

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА  
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Б. О. МУРНИКОВ, Т. І. КАБАНОВА**

**ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ ПОТОКУ ЗАЛИШКІВ СПАЛАХІВ  
НАДНОВИХ У РАДІОДІАПАЗОНІ**

*МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ*  
для студентів фізичного факультету  
спеціальності «Астрономія»

ОДЕСА  
ОНУ  
2018

УДК 52-13:621.396.9:524.352(076)  
М91

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради  
фізичного факультету ОНУ імені І. І. Мечникова.  
Протокол № 9 від 29 травня 2017 р.

**Рецензенти:**

**С. М. Андрієвський**, доктор фізико-математичних наук, професор,  
директор НДІ «Астрономічна обсерваторія» Одеського національного  
університету імені І. І. Мечникова;

**В. В. Ковтюх**, доктор фізико-математичних наук, провідний  
науковий співробітник НДІ «Астрономічна обсерваторія» Одеського  
національного університету імені І. І. Мечникова.

**Мурніков Б. О.**

М91

Визначення густини потоку залишків спалахів  
наднових у радіодіапазоні: методичні вказівки для  
студентів фізичного факультету спеціальності  
«астрономія» / Б. О. Мурніков, Т. І. Кабанова. – Одеса:  
Одеський національний університет імені  
І. І. Мечникова, 2017. – 36 с.

УДК 52-13:621.396.9:524.352(076)

© Мурніков Б. О., Кабанова Т. І., 2018  
© Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2018

### *Мета роботи*

1. Ознайомитися з особливостями радіовипромінювання залишків спалахів наднових у радіодіапазоні.
2. Навчитися визначати густину потоку протяжних радіоджерел з кривих розподілу антенної температури, отриманих на радіотелескопі УТР-2 АН України.

### *Наднові зорі*

Наднові – зорі, світність яких несподівано зростає і за декілька діб досягає  $10^8 - 10^{10}$  світності Сонця. Позначають наднові буквами SN (Supernova) з додаванням року, в якому спалахнула зоря. Існує традиційна класифікація наднових: наднові I типу (SN I) – без ліній водню в спектрі з масами  $3 \div 6 - 8 M_{\odot}$ ; наднові II типу (SN II) з лініями водню в спектрі та з масами  $8 \div 20 M_{\odot}$ .

Поряд із відмінностями в спектрі наднові обох типів мають і різні криві блиску. У наднових I типу блиск швидко підіймається до максимального і підтримується на рівні максимального близько тижня. Потім протягом близько 25 діб він зменшується зі швидкістю приблизно  $0,1^m$  за добу, після чого темп спадання блиску зорі різко у декілька разів зменшується, і на такому рівні залишається аж до настання невидимості зорі. Криві зміни блиску наднових II типу різноманітні. Зростання світності займає приблизно 20 діб, а її максимальне значення дещо менше, ніж у наднових першого типу. Для близько 70% наднових другого типу спад блиску після досягнення максимуму проходить нерівномірно. За 30 діб блиск зменшується на  $1,5^m$  ( $0,05^m$  на добу), після чого темп спаду суттєво зменшується до  $0,013^m$  на добу і зберігається на такому рівні протягом 50 діб. Потім починається нове різке зниження блиску. У 30% наднових другого типу після досягнення максимуму блиск починає спадати рівномірно ( $0,07^m$  на добу).

Наднові I типу поділяють на два підтипи: Ia та Ib. Різниця між ними особливо чітко виявляється на пізніх стадіях спалаху – після 250 діб. В спектрах SN Ia присутні лінії іонізованого заліза Fe II, Fe III, в спектрах SN Ib – потужна емісія в лінії кисню O I. Існують

також інші відмінності: SN Ib слабші та «червоніше» в максимумі блиску порівняно з SN Ia. Світність у максимумі блиску SN Ib приблизно в чотири рази нижча за світність SN Ia.

Можна вважати надійно встановленими наступні факти:

1. Наднові типу Ia спалахують у галактиках усіх типів.
2. Наднові типів Ib та II спалахують у спіральних і неправильних галактиках.
3. Наднові II типу спалахують переважно в спіральних рукавах, тоді як наднові типу Ia рівномірно розподілені по диску Галактики.
4. Частота спалахів наднових типу Ib в спіральних галактиках близька до частоти спалахів наднових типу Ia.

В таблиці 1 наведені деякі характеристики наднових.

Таблиця 1

Характеристика	Тип наднової		
	Ia	Ib	II
Маса оболонки, $M_Q$	1,4	$1 \div 6$	$1 \div 10$
Кінетична енергія вибуху, $E_0 = 10^{51}$ ерг	1	1	0,9
Маса Fe, $M_Q$	$0,4 \div 1$	$0,2 \div 0,3$	0,04
Маса кисню, $M_Q$	?	$1 - 5$	$< 0,2$

Із таблиці, наприклад, видно, що наднові II типу не можуть бути постачальниками кисню в Галактиці, ймовірно, ними є наднові типу Ib.

Відомо, що наднові I типу зустрічаються не тільки у спіральних та неправильних галактиках (як наднові II типу), але й в еліптичних галактиках. Більш того – це єдиний тип наднових, які зустрічаються в еліптичних галактиках, ефективного зореутворення в яких завершилося близько десяти мільярдів років тому. Тому ці галактики не можуть містити зорі з масами, які помітно більші сонячної (можливо, наймасивніші із зір в цих галактиках, що завершують в теперішній час свою еволюцію, мають масу  $\sim 0,8 M_Q$ ). Такі маси занадто малі для створення вибухоподібної ситуації масштабу спалаху наднової. За сучасними уявленнями кінцевою стадією еволюції зір у широкому інтервалі мас від  $\approx 0,5 M_Q$  до  $\approx 8 M_Q$  є карбоно-кисневий білий

карлик, маса якого не перевищує сонячну. Що ж являють собою наднові I типу?

За сучасними уявленнями спалах наднової I типу (точніше SN Ia) пов'язують з термоядерним вибухом карбоно-оксигенового білого карлика, який набрав масу до чандрасекарівської границі внаслідок акреції у тісній подвійній системі. Внаслідок перетікання речовини від зорі-компаньйона (коли вона заповнює свою порожнину Роша) маса білого карлика зростає, його рівновага порушується, і він починає стискатися. Це спричиняє підвищення температури і появу шарових джерел енергії. Проте згоряння карбону затримується через інтенсивне охолодження зорі шляхом випромінювання нейтрино.

Маса білого карлика зростає за рахунок дії шарових джерел енергії аж до маси Чандрасекара. При цьому в ядрі нарешті виникають умови для вибухового (миттєвого) загоряння карбону. Різке зростання температури знімає виродження, і тоді починається катастрофічне стискання усієї зорі. Сильне нагрівання речовини, що падає до центру, і яка ще не пройшла усі стадії ядерного горіння (мається на увазі – до елементів залізного піку), спричиняє потужний термоядерний вибух всього білого карлика. Саме цей вибух і спостерігається як явище наднової I типу. При цьому утворення елементів Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni відбувається тут в процесі термоядерного вибуху.

Спалах наднових типів II і Ib – це кінцевий етап еволюції досить масивних зір, який супроводжується утворенням надгустого залишку зоряного ядра в центрі зоряної оболонки, скинутої потужною ударною хвилею. Якщо маса ядра зорі безпосередньо перед спалахом не перевищує  $2 M_{\odot}$  – тоді залишком буде нейтронна зоря. Якщо ж маса більша від цього значення, то виникає чорна діра. Швидке обертання нейтронної зорі і наявність у неї потужної магнітосфери дають можливість спостерігати такий залишок як пульсар.

Ефект наднової II типу обумовлений відскоком внутрішніх шарів зорі, що перед цим вільно падали під час колапсу на ядро, пружність якого різко збільшилася в результаті перетворення у нейтронну зорю. Зоря із режиму колапсу переходить у режим вибуху.

Величезне збільшення блиску пов'язано з нагріванням зовнішніх шарів, що почали розширятися, ударною хвилею, яка спричинена тим самим відскоком. Ударна хвиля нагріває зовнішню оболонку до  $\approx 10^9$  К, і вона викидається в навколишній простір разом з випромінюванням і потоком електронних нейтрино, що виникли під час нейтронізації речовини.

Абсолютна зоряна величина наднових у максимумі блиску сягає  $-19^m$  і навіть  $-20^m$ ; у цей час їхня світність перевищує світність нашого Сонця в мільярди разів. Загальна кількість енергії, яку зоря втрачає під час спалаху (енергія випромінювання і кінетична енергія оболонки), становить близько  $10^{42} - 10^{44}$  Дж.

Порівняння загальної енергії вибуху наднових I і II типів, оціненої із спостережень, свідчить про те, що вона дещо більша в наднових Ia. Проте є всі підстави вважати, що за своїм масштабом спалах наднових типу Ib і II є більш грандіозним явищем. Справа у тому, що 99% усієї енергії таких наднових виносять нейтринні потоки, і тільки 1% витрачається на зрив оболонки та надання їй кінетичної енергії. В наднових же типу Ia майже вся енергія вибуху перетворюється на енергію руху оболонки. Таким чином, повна енергія вибуху наднових Ib і II може досягнути  $10^{46}$  Дж.

