 0.25$

Прво што треба да урадимо је да одредимо луминозност (L) на фреквенцији од 1 GHz.

$$L_{\nu} = S_{\nu} \cdot 4\pi \cdot d^2$$

$$L_{\nu} = 6 \times 10^{-24} \cdot 4\pi \cdot 8500 \cdot 3.08 \times 10^{18} \text{ }^2$$

$$L_{\nu} = 5.17 \times 10^{22} \text{ erg}$$

Пошто густину флукса нетермалног извора пишемо као $S_{\nu} = K\nu^{-\alpha}$, тада и луминозност по фреквенцији можемо дефинисати као $L_{\nu} = K_1\nu^{-\alpha}$. Потом треба одредити константу K_1 .

Ако у једначини (8) заменимо S_ν добијамо:

$$L_\nu = K\nu^{-\alpha} \cdot 4\pi \cdot d^2 \log L_\nu = \log K_1 - \alpha \log \nu$$

$$K_1 \nu^{-\alpha} = K\nu^{-\alpha} \cdot 4\pi \cdot d^2 \log K_1 = \log 5.17 \times 10^{22} + 0.62 \cdot \log 10^9$$

$$K_1 = K \cdot 4\pi \cdot d^2 K_1 = 1.95 \times 10^{28}$$

Сада треба да одредимо укупну луминозност за дати опсег фреквенција $10^7 - 10^{11} \text{ Hz}$:

$$L = \int_{10^7}^{10^{11}} L_\nu d\nu$$

$$L = K_1 \cdot \int_{10^7}^{10^{11}} \nu^{-\alpha} d\nu$$

$$L = 1.95 \times 10^{28} \cdot \frac{1}{-0.62 + 1} \cdot 10^{11 \cdot -0.62 + 1} - 10^{7 \cdot -0.62 + 1}$$

$$L = 7.53 \times 10^{32} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Потом одређујемо константе за C_{12} и C_{13} за $\alpha = 0.72$, али пошто су тражене константе дате само за неке вредности: за C_{12}

$$\text{За } C_{12}: \quad C_{12} 0.7 = 2.8 \times 10^7 \text{ и } C_{12} 0.8 = 3.9 \times 10^7$$

$$\text{и за } C_{13}: C_{13} 0.7 = 1.7 \times 10^4 \text{ и } C_{13} 0.8 = 2.0 \times 10^4$$

да бисмо нашли вредности које су између задатих користимо интерполације:

$$\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha - \alpha_1} = \frac{C_{12}\alpha_2 - C_{12}\alpha_1}{C_{12}\alpha - C_{12}\alpha_1}$$

$$\frac{0.8 - 0.7}{0.72 - 0.7} = \frac{3.9 \times 10^7 - 2.8 \times 10^7}{C_{12} 0.72 - 2.8 \times 10^7}$$

$$\frac{0.1}{0.02} = \frac{3.9 \times 10^7 - 2.8 \times 10^7}{C_{12} 0.72 - 2.8 \times 10^7}$$

$$C_{12} 0.72 = 2.2 \times 10^6 + 2.8 \times 10^7$$

$$C_{12} 0.72 = 3.02 \times 10^7$$

Док за C_{13} добијамо:

$$C_{13} 0.72 = 1.76 \times 10^4$$

Сада имамо све што нам је потребно да израчунамо V и $E_{\text{излучење}}$:

$$B = 4.5^{\frac{2}{7}} \cdot (1 + k^{\frac{2}{7}}) \cdot C_{12}^{\frac{2}{7}} \alpha \cdot \varphi^{-\frac{2}{7}} \cdot r^{-\frac{6}{7}} \cdot L^{\frac{2}{7}}$$

$$B = 4.5^{\frac{2}{7}} \cdot 41^{\frac{2}{7}} \cdot 3.02 \times 10^7 \cdot 0.25^{-\frac{2}{7}} \cdot 1.9 \cdot 3.08 \times 10^{18} \cdot 7.53 \times 10^{32}$$

$$\boxed{B = 1.84 \times 10^{-4}}$$

$$Eu_{min} = C_{13} \alpha \cdot (1 + k^{\frac{4}{7}}) \cdot \varphi^{\frac{2}{7}} \cdot r^{\frac{2}{7}} \cdot L^{\frac{4}{7}}$$

$$Eu_{min} = 1.76 \times 10^4 \cdot 41^{\frac{4}{7}} \cdot 0.25^{\frac{2}{7}} \cdot 1.9 \cdot 3.08 \times 10^{18} \cdot 7.53 \times 10^{32}$$

$$\boxed{Eu_{min} = 6.68 \times 10^{47}}$$

Добили смо минималну вредност укупне енергије која обезбеђује да се синхротронским механизмом створи довољно зрачења да би остатак супернове G1.9+0.3 био успешно детектован.

ЗАКЉУЧАК

У овом раду презентован је и дискутован остатак супернове G1.9+0.3. Циљ овог рада био је да се из доступних података о остатку G1.9+0.3 израчуна вредност магнетног поља и минимална вредност укупне енергије. Методом једнаког учешћа добијене су вредности:

$$B = 184 \mu\text{Gai} \quad Eu_{min} = 6.68 \times 10^{47}$$

За рачун су коришћени параметри преузети из NASA's Chandra опсерваторије у X-подручју и VLA радио-опсерваторије као и HarvardChandra SNReduction програма, осим спектралног индекса који је засебно израчунат у овом раду.

Упоређујући ове вредности са најновијим подацима АТСА опсерваторије из 2014. године где подаци приказују вредност магнетног поља $B=273 \mu\text{Ga}$ можемо закључити да се међузвездано магнетно поље појачава у младим остацима супернове што је и теоријски предвиђено (Bell 2004).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Stephen P. Reynolds, Kazimierz J. Borkowski, David A. Green, Una Hwang, IlanaHarrus&Robert Petre,*The Youngest Galactic Supernova Remnant: G1.9+0.3*, (2008)
- [2] Бојан Арбутина, *Supernovae and Their Remnants*, Београд (2011)
- [3] Ashley K. Carlton, Kazimierz J. Borkowski, Stephen P. Reynolds, Una Hwang, Robert Petre, David A. Green, Kalyani Krishnamurthy, & Rebecca Willett: *Expansion of the Zoungest Galactic Supernova Remnant G1.9+0.3*, (2011)
- [4] Бранислав Вукотић, *Еволуција магнетних поља у остацима супернових*, Београд (2006)
- [5] Б. Арбутина, Д. Урошевић, М.М. Анђелић, М.З. Павловић, Б. Вукотић, *Modified equipartition calculation for supernova remnants*, Београд (2012)
- [6]Y. De Horta, M. D. Filipović, E. J. Crawford, F. H. Stootman and T. G. Pannuti: *An ATCA Observation of the Youngest Known Galactic SNR G1.9+0.3*, (2008)
- [7]D. A. Green: *A revised Galactic supernova remnant catalogue*, (2009)
- [8]T. Murphy, B. M. Gaensler, S. Chatterjee: *A 20 Year Radio Curve for the Young Supernova Remnant G1.9+0.3*, (2008)
- [9]A. R. Bell: *Turbulent amplification of magnetic field and diffusive shock acceleration of cosmic rays*, (2004)
- [10]<http://en.m.wikipedia.org/wiki/Chandra-X-ray-Observatory>
- [11] <http://hea-www.cfa.harvard.edu/ChandraSNR/snrcat-gal.html>