

BGR-1 C-1 C

BGR-1 C-1 C Margulan Erlanovich Ismoldayev

Team Competition Group Radio Astronomy

Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

Group Radio Astronomy (115 points)

Please read the general instructions in the separate envelope before you start this problem.

Measuring the Perseus arm using 21 cm HI line data

Context

Our goal here is to kinematically estimate the distance of (part of) the Perseus Arm of the Milky Way (Figure 1), from the center of the Milky Way, based on the line-of-sight velocity of neutral hydrogen gas via its 21 cm emission line.

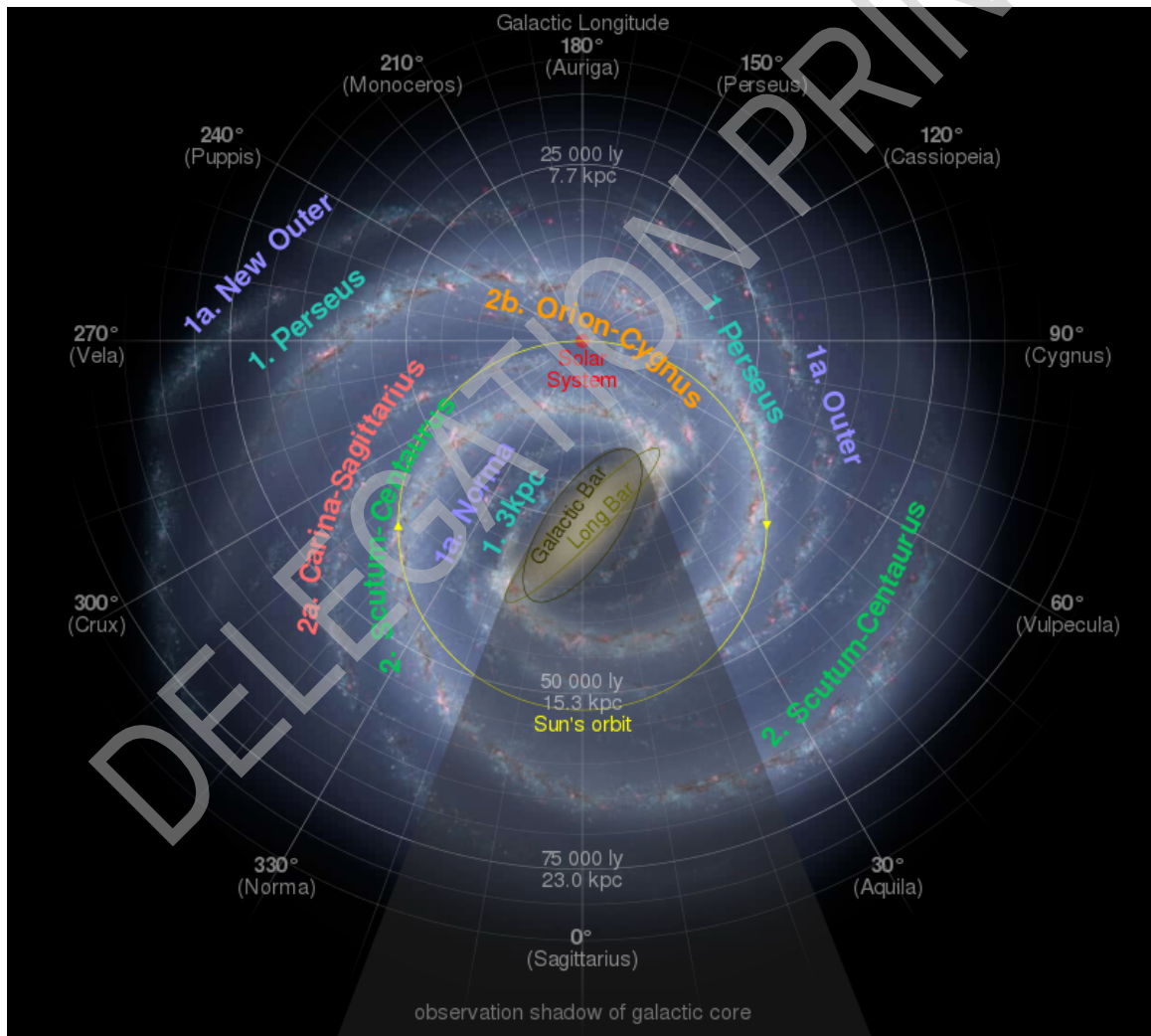


Figure 1: Distance-galactic longitude map of the Milky Way arms
https://en.wikipedia.org/wiki/Perseus_Arm#/media/File:Milky_Way_Arms_ssc2008-10.svg