На початку XXI століття виявлені наднові, котрі у максимумі блиску перевищують «звичайні» наднові на кілька зоряних величин. Ці об'єкти отримали назву над'яскравих наднових (Superluminous Supernova, SLSN). Їх розділяють на SLSNe (у спектрах спостерігається водень) та SLSNe-I (у спектрах майже не видно водневих ліній). Завдяки великій світності їх можна спостерігати на величезних відстанях – до 10 мільярдів світлових років. Спектральні лінії з ультрафіолетової ділянки спектра завдяки червоному зміщенню потрапляють в оптичний діапазон. Результати спостережень дозволяють будувати моделі, що намагаються пояснити цей феномен. Згідно з моделлю Сорокіної, наприкінці своєї еволюції зоря спочатку втрачає водневу оболонку, а кисень та вуглець утворюють на деякій відстані від зорі досить щільну хмару. Якщо після цього зоря вибухне як наднова, то ця хмара починає яскраво

світитися, утворюючи над'яскраву наднову I типу. Співробітники проекту SNLS (Supernova Legacy Survey – Огляд залишків наднових) дослідили два таких найбільш віддалених і яскравих об'єкти. Вони вважають, що надзвичайна яскравість цих об'єктів може свідчити про утворення магнетару – нейтронної зорі з дуже потужним (до  $10^{15}$  Гс) магнітним полем і швидкістю обертання до сотень обертів за секунду. Як вважає М. Ніколл, магнетари – рідкісні об'єкти, що утворюються при колапсі ядра зорі, яке швидко оберталося. Поступове зменшення швидкості обертання вивільняє величезну енергію, що й спостерігається як спалах над'яскравої наднової.

### *Залишки спалахів наднових*

Залишки спалахів наднових – це туманності, що утворюються при взаємодії викинутої під час спалаху наднової зорі речовини із міжзоряним середовищем. Спалах наднової може призводити або до повного розльоту зорі, або до викиду тільки її зовнішніх шарів із утворенням зоряного залишку у вигляді нейтронної зорі або чорної діри. Туманність розширюється із швидкістю 5-20 тисяч км/сек, попереду неї рухається ударна хвиля, що згрібає міжзоряний газ.

В розширенні оболонки наднової можна виділити три стадії.

На *першій стадії* вплив міжзоряного середовища через його низьку густину незначний, тому швидкість розширення оболонки наднової буде приблизно постійною. Ця стадія закінчується, коли маса газу, яку нагрібає ударна хвиля, що рухається назовні, стає рівною початковій масі, викинутої із наднової.

*Друга стадія* – адіабатична стадія Седова. Під час адіабатичної стадії маса за ударною хвилею в основному визначається кількістю міжзоряного газу, що нагребла ударна хвиля, а енергія цього газу буде постійною, оскільки випромінювання на цій стадії незначне.

*Третя фаза* – стадія ізотермічного розширення. На цій стадії суттєвим є охолодження, що обумовлене випромінюванням. Температура за фронтом зменшується до відносно низьких значень.

Більшість залишків спалахів наднових знаходяться або на адіабатичній стадії розширення, або на «перехідній», коли починають відігравати роль процеси розширення.

Еволюція залишків спалахів наднових залежить від густини оточуючого середовища. Час життя залишку

$$t = \Sigma^{-\frac{5}{\beta+2}} \left( \frac{\rho}{E} \right)^{0,5}, \quad (1)$$

де  $\Sigma$  – поверхнева яскравість оболонки;  $\rho$  – густина газу перед фронтом ударної хвилі;  $E$  – енергія вибуху;  $\beta$  – показник степеня в залежності

$$\Sigma \sim D^{-\beta}, \quad (2)$$

$D$  – діаметр залишку.

За останніми дослідженнями  $\beta \sim 3,45$ , що характеризує зменшення світності оболонки з часом.

У радіодіапазоні залишки спалахів наднових – радіоджерела із кутовими розмірами від  $1'$  до декількох градусів. Загально прийнятий механізм випромінювання – синхротронний, котрий обумовлений прискореним рухом релятивістських електронів у слабких магнітних полях.

Спектральна густина потоку залишків наднових добре описується степеневим законом

$$S \sim \nu^{-\alpha}. \quad (3)$$

де  $\alpha$  – спектральний індекс.

Сигнал космічного джерела радіовипромінювання в точці, де розташований радіотелескоп, являє собою електромагнітне поле, що змінюється з часом. Вихідною характеристикою в радіоастрономії є потік, котрий показує, яку енергію переносить прийняте радіовипромінювання. Якщо джерело випромінювання являє собою чорне тіло з постійною температурою  $T$  і займає тілесний кут  $\Omega_s$ , то густина потоку джерела дорівнює

$$S = \frac{2f^2 k T \Omega_s}{c^2} = \frac{2k T \Omega_s}{\lambda^2} \text{ (закон Релея – Джинса)} \quad (4)$$



де  $S$  – густина потоку, Вт/(м<sup>2</sup>·Гц);  $f$  – частота, Гц;  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – стала Больцмана;  $T$  – температура, К;  $\lambda$  – довжина хвилі, м;  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – швидкість світла;  $\Omega_S$  – тілесний кут джерела.

Тут припускається, що температура, а, отже, і яскравість постійні по всьому джерелу. Якщо це не виконується, тоді треба проводити інтегрування. Так, для неоднорідного розподілу температури закон Релея – Джинса (4) буде мати вигляд:

$$S = \frac{2kf^2}{c^2} \iint T(\vartheta, \varphi) d\Omega, \quad (5)$$

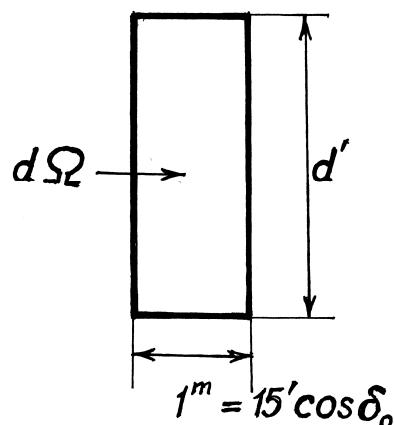
де  $T(\vartheta, \varphi)$  – температура як функція кута, К;  $\vartheta, \varphi$  – сферичні координати на небесній сфері;  $d\Omega$  – елемент тілесного кута, стеррад.

Формула (5) дає густина потоку не тільки коли  $T(\vartheta, \varphi)$  є істинним розподілом температури, але і за умови, якщо  $T(\vartheta, \varphi)$  являє собою спостережну температуру антени. Антенна температура – це температура електричного опору, еквівалентного антені. Ця температура визначається розмірами ділянки або ділянок, що лежать у межах променю антени.

Величина  $d\Omega$  для радіотелескопа УТР-2 визначається наступним чином, стеррад. (див. також рис. 1):

$$d\Omega = \left( \frac{d'}{60} \times \frac{15' \cos \delta_0}{60} \right) / 3283, \quad (6)$$

де  $\delta_0$  – схилення центра джерела;  $d' = 23'$  для НВ 21;  $d' = 24'$  для НВ 3, ІС 443;  $d' = 25'$  для НВ 9.



**Рис. 1. Елемент тілесного кута для радіотелескопа УТР-2**

В нашій Галактиці ідентифіковано біля 150 нетеплових радіоджерел – залишків спалахів наднових. З них біля 50 ототожнені з оптичними туманностями. В рентгенівському діапазоні також досліджено біля 50 залишків спалахів наднових. З такими об'єктами як Крабоподібна туманність, Парус Х, СТВ 109, MSH 15-52 надійно ототожнені пульсари. Біля ряду об'єктів виявлені мазерні радіоджерела та компактні інфрачервоні джерела, можливо, ознаки первинної стадії зореутворення, що ініційовано спалахом наднової. Також залишки спалахів наднових досліджуються у  $\gamma$ -діапазоні.

Радіоджерела – залишки спалахів наднових – не є однорідною групою об'єктів, вони чітко розділяються на класи. До першого класу належать чисельні *оболонкові* – залишки спалахів класичних наднових Ia, зокрема, об'єкти SN Тихо, Кеплера. Це залишки наднових з ярко вираженою оболонковою структурою, з різкою зовнішньою границею та крутим радіоспектром ( $\alpha = 0,4 \dots 0,8$ ). Радіояскравість оболонкових залишків зростає від центру до периферії, радіозображення має вигляд повної або неповної оболонки (рис. 2).

Радіовипромінювання молодих залишків ( $t < 10^3 - 10^4$  років) цього типу пояснюється посиленням поля і прискоренням релятивістських частинок у конвекційному шарі, що виникає на границі зіткнення викинутої та нагребеної оболонкою речовини у початковий момент гальмування, коли  $M_{\text{викин.}} \sqcup M_{\text{нагреб.}}$ . Заплутування магнітного поля та прискорення релятивістських частинок при взаємодії викинутої речовини з міжзоряним середовищем визначають еволюцію радіовипромінювання молодих залишків оболонкового типу. Можна зробити наступні висновки відносно молодих залишків галактичних наднових типу Ia:

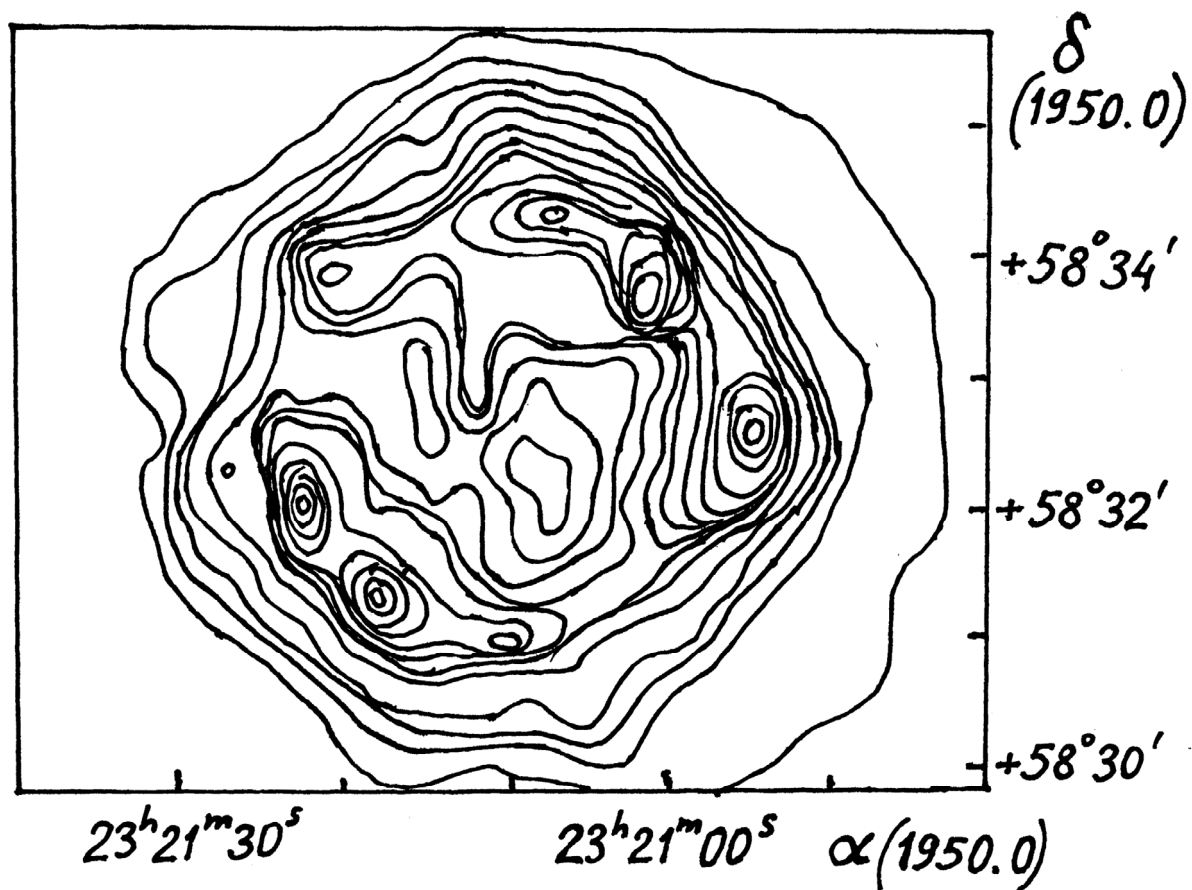


Рис. 2. Радіокарта ділянки радіоджерела Кассіопея А, отримана з великою роздільною здатністю з допомогою радіотелескопа Кембриджського університету. Інтервал між лініями ізофот 3000 К

1. Під час спалаху викидається маломасивна сферично симетрична оболонка ( $M \approx 1...2 M_{\odot}$ , що містить щільні компактні згустки.

2. Хімічний склад викиду, зокрема вміст заліза, вказує на вибух білого карлика.

3. Нейтронна зоря під час вибуху, скоріш за все, не утворюється.

4. Викид, ймовірно, розширюється не у міжзоряний газ, а у речовину, що була викинута переднадвною.

5. Навколосоряний газ, яким би не було його походження, не іонізований повністю ультрафіолетовим випромінюванням наднової.

Другий клас залишків спалахів наднових – так звані *плеріони*, прототипом котрих є Крабоподібна туманність. Об'єкти цього типу характеризуються аморфною радіоструктурою, відсутністю дрібномасштабних радіоконденсацій, підвищенням яскравості до

центра, плоским радіоспектром ( $\alpha = 0,0 \dots 0,25$ ), регулярною структурою магнітного поля та високим ступенем лінійної поляризації ( $p = 20 - 30\%$ ). Плеріони – джерела синхротронного рентгенівського випромінювання. Взаємодіє викинутої речовини із міжзоряним середовищем, скоріш за все, відіграє незначну роль у радіовипромінюванні залишків цього класу, головним джерелом енергії є пульсар (рис. 3).

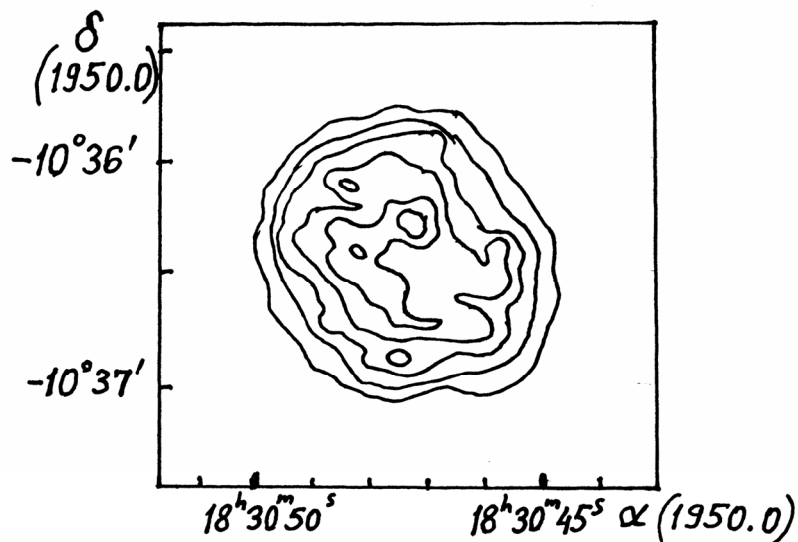


Рис. 3. Радіозображення плеріона G 21.5-09

Згідно з деякими авторами, спектр радіовипромінювання Крабоподібної туманності стає більш крутим, і ступінь лінійної поляризації спадає на периферії туманності приблизно у ділянці зовнішньої волокнистої туманності. А це ознаки оболонкового радіоджерела, а не плеріона. Таким чином, прототип плеріонів – Крабоподібна туманність – є не плеріоном, а молодим *комбінованим* залишком наднової. Радіозображення комбінованого залишку спалаху наднової показано на рис. 4.

Чітко вираженою структурою – плеріон з оболонкою – характеризуються не більше половини комбінованих залишків; інші віднесені до цього класу на підставі того, що в оболонці спостерігається пульсар, компактне рентгенівське джерело або протяжне рентгенівське джерело із жорстким спектром та посиленням яскравості до центра. Прикладами цього є об'єкти MSH 15-22 і W 50.

Схема генерації синхротронного випромінювання залишків спалахів наднових наведена в таблиці 2.

Таблиця 2

Тип залишку	Стадія еволюції			
	$10^2$ років	$10^2 - 10^3$ років	$10^3 - 10^4$ років	$10^4 - 10^5$ років
Плеріони	Поле і частинки інжектуються пульсаром; сильне вільно-вільне поглинання	Поле і частинки інжектуються з постійною швидкістю; спостерігається плеріон	Послаблення інжекції через уповільнення пульсара; плеріон з оболонкою	Інжекція несуттєва; спостерігається оболонкове джерело
Оболонкові	Немає поля і частинок?	Посилення поля і прискорення частинок в конвективному шарі	Випромінювання стисненого міжзоряного поля і частинок за фронтом ударної хвилі в щільних хмарах	Випромінювання поля і частинок в оболонці на стадії висвічування

Об'єкти G 357.7-0 і G 5.3-1.0 – нетеплові радіоджерела, можливо, залишки спалахів наднових, але вони зовсім не схожі ні на плеріони, ні на комбіновані залишки. Обидва радіоджерела характеризуються незвичною вісьосиметричною структурою із перпендикулярними перемичками – радіоволокнами. Поляризаційні вимірювання свідчать про регулярну структуру поля, силові лінії спрямовані переважно вздовж яскравих волокон,  $p \sim 10\%$ , спектральний індекс  $\alpha \approx 0,25 - 0,45$ . В обох об'єктах спостерігається компактне радіоджерело точно на осі симетрії, але за межами протяжного джерела, яскравість якого посилена в цьому напрямку. Ці об'єкти пов'язують із вузькоспрямованим викидом релятивістських частинок, скоріш за все, у подвійних системах з релятивістським компонентом і акреціюючим диском, подібних до SS 433.

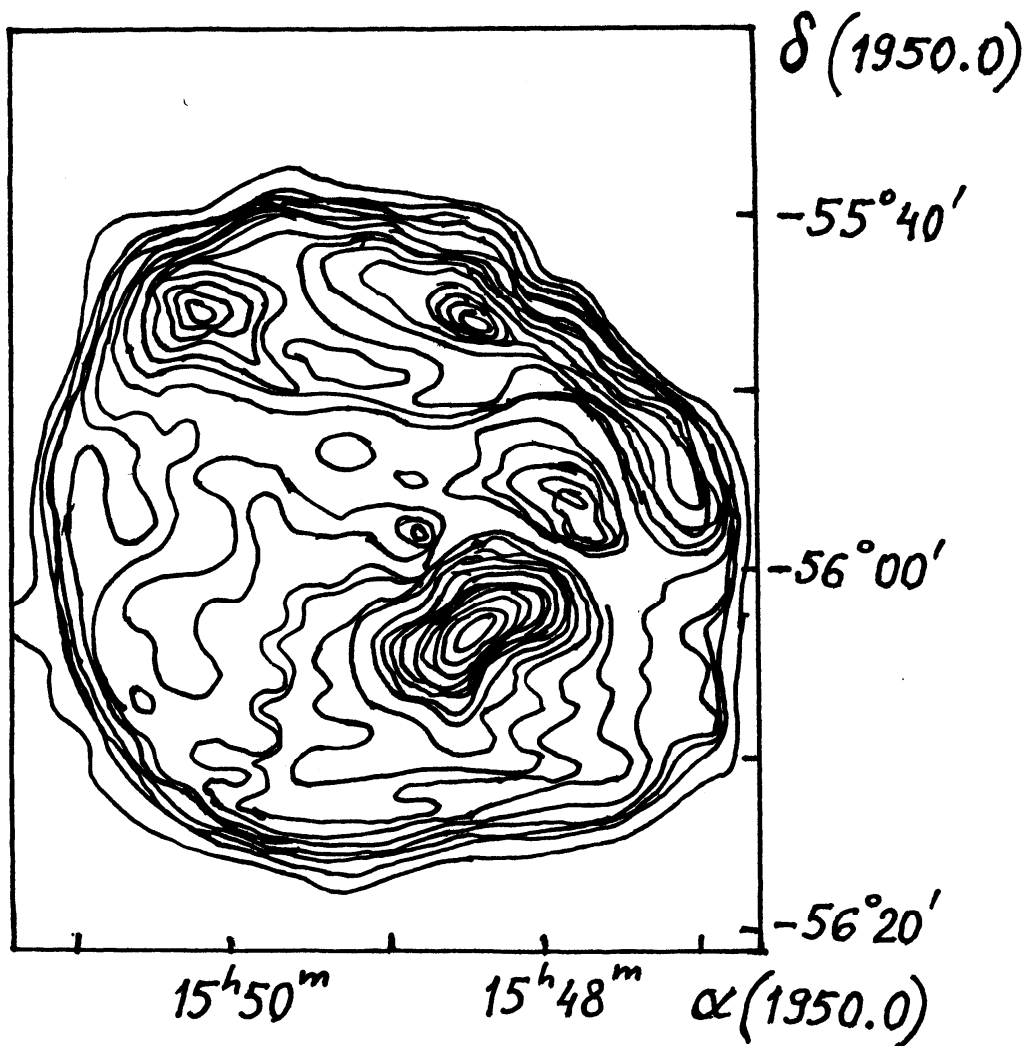


Рис. 4. Радіозображення комбінованого залишку спалаху наднової G 326.3-1.8

Кассіопея А є прототипом цілого класу ( $\sim 70$  залишків), що отримав назву «багаті киснем» залишки, котрі утворюють окрему групу. Загальні властивості цих залишків наднових:

1. Цей клас об'єктів відрізняється як від залишків наднових Ia, так і від залишків SN II. Основною ідентифікацією слугує перевага ліній кисню, сірки, неону та відсутність ліній водню.

2. Під час спалаху відбувається тороїдальний викид речовини, збагаченої важкими елементами. Тороїдальний викид спостерігається у всіх багатих киснем залишків. Поряд із тороїдальним викидом при спалаху відбувається і сферично-симетричний викид речовини з тією ж швидкістю.

3. Яскраві залишки цього типу оточені слабким гало.

4. Світність об'єктів в оптичному, рентгенівському і радіодіапазонах в десятки-сотні разів перевищує світність залишків Ia та II типів близького віку.

5. Переднаднові інтенсивно втрачають речовину до спалаху.

6. Зоряний залишок – пульсар – знайдено у єдиного залишку з сильними лініями кисню та сірки в спектрі – G 0504-69.3 у Великій Магеллановій Хмарі.

7. Спалахи, що утворюють багаті киснем залишки, відбуваються так само часто, як і спалахи наднових II типу, що утворюють плеріони.

Залишки спалахів наднових, всередині яких знаходяться пульсари, є плеріонами. В той же час із спостережень випливає, що плеріони, мабуть, – це залишки спалахів наднових II типу. Залишки спалахів «історичних» наднових I типу не є плеріонами. Виникає висновок, що нейтронні зорі, що спостерігаються як пульсари, – це залишки спалахів більш масивних і молодих наднових II типу, а після вибухів менш масивних, порівняно старих зір – наднових I типу (скоріше всього типу Ia), зоряних залишків не зберігається, – вони повністю розсіюються у міжзоряному просторі.

Слід зупинитися на наступному факті. Старі залишки спалахів наднових у більшості є оболонковими радіоджерелами. Серед молодих залишків спалахів наднових приблизно половина належить до класу оболонкових і половина – до плеріонів, в той же час серед старих залишків плеріони складають на більше 5-10%. На цій підставі рядом авторів робиться висновок про короткий час життя плеріонів. Виявлено також існування комбінованих залишків спалахів наднових, таких як G 326.3-1.8, СТВ 80, Парус XYZ та W 50. У цих об'єктів спостерігається яскрава центральна плеріонна частина з плоским спектром, яка оточена слабкою оболонкою з крутим спектром радіовипромінювання.

Виникає питання: плеріони і комбіновані залишки – мало живуть або рідко народжуються? Це два типи або дві стадії еволюції? Відповідь на це питання має принципове значення, оскільки дозволяє торкнутися важливої проблеми: чи однакові спалахи наднових II

типу, або можливе існування двох типів наднових – одні утворюють плеріони, інші – комбіновані залишки. Т. О. Лозинська висловила допущення, що плеріони перетворюються в комбіновані залишки за час  $\sim 10^3$  років, а потім в оболонкові за  $\sim 10^4$  років:

Плеріон  $\rightarrow$  Комбінований залишок  $\rightarrow$  Оболонковий  
 $10^3$  років  $10^4$  років

Із досліджень Крабоподібної туманності випливає, що оболонка навколо плеріона утворюється на ранній стадії  $t \approx 10^3$  років. Як же тоді пояснити існування старих (вірніше, великих) плеріонів без ознак зовнішньої оболонки? Лозинською висловлено припущення, що плеріони без оболонок утворені надновими, що спалахують у гарячій розрядженій компоненті газового диска Галактики.

### *Радіотелескоп декаметрового діапазону хвиль УТР-2*

Український Т-подібний радіотелескоп УТР-2 в наш час є найбільш досконалим і ефективним інструментом декаметрових хвиль. УТР-2 задовольняє технічним потребам до сучасних декаметрових інструментів, він має найбільшу ефективну площу і найвужчу діаграму спрямованості.

Для радіотелескопа УТР-2 обрана Т-подібна конфігурація. Розміри радіотелескопа  $1860 \times 900$  м. Усунення бокових пелюсток забезпечується вибором відстані між вібраторами 7,5 м вздовж лінії П-П (північ – південь) і 9 м вздовж напрямку С-З (схід – захід). Антена П-П має 1440 вібраторів, С-З – 600 вібраторів.

У радіотелескопі УТР-2 використані дискретні методи сканування променем. Система управління променем антени складається з 439 фазообертачів із канальними лініями затримки, що перемикаються. Для керування променем за заданою програмою розроблена спеціальна система, завдяки чому забезпечується автоматичне слідування за джерелом випромінювання.

Для підвищення об'єму наукової інформації УТР-2 може працювати одночасно п'ятьома променями. Крім того, у кожному промені передбачено проведення вимірювань одночасно на 6



частотах у діапазоні від 10 до 25 МГц. Тому радіоприймальна апаратура УТР-2 складається з 30 радіометрів. Спостереження протяжних джерел радіовипромінювання на УТР-2 здійснюється скануванням п'ятипроменевої діаграми спрямованості (ДС) джерела та навколо нього. Сканування вздовж ліній рівних схилень здійснюється за рахунок обертання Землі при різних годинних кутах із наступним зміщенням віяла променів по меридіану. Наведемо основні параметри УТР-2.

1. Роздільна здатність  $30' \times 30'$  на частоті 25 МГц.
2. Ефективна площа в зеніті на середній робочій довжині хвилі –  $150000 \text{ м}^2$ .
3. Сектор стеження по годинному куту – не менше  $120^\circ$  (тобто  $\pm 4^h$  від меридіана).
4. Чутливість така, що мінімальна густина потоку випромінювання, яка приймається, при співвідношенні сигнал/шум, рівному 3, на середній робочій хвилі – 20 Ян, при сталій часу 30 с і смузі 14 кГц.
5. Робочі частоти інструмента:  $10,0 \pm 0,43$ ;  $12,5 \pm 0,6$ ;  $14,7 \pm 0,65$ ;  $16,7 \pm 0,72$ ;  $20,0 \pm 0,80$ ;  $24,8 \pm 1,05$  МГц.
6. Точність визначення кутових координат, що обмежена впливом рефракції та розсіюванням в іоносфері, при роботі одним променем, а також похибки у визначенні потоку, що зобов'язані нерегулярній рефракції, наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Частота, МГц	25,0	20,0	16,7	12,5
Кутова похибка	4,2	6,4	9,2	16,0
$\Delta S/S$	0,14	0,20	0,60	0,36

При роботі в багатопроменевому режимі похибка в 5-10 разів зменшується, а похибка вимірювань потоку – до 1-2%.

## Зміст роботи

1. У додатку надані значення антенної температури залишків спалахів наднових, спостереження яких проводились на радіотелескопі декаметрових хвиль УТР-2. У першому стовпчику дані номери точок (координата  $\alpha$ ), в інших – антенна температура за сканами. Необхідно побудувати криві розподілу антенної температури в залежності від прямого сходження для різних схилень (всього 11). По осі  $x$  – номери точок (координата  $\alpha$ ), по осі  $y$  – антенна температура, в тисячах градусів К. Будувати криві необхідно в одному масштабі і так, щоб вони розташовувались одна під одною, але не перекривались.

2. Припускаємо, що центр отриманого запису скану радіоджерела відповідає координатам джерела, що відмічені у каталогу (20, 35 або 53-я точки – по осі  $x$ , 7-й скан). Координати джерела епохи 1950.0 наступні: НВ 9 –  $\alpha = 04^{\text{h}}47^{\text{m}}$ ,  $\delta = 46^{\circ}36'$ ; НВ 3 –  $\alpha = 02^{\text{h}}14^{\text{m}}$ ,  $\delta = 63^{\circ}15'$ ; НВ 21 –  $\alpha = 20^{\text{h}}43.3^{\text{m}}$ ,  $\delta = 50^{\circ}30'$ ; ІС 443 –  $\alpha = 06^{\text{h}}14.6^{\text{m}}$ ,  $\delta = 22^{\circ}43'$ . Нанести координати джерела на побудовані криві.

3. Провести неперервний радіофон. Рівень фону визначається порівнянням ряду послідовних сканів на одній частоті, порівнянням із іншими частотами, з тим, щоб обрати ділянки, на яких немає джерел. При цьому необхідно звертати увагу на особливості, що повторюються, на сусідніх кривих – ймовірно, реальні деталі радіоджерела, а не випадкові флуктуації фону. Радіофон проводиться окремо для кожного скану.

4. За побудованими кривими необхідно чисельним інтегруванням знайти значення температури залишку спалаху наддової –  $T$ . Відліки  $T_i$  знімаються від фону через кожен хвилину. Сумуванням всіх  $T_i$  знаходиться значення  $T$  у межах встановлених границь джерела. Треба відзначити, що деякі залишки спалахів наднових можуть бути не видні на перших або останніх двох сканах.

5. Обчислити елемент тілесного кута  $d\Omega$  за формулою (6).

6. Визначити густину потоку радіоджерела залишку спалаху наднової за формулою (5) в янських.

### *Зміст звіту*

1. Кратко описати особливості радіовипромінювання залишків спалахів наднових.
2. Дати короткий опис радіотелескопа УТР-2.
3. Привести таблицю результатів вимірювань  $T_i$ .
4. Привести значення густини потоку джерела, отримане в роботі.

### *Контрольні запитання*

1. Класифікація наднових зір.
2. Фізична природа наднових.
3. Що являють собою залишки спалахів наднових в радіодіапазоні?
4. Три стадії в розширенні оболонки наднової.
5. Механізм радіовипромінювання залишків спалахів наднових.
6. Зв'язок спектральної густини потоку із спектральним індексом.
7. Наведіть формулу для визначення густини потоку.
8. Основні характеристики оболонкових, плеріонів та комбінованих залишків спалахів наднових.
9. Охарактеризуйте залишки спалахів наднових, багатих киснем.
10. Основні характеристики радіотелескопа УТР-2.

### *Список використаної літератури*

1. Блинников С. И., Лозинская Т. А., Чугай Н. Н. Сверхновые звезды и остатки вспышек сверхновых // Итоги науки и техники. Сер. Астрономия. – М., 1987. – Т. 32.
2. Галактическая и внегалактическая радиоастрономия / Под ред. Г. А. Верскера и К. И. Келлермана. – М. : Мир, 1976.
3. Конникова В. К., Лехт Е. Е., Силантьев Н. А. Практическая радиоастрономия. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2011. – 304 с.
4. Краус Дж. Д. Радиоастрономия. – М. : Сов. Радио, 1973.
5. Ленг К. Астрофизические формулы. – М. : Мир, 1978. – Т. 1. – С. 109-123.
6. Лозинская Т. А. Сверхновые звезды и звездный ветер. Взаимодействие с газом Галактики. – М. : Наука, 1986.
7. Шкловский И. С. Сверхновые звезды. – М.: Наука, 1976.

Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – ІС 443, частота – 25 МГц											
1	31	34	33	30	31	35	33	38	38	33	29
2	27	32	34	32	28	31	35	33	33	36	38
3	26	25	35	33	35	30	36	33	37	33	32
4	27	26	35	35	32	34	36	34	29	33	28
5	26	25	34	28	28	35	34	34	30	30	27
6	23	22	33	31	35	30	32	28	31	27	30
7	28	28	40	38	32	28	28	28	34	27	27
8	28	35	50	40	26	21	26	26	34	25	19
9	30	36	46	36	26	22	28	29	31	25	19
10	34	36	41	33	26	22	24	21	24	25	30
11	34	32	39	29	21	16	24	23	29	27	29
12	29	30	36	26	21	17	18	25	27	29	29
13	27	26	32	26	23	21	23	22	28	28	33
14	29	25	29	25	23	18	27	30	34	30	32
15	28	24	24	19	19	21	37	32	41	31	30
16	22	22	23	18	17	23	45	43	43	32	28
17	16	20	22	16	14	25	42	49	41	30	27
18	14	14	14	13	30	36	51	44	44	32	26
19	18	7	8	14	74	76	96	57	47	37	23
20	58	18	18	24	117	133	154	64	40	36	28
21	102	58	35	34	120	154	148	82	21	34	43
22	93	78	47	39	81	129	89	35	12	31	58
23	63	61	49	39	51	55	29	14	18	29	50
24	47	49	45	37	40	26	18	14	17	28	43
25	44	42	43	36	33	25	16	15	18	32	40
26	32	38	48	38	29	17	12	15	18	30	36
27	30	32	42	34	21	13	18	20	27	28	33
28	28	26	29	22	21	14	21	25	34	34	34
29	27	22	23	19	22	17	22	27	34	35	36
30	29	22	27	22	24	18	21	29	33	34	31
31	30	25	28	27	24	23	22	29	32	31	30
32	29	22	27	28	24	19	21	26	31	32	31
33	23	22	30	27	23	17	23	24	27	28	30
34	23	21	32	30	26	17	23	23	26	24	28
35	26	23	31	30	25	21	21	23	27	25	26
36	25	19	21	26	23	21	20	24	30	27	26
37	21	17	20	23	26	20	23	26	30	26	25
38	24	15	23	28	31	25	26	26	29	23	24
39	23	19	22	29	31	25	25	23	29	27	25
40	24	19	27	28	30	25	25	26	34	27	32

Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – IC 443, частота – 20 МГц											
1	52	68	44	45	44	63	52	63	61	66	60
2	50	58	47	44	44	49	53	60	53	51	55
3	52	58	48	50	45	43	44	58	52	49	43
4	50	53	49	53	53	54	45	52	50	49	39
5	52	56	51	57	55	49	40	40	49	47	44
6	51	57	52	57	50	41	34	43	47	47	43
7	51	58	58	55	47	38	36	48	45	45	35
8	54	65	67	58	43	32	36	50	46	37	29
9	57	59	64	56	40	30	37	47	48	41	32
10	58	64	57	51	33	30	37	47	56	53	42
11	49	60	56	49	36	30	36	47	56	50	48
12	50	56	53	44	38	32	36	46	51	47	42
13	46	52	44	45	42	35	45	43	43	46	41
14	52	53	34	39	37	43	49	54	54	56	50
15	56	50	39	32	42	45	61	59	67	63	60
16	51	51	42	35	39	49	64	67	66	63	57
17	41	48	37	30	46	51	63	63	55	53	52
18	22	35	24	31	79	60	82	63	59	46	49
19	18	21	30	51	152	124	146	79	60	54	52
20	24	22	41	85	210	204	199	116	53	45	53
21	58	26	48	103	222	224	190	120	38	34	58
22	86	56	56	101	159	196	134	83	24	29	60
23	85	79	56	76	76	99	59	45	26	32	57
24	70	82	62	58	53	40	30	27	27	33	45
25	62	71	67	66	54	32	22	25	29	39	43
26	65	70	71	68	46	28	22	27	37	44	48
27	62	73	53	56	27	16	22	26	45	53	55
28	54	56	36	32	22	21	29	31	49	56	58
29	47	47	32	26	29	26	34	41	54	54	58
30	47	48	37	37	37	39	44	43	55	55	58
31	50	54	42	40	38	40	45	50	51	51	50
32	46	60	61	42	39	42	43	41	48	50	50
33	44	48	44	42	37	40	41	41	48	46	49
34	46	49	51	47	41	42	42	41	50	49	47
35	52	59	56	47	42	39	43	43	48	51	45
36	52	59	50	42	41	39	44	45	44	48	45
37	48	53	40	40	41	40	42	41	43	45	49
38	40	45	38	41	45	45	42	41	41	45	47
39	41	44	40	41	49	49	47	41	37	40	43
40	49	44	46	40	53	47	41	37	45	40	59

Номер ра точок ( $\alpha$ )	Температура за сканами $\cdot 10^3$ K										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – IC 443, частота – 16,7 МГц											
1	105	98	117	101	101	105	88	105	103	91	88
2	84	87	117	100	101	103	87	96	92	87	82
3	77	90	108	105	103	92	84	94	79	93	86
4	91	90	98	106	102	97	85	89	80	80	86
5	90	95	101	104	95	87	84	79	83	82	82
6	86	91	100	101	93	88	78	76	68	78	75
7	93	94	106	94	91	90	70	80	75	78	75
8	113	97	109	97	98	87	69	80	86	85	76
9	109	101	110	101	97	81	72	67	83	79	75
10	108	102	110	105	87	83	73	69	81	74	82
11	92	104	103	92	83	79	69	70	78	77	86
12	96	99	98	82	85	76	73	83	81	85	88
13	87	88	93	77	89	79	86	96	104	99	101
14	79	89	87	84	86	82	93	100	107	102	102
15	74	83	88	93	78	80	75	100	101	102	102
16	73	76	84	81	71	71	58	73	95	94	101
17	61	70	86	80	81	55	69	72	104	101	114
18	40	70	93	93	151	88	118	103	120	110	104
19	36	47	105	139	242	182	225	140	130	103	98
20	43	48	122	189	295	270	281	189	120	81	80
21	78	58	128	212	293	284	275	202	101	74	67
22	92	80	124	191	242	280	214	169	78	68	75
23	98	96	110	159	171	195	131	118	63	57	68
24	110	108	108	132	120	115	82	82	54	56	72
25	111	103	112	118	104	90	61	60	47	55	67
26	111	105	115	113	92	75	59	57	58	67	84
27	96	104	101	107	82	72	53	55	67	77	93
28	90	88	85	88	63	61	56	60	73	82	103
29	80	77	71	70	59	57	59	71	84	87	105
30	80	66	71	86	58	69	69	80	89	90	102
31	86	75	73	70	71	75	81	84	89	90	93
32	67	79	79	83	82	85	85	81	85	90	96
33	65	86	87	90	91	84	79	83	83	87	90
34	70	81	85	93	86	84	75	79	83	89	93
35	72	70	95	91	85	83	76	82	90	94	94
36	72	72	92	98	88	85	82	88	97	101	85
37	78	77	87	97	90	87	86	90	92	89	81
38	68	75	83	88	88	85	79	90	86	81	84
39	69	72	80	85	86	80	74	82	86	78	84
40	71	68	87	79	85	78	82	83	98	86	89

Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – НВ 3, частота – 25 МГц											
1	32	49	46	47	48	41	48	53	47	39	36
2	40	56	55	56	55	53	47	42	53	55	67
3	35	49	46	50	55	52	45	44	54	53	52
4	33	55	48	44	50	53	39	38	51	52	56
5	31	49	48	43	47	48	39	38	49	48	50
6	30	46	52	48	48	49	43	41	46	53	55
7	31	45	50	47	44	43	44	37	41	50	61
8	34	49	52	53	49	48	44	41	41	42	47
9	35	51	48	54	52	49	37	37	36	48	37
10	45	51	48	54	52	58	35	39	37	56	33
11	42	56	47	52	51	64	36	42	34	51	44
12	42	51	46	49	52	64	46	47	33	42	43
13	39	52	43	46	48	60	48	47	36	42	57
14	34	51	45	45	47	59	44	50	39	40	67
15	33	48	48	48	42	57	41	50	41	46	60
16	35	58	49	53	39	61	40	52	44	50	45
17	35	59	47	52	38	60	41	46	47	55	40
18	40	55	47	51	37	53	37	43	51	60	45
19	38	49	53	44	34	47	41	38	51	51	43
20	36	52	53	41	32	44	44	41	55	55	43
21	37	52	51	41	33	45	43	47	54	54	31
22	33	49	43	40	33	45	37	52	45	58	33
23	38	46	45	41	33	50	40	55	44	59	38
24	34	50	41	46	36	48	36	51	45	54	41
25	33	55	37	48	38	54	35	55	44	66	43
26	28	60	37	50	38	52	32	49	46	70	41
27	36	65	46	55	44	51	34	44	38	68	53
28	38	63	58	68	53	51	36	41	30	59	58
29	41	63	69	60	59	57	36	37	30	55	56
30	39	63	66	63	63	63	36	31	32	45	61
31	39	60	76	67	64	67	42	35	35	39	62
32	35	64	77	70	65	69	48	33	37	39	49
33	35	62	77	66	64	67	55	28	37	41	33
34	38	58	75	68	68	69	63	27	38	43	35
35	39	55	59	67	68	71	58	30	37	44	27
36	37	56	56	64	66	72	58	38	30	41	26
37	34	51	50	63	64	75	53	42	27	40	33
38	26	55	51	58	61	73	52	45	27	42	29



Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – НВ 3, частота – 25 МГц											
39	21	47	51	55	57	70	56	49	33	38	33
40	18	44	48	54	50	56	53	49	41	43	28
41	25	36	44	54	46	49	52	50	47	47	42
42	24	35	43	47	40	47	54	49	50	48	39
43	24	28	38	42	35	43	49	50	51	51	43
44	20	29	29	39	36	42	40	54	47	49	42
45	21	29	24	38	35	45	41	48	45	51	40
46	20	26	28	37	35	42	38	47	47	52	40
47	21	29	33	36	36	42	43	48	43	51	41
48	23	30	30	31	35	39	40	44	45	44	43
49	21	29	30	34	36	41	38	44	45	43	47
50	22	30	35	36	34	45	42	43	46	46	48
51	25	27	27	38	34	51	44	47	48	48	44
52	21	33	34	39	33	55	43	44	54	48	49
53	26	33	29	37	32	54	46	44	51	50	43
54	26	36	31	35	32	49	45	42	52	49	40
55	24	32	26	38	33	49	43	41	54	55	43
56	28	42	29	32	34	42	41	37	53	56	51
57	32	40	30	29	33	46	42	39	50	56	53
58	34	46	31	34	32	45	42	38	46	49	53
59	34	47	39	30	34	48	41	42	44	51	55
60	32	48	36	29	33	46	47	43	40	50	62
61	31	43	36	30	31	43	43	44	43	45	56
62	37	48	39	32	30	40	43	44	41	47	55
63	36	50	37	33	30	40	41	41	42	43	48
64	35	50	40	33	32	36	39	41	40	47	50
65	37	47	39	42	32	38	39	37	43	50	46
66	39	48	45	40	33	36	36	33	39	50	41
67	36	49	52	42	35	36	39	37	40	51	41
68	35	52	51	49	36	40	33	37	41	48	41
69	33	51	51	47	38	41	38	37	44	45	40
70	29	52	51	45	39	43	40	38	43	50	37

Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – НВ 3, частота – 20 МГц											
1	73	73	76	68	68	69	96	74	81	78	80
2	82	62	92	70	78	89	81	81	87	108	100
3	81	81	88	77	84	78	82	79	93	90	99
4	81	78	88	78	77	74	75	73	91	86	91
5	80	81	87	69	76	74	72	68	83	78	80
6	80	82	89	75	77	77	75	63	82	84	80
7	80	76	90	73	76	77	79	64	77	79	76
8	82	80	89	77	82	69	75	67	76	83	76
9	80	84	89	82	80	67	71	69	82	83	80
10	82	81	88	77	82	69	73	63	78	75	79
11	76	84	87	84	83	69	68	60	81	79	84
12	81	85	88	85	86	77	69	61	76	81	86
13	77	87	93	81	81	79	72	60	72	88	89
14	73	84	95	75	80	80	74	58	68	82	84
15	74	83	98	78	79	80	80	57	67	79	89
16	78	78	95	77	73	78	78	75	66	68	85
17	79	76	96	81	69	76	73	60	69	75	84
18	73	77	98	78	65	72	68	56	70	69	72
19	82	78	94	83	66	69	72	63	62	71	67
20	79	78	92	84	65	65	75	60	62	70	75
21	73	80	95	81	68	64	75	60	60	70	79
22	76	79	86	75	72	66	73	63	66	66	80
23	71	86	83	77	78	68	71	64	65	65	73
24	68	78	88	74	82	68	68	60	67	67	80
25	72	73	87	76	83	79	69	56	70	73	81
26	69	76	85	84	86	81	65	54	70	84	80
27	70	82	95	96	93	86	71	42	68	95	76
28	75	90	98	102	92	89	76	39	70	95	75
29	76	90	109	114	99	93	77	39	56	89	82
30	69	90	102	105	105	101	81	42	60	79	84
31	69	97	118	108	114	104	84	50	57	70	80
32	71	104	123	113	114	115	87	52	49	66	72
33	72	98	120	114	115	115	91	53	50	65	72
34	72	90	118	109	114	115	98	55	48	58	72
35	71	82	112	106	109	119	105	65	51	54	65
36	75	82	101	97	116	113	107	69	53	57	60
37	73	68	79	98	112	106	103	77	60	56	58
38	71	70	77	89	104	103	96	84	69	58	54

Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – НВ 3, частота – 20 МГц											
39	71	67	68	77	102	93	94	89	73	57	59
40	59	62	66	59	89	88	79	84	76	60	54
41	65	58	68	60	81	72	77	80	78	62	51
42	55	54	67	51	68	65	69	77	85	67	55
43	55	51	63	54	57	58	67	71	83	65	54
44	45	53	60	56	54	48	69	70	78	66	66
45	52	50	59	61	53	45	71	68	78	67	66
46	50	48	56	59	59	46	68	67	74	73	66
47	48	47	49	57	64	56	65	70	71	71	73
48	51	43	50	52	68	65	60	67	69	73	70
49	55	46	52	53	70	74	58	62	70	69	72
50	50	50	63	50	65	77	63	55	70	67	68
51	62	50	62	42	61	85	65	56	72	69	67
52	61	52	63	40	54	81	69	52	70	71	65
53	61	51	62	43	52	71	70	59	65	67	72
54	61	54	63	46	49	70	70	66	67	65	75
55	67	50	54	51	53	69	67	58	69	73	80
56	70	52	61	51	56	72	66	61	68	66	77
57	66	59	57	51	61	66	66	64	70	73	76
58	62	63	59	52	62	69	73	64	70	73	78
59	67	66	62	51	63	64	69	67	69	73	83
60	70	73	64	51	61	62	68	64	69	69	79
61	66	70	64	51	57	65	69	67	65	73	80
62	68	70	68	51	56	58	67	67	66	71	78
63	74	74	73	57	58	55	65	67	65	69	79
64	70	73	76	60	57	58	67	66	68	69	78
65	70	71	75	61	60	60	63	62	64	71	78
66	69	68	77	64	58	58	65	62	63	64	75
67	69	70	77	65	62	62	66	60	64	70	77
68	75	70	76	65	63	64	66	57	66	69	75
69	77	69	74	64	70	65	71	60	67	72	72
70	73	67	73	63	74	73	70	64	66	69	70

Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – НВ 3, частота – 16,7 МГц											
1	115	99	111	117	120	119	107	120	121	91	105
2	118	118	143	144	130	104	103	111	122	107	121
3	123	120	130	149	126	98	116	122	123	105	131
4	129	127	123	139	131	112	103	120	111	107	145
5	113	117	122	128	130	103	109	124	113	100	125
6	127	115	130	147	134	111	110	117	117	110	130
7	120	108	124	129	132	117	110	109	119	112	124
8	119	111	120	140	132	118	120	113	124	109	106
9	127	116	124	139	129	122	117	120	130	114	116
10	134	122	124	139	126	124	113	121	126	105	112
11	143	129	133	124	124	125	113	116	135	115	108
12	133	126	131	149	129	111	108	118	132	115	112
13	121	122	121	153	121	103	100	117	131	131	105
14	126	122	135	153	135	109	100	119	130	132	122
15	122	121	150	160	127	110	97	125	125	127	117
16	144	128	148	163	124	114	105	111	118	122	108
17	151	141	149	153	131	105	106	115	125	114	115
18	150	136	143	137	124	110	104	121	109	116	122
19	132	120	133	137	117	111	119	125	110	111	116
20	144	125	124	136	123	108	119	123	113	106	111
21	148	140	134	137	127	101	123	117	110	100	116
22	153	134	127	131	110	97	109	125	122	99	114
23	133	132	120	141	113	89	101	109	124	90	112
24	139	137	130	143	122	93	97	102	118	102	110
25	141	138	136	147	135	99	96	81	120	123	115
26	143	153	147	128	145	103	93	79	117	126	111
27	131	147	151	152	162	119	80	74	105	120	112
28	126	155	177	181	180	130	85	71	97	106	113
29	120	159	179	210	192	147	96	73	87	91	113
30	131	153	195	196	188	159	110	76	92	92	100
31	117	143	208	217	203	164	128	83	89	100	95
32	129	153	187	228	221	177	133	95	82	92	95
33	102	136	181	239	215	190	153	100	85	86	96
34	109	145	176	209	211	192	161	115	91	78	95
35	107	128	163	182	206	189	168	115	94	80	97
36	101	119	167	193	208	193	161	128	106	93	79
37	99	93	125	175	200	175	145	135	116	88	78
38	96	85	99	153	181	155	152	139	111	90	84

Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – НВ 3, частота – 16,7 МГц											
39	81	78	96	130	154	147	144	144	124	82	81
40	85	74	84	115	140	124	128	136	128	85	91
41	78	73	77	113	122	103	114	130	129	87	91
42	80	66	77	111	105	97	94	130	130	90	89
43	69	62	76	106	100	82	101	120	122	92	100
44	69	65	75	100	90	74	98	117	119	94	103
45	71	60	82	97	86	68	86	114	122	102	103
46	79	51	68	103	92	72	81	104	117	96	97
47	74	53	57	83	92	81	91	98	108	89	108
48	65	61	59	88	97	86	86	91	106	84	107
49	70	55	54	83	99	95	89	96	109	91	95
50	54	65	60	74	99	108	96	96	111	87	92
51	70	56	60	75	97	109	88	103	110	85	83
52	67	60	68	76	101	104	95	106	126	89	79
53	76	66	72	66	83	101	93	107	125	90	96
54	76	77	78	76	78	92	86	96	124	94	96
55	73	64	73	91	89	79	96	104	123	104	107
56	79	79	80	80	84	77	91	111	124	104	111
57	89	74	72	81	81	81	87	106	130	116	118
58	92	74	66	81	85	70	91	107	125	116	127
59	90	89	76	94	84	68	85	102	125	116	130
60	100	86	76	78	92	84	83	104	118	119	135
61	98	83	87	87	87	79	87	96	117	117	123
62	97	96	92	95	95	87	90	93	114	124	132
63	100	90	103	90	95	87	86	90	111	108	125
64	101	92	92	94	94	95	89	90	106	109	110
65	98	90	95	101	93	91	94	90	100	108	118
66	113	103	98	100	91	82	83	92	105	110	120
67	108	98	99	109	101	81	80	98	101	99	120
68	112	97	102	103	105	79	77	86	98	111	114
69	119	93	100	105	115	92	80	91	101	97	114
70	112	99	100	101	112	103	96	78	106	87	110

Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – НВ 9, частота – 25 МГц											
1	31	44	43	42	43	50	46	53	54	57	53
2	36	48	43	34	47	50	51	55	55	60	55
3	38	43	45	39	47	50	49	55	54	58	57
4	36	38	50	46	49	55	51	59	56	56	60
5	33	44	48	44	51	52	53	60	57	59	60
6	38	45	51	50	50	49	53	58	53	61	61
7	42	47	49	50	46	50	53	55	53	59	56
8	42	44	50	49	47	53	53	55	53	63	54
9	43	41	50	49	46	57	57	56	52	61	47
10	41	42	48	52	51	58	60	56	51	60	53
11	43	45	48	50	53	60	57	51	52	58	52
12	44	49	48	49	52	59	56	51	50	55	54
13	47	50	52	52	56	57	51	52	51	56	54
14	50	51	49	52	59	58	53	53	50	51	50
15	51	52	49	52	59	56	50	53	49	51	53
16	53	54	52	52	59	59	48	53	51	54	56
17	51	55	51	48	56	57	49	48	51	50	52
18	52	52	53	49	51	54	47	50	51	53	52
19	51	54	51	50	53	49	52	55	49	47	50
20	54	52	49	52	56	48	54	55	51	49	48
21	51	52	51	51	54	48	55	61	51	49	48
22	49	55	50	48	51	51	48	50	50	51	44
23	49	54	49	47	51	52	42	48	50	53	47
24	51	56	50	49	50	50	42	47	48	50	46
25	54	55	53	49	54	49	44	49	50	52	44
26	61	55	56	50	54	48	45	49	54	50	47
27	55	52	52	49	51	48	47	54	53	50	48
28	51	51	48	48	51	50	49	52	52	47	50
29	47	53	47	47	48	48	47	51	51	44	45
30	49	48	49	48	47	46	45	51	48	50	43
31	45	48	44	44	44	46	44	49	49	50	44
32	46	51	45	43	45	46	43	48	51	51	47
33	45	52	44	41	44	45	44	48	51	52	52
34	49	54	45	45	43	45	40	47	49	50	50
35	46	54	50	40	41	45	38	45	49	50	51
36	44	51	47	37	42	45	40	46	49	48	50
37	45	56	49	42	40	40	43	49	49	45	49
38	53	57	48	42	38	36	43	49	48	42	52

Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – НВ 9, частота – 25 МГц											
39	53	53	44	44	37	36	45	47	48	46	49
40	55	74	44	45	45	33	42	43	49	44	48
41	65	77	39	54	31	46	37	50	45	49	47
42	73	79	32	65	34	50	36	50	42	49	48
43	75	86	30	72	36	50	41	52	44	50	53
44	63	71	38	66	36	47	39	51	39	48	52
45	56	48	43	55	40	43	41	49	46	48	52
46	50	36	47	47	44	40	49	48	52	54	54
47	51	39	46	47	46	48	56	51	51	48	53
48	44	38	45	51	55	56	62	54	47	44	52
49	37	32	45	57	69	64	68	58	49	42	49
50	40	31	45	60	80	72	69	61	50	41	43
51	37	31	45	64	88	76	69	62	49	41	41
52	31	34	47	72	90	79	66	63	50	45	45
53	27	44	46	78	87	77	64	62	51	48	45
54	20	44	46	77	82	73	67	61	53	47	42
55	20	43	46	77	79	67	72	58	49	48	45
56	25	47	51	70	78	68	77	54	47	47	42
57	26	50	53	67	77	69	79	49	46	48	41
58	27	51	54	63	72	74	69	47	46	48	43
59	19	50	51	60	65	71	51	44	44	44	45
60	24	47	49	51	58	58	41	43	42	40	42
61	34	49	48	48	51	45	37	45	42	45	42
62	41	49	44	43	46	42	37	46	43	46	42
63	49	49	44	39	40	40	38	44	43	46	43
64	51	50	44	39	35	40	36	42	42	42	40
65	50	49	43	37	33	36	35	42	41	44	39
66	53	48	42	36	33	34	36	41	40	43	38
67	55	48	43	35	32	37	39	39	41	43	39
68	50	47	43	35	30	41	41	35	43	37	42
69	51	48	42	36	34	45	39	39	46	39	42
70	47	35	35	24	31	43	39	30	50	56	61

Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – НВ 9, частота – 14,7 МГц											
1	160	136	145	155	186	194	168	171	196	194	175
2	160	144	148	154	183	190	167	171	200	202	190
3	170	163	151	170	187	185	177	178	187	210	193
4	160	161	156	156	182	197	172	175	184	205	190
5	164	157	152	154	169	194	181	163	185	197	193
6	165	168	149	146	158	198	180	162	184	203	190
7	167	174	163	144	163	194	182	177	185	194	190
8	187	182	166	149	171	193	180	175	184	197	192
9	167	180	167	151	169	195	182	175	176	202	187
10	159	170	167	154	168	191	183	170	178	206	190
11	156	166	166	155	170	192	185	170	177	204	190
12	158	161	167	155	175	191	173	172	177	213	196
13	169	172	173	165	174	181	166	170	174	203	192
14	170	182	169	173	170	177	165	163	186	209	192
15	185	178	166	170	171	173	166	165	180	201	195
16	202	185	161	170	187	186	165	168	174	187	187
17	178	187	158	176	183	189	169	169	173	197	182
18	183	187	169	170	176	191	170	161	171	194	180
19	192	192	189	170	168	183	173	161	165	193	173
20	188	187	186	171	168	183	174	161	165	183	172
21	194	188	183	164	166	181	169	155	155	185	174
22	196	203	187	170	166	180	169	153	158	181	168
23	205	204	184	176	166	181	164	156	153	179	168
24	216	196	183	169	171	175	163	150	155	175	165
25	217	203	179	178	174	175	155	149	153	180	167
26	220	200	173	169	170	169	150	149	154	179	170
27	212	193	165	160	173	170	149	152	160	177	169
28	204	193	170	154	164	167	148	150	167	170	169
29	195	198	169	160	167	164	145	136	163	180	161
30	196	190	171	161	162	165	139	134	158	189	169
31	186	174	167	163	165	160	141	129	153	198	166
32	176	173	161	149	158	160	135	129	153	194	172
33	177	180	166	153	153	153	135	135	127	182	170
34	180	178	166	152	150	145	128	132	153	190	165
35	179	171	166	151	143	144	126	130	147	179	168
36	191	171	164	157	137	132	128	123	144	189	167
37	198	170	166	155	137	135	131	129	138	194	176
38	201	173	166	162	139	134	134	133	138	192	185



Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – НВ 9, частота – 14,7 МГц											
39	213	182	163	158	140	142	141	133	149	185	184
40	215	225	173	159	157	155	134	135	151	185	183
41	219	255	171	150	163	163	131	125	153	189	179
42	243	285	170	152	174	165	130	134	162	185	179
43	287	244	159	157	173	156	127	138	156	181	182
44	228	204	149	156	174	162	133	140	162	177	187
45	208	206	145	158	182	165	137	148	161	170	183
46	199	207	145	161	173	169	148	160	164	177	176
47	173	192	146	161	181	189	167	160	163	192	180
48	140	164	143	161	191	208	187	165	160	182	167
49	135	161	147	161	218	229	208	170	162	181	164
50	147	152	140	171	244	250	213	180	169	178	157
51	173	160	153	193	256	261	227	189	172	189	163
52	169	165	160	197	269	267	229	198	174	180	167
53	174	172	164	198	280	264	229	211	184	167	165
54	175	164	158	196	268	263	243	204	187	159	159
55	161	156	173	211	259	253	247	204	186	168	155
56	149	150	177	220	271	267	248	199	181	179	152
57	159	161	176	204	268	266	241	188	173	185	153
58	168	168	167	216	261	264	234	179	167	189	149
59	156	154	169	196	252	262	222	172	162	184	151
60	163	164	166	189	230	247	201	162	147	180	151
61	170	166	166	175	196	219	186	149	147	178	153
62	180	164	161	174	175	194	173	150	162	187	158
63	172	170	161	159	164	175	166	151	163	185	158
64	166	177	164	159	158	165	155	146	167	184	163
65	173	176	173	154	152	159	151	147	163	190	153
66	175	189	167	151	160	163	150	144	164	180	156
67	172	191	176	154	162	163	147	141	154	178	154
68	165	188	173	160	163	164	140	135	156	176	150
69	162	179	170	166	151	165	144	145	151	155	150
70	164	161	173	143	165	168	149	174	148	159	169

Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – НВ 21, частота – 25 МГц											
1	25	19	21	64	50	54	45	51	35	42	35
2	60	15	24	52	47	46	48	51	45	43	44
3	46	22	18	50	45	50	51	49	42	35	34
4	56	40	28	50	55	55	46	50	51	38	39
5	54	49	34	52	53	55	48	50	53	38	43
6	58	53	42	47	52	54	51	47	59	36	49
7	57	62	44	39	48	52	55	47	65	42	48
8	64	55	55	43	53	54	49	52	57	41	47
9	76	53	62	53	51	54	46	50	54	41	49
10	82	45	53	46	51	50	46	51	55	42	48
11	60	52	54	48	53	49	46	49	55	45	47
12	65	60	60	53	60	47	47	49	57	48	52
13	73	69	62	55	56	51	48	45	58	48	51
14	62	60	59	50	55	45	45	41	59	48	53
15	51	52	55	51	54	41	44	41	54	50	48
16	61	50	52	48	58	43	44	46	54	47	49
17	71	42	53	49	53	46	46	43	65	48	53
18	67	48	54	53	52	47	41	46	64	54	54
19	62	49	64	53	58	51	37	48	64	59	57
20	65	45	57	54	55	53	32	48	66	54	62
21	67	55	55	52	54	53	42	47	72	53	59
22	64	64	60	47	54	50	48	49	77	65	58
23	58	55	62	46	53	47	54	53	69	70	64
24	52	52	56	43	45	43	46	55	60	63	65
25	48	48	56	40	36	42	44	62	64	56	70
26	57	49	55	40	45	38	55	65	67	52	74
27	65	55	45	37	57	35	66	79	74	50	74
28	67	53	42	31	67	59	89	89	74	59	64
29	66	52	49	31	89	91	89	98	69	65	61
30	68	54	48	29	112	116	83	88	59	61	62
31	64	55	51	40	114	108	84	87	56	53	65
32	61	56	52	52	113	104	92	87	59	49	52
33	41	59	53	76	115	95	100	89	66	45	47
34	49	53	50	93	111	95	110	92	67	47	40
35	56	65	56	103	111	97	119	78	68	43	40
36	61	65	59	103	113	103	122	72	66	38	38
37	51	61	64	97	118	110	125	77	70	43	33
38	46	62	77	91	118	112	124	88	74	44	23

Номер ра точок (α)	Температура за сканами ·10 <sup>3</sup> К										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Джерело – НВ 21, частота – 25 МГц											
39	45	62	82	86	114	104	119	86	72	51	26
40	48	55	85	77	101	93	90	74	78	52	36
41	48	54	78	73	93	70	81	62	77	54	47
42	54	46	73	66	81	62	69	53	74	56	53
43	59	50	70	68	81	61	62	54	79	59	60
44	70	60	68	68	77	64	56	53	79	64	63
45	72	56	61	60	69	66	60	54	83	66	65
46	73	62	58	59	65	78	64	55	80	68	64
47	71	64	64	64	69	73	64	58	72	70	66
48	70	64	66	65	70	66	55	52	68	79	66
49	73	58	71	65	72	51	53	53	71	79	68
50	80	53	65	64	68	43	59	50	74	77	73
51	75	54	67	66	61	46	58	46	74	72	69
52	75	58	64	62	59	47	58	40	73	74	66
53	71	56	51	60	58	52	54	44	73	71	65
54	69	56	43	60	56	50	44	44	71	67	66
55	67	45	61	62	57	41	42	45	72	61	70
56	66	39	115	68	63	35	39	40	75	62	71
57	78	39	131	67	68	43	43	34	69	57	70
58	78	56	98	60	65	47	44	34	63	52	64
59	74	62	72	58	64	51	45	42	65	54	63
60	58	49	56	55	62	49	55	51	66	53	70
61	65	48	54	56	63	50	60	62	65	55	72
62	77	51	64	67	56	45	61	73	66	52	73
63	77	58	62	66	54	39	61	77	71	54	65
64	67	62	49	61	50	38	58	79	74	58	61
65	60	51	69	69	56	38	53	85	74	59	57
66	60	33	92	70	62	41	52	79	69	70	70
67	73	38	103	66	67	42	60	70	60	68	64
68	70	41	115	64	66	59	69	59	59	68	63
69	92	39	80	51	76	56	70	57	71	59	64
70	77	55	61	49	77	78	74	46	73	57	71

*Навчальне видання*

**МУРНІКОВ** Борис Олександрович  
**КАБАНОВА** Тамара Іванівна

**ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ ПОТОКУ ЗАЛИШКІВ СПАЛАХІВ  
НАДНОВИХ У РАДІОДІАПАЗОНІ**

*МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ*  
для студентів фізичного факультету  
спеціальності «астрономія»

В авторській редакції

Підп. до друку 10.04.2018. Формат 60х84/16.  
Ум. друк. арк. 1,98. Тираж 30 пр.  
Зам. № 1739.

**Видавець і виготовлювач**  
**Одеський національний університет**  
**імені І. І. Мечникова**

Україна, 65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.

Тел.: (048) 723 28 39. E-mail: [druk@onu.edu.ua](mailto:druk@onu.edu.ua)