Team Competition



BGR-1 C-1 Q-2

Q1-2

English (Official)

For this problem we will use a subset of the Canadian Galactic Plane Survey (CGPS, Figure 2), in which individual radio telescope pointings can each yield the 21 cm line spectrum emitted by all the galactic neutral hydrogen along the line of sight of the radio telescope.

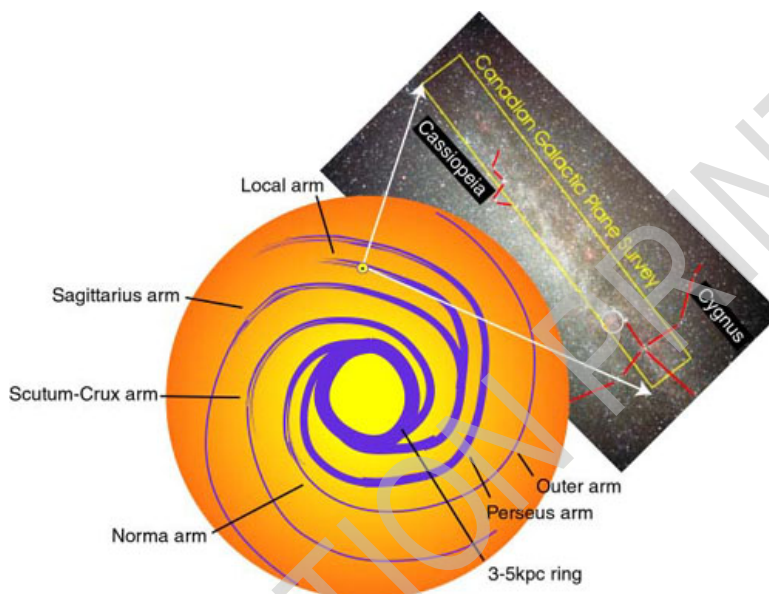


Figure 2: Canadian galactic plane survey <http://www.ras.ualgary.ca/CGPS>

By translating the Doppler wavelength shift of the 21 cm emission to a line-of-sight velocity, it is then possible to identify individual emission components that correspond to distinct galactic arms. This identification allows for a reconstruction of the shape of each arm with respect to the Galactic Center.

In the spectrum corresponding to a radio telescope pointing, the Perseus arm can be readily identified because it is often the brightest feature along each line of sight.

The frame of reference of the radio telescope observations can be taken to be the Sun, located at a distance R_0 from the Galactic Center (GC). The telescope has a pointing along a Line of Sight (LOS) defined by a galactic longitude l and a fixed galactic latitude $b = 0$. Along this LOS, the telescope picks up the emission of a parcel of neutral H gas from the Perseus arm that is located at a distance r from the Sun. This same parcel of gas is located at a distance R from the Galactic Center. Let us assume that both the Sun and the gas parcel are in exact circular orbits around the GC. Additionally, it can be assumed that both the Sun and the gas parcel are in the region where the rotation curve of the Milky Way is flat. The measured (Doppler) velocity is denoted as v_{LOS} , which equals to the velocity of the gas parcel along the line of sight.

Team Competition



BGR-1 C-1 Q-3

Q1-3

English (Official)

Data set

For this problem we attach a .csv file (21cmsurvey_full.csv, Excel and other spreadsheet software-readable) which contain 21 cm HI line brightness temperature (T_b) data vs. line-of-sight velocity (v_{LOS}) for a range of galactic longitudes (for galactic latitude = 0).

Row 1: Line-of-sight velocities v_{LOS} (173 values, units: km s^{-1}).

Column 1 (after row 1): Galactic Longitude l (1024 values, units: $^\circ$).

Rows 2-1025: 21 cm HI Brightness Temperature T_b (units: K). Each row yields the spectrum for the pointing defined by l (row name - column 1). There are thus 1024 spectra. Each spectrum has 173 T_b measurements, one for each v_{LOS} .

	A	B	C	D	E	F	G
1	longitude	17.499242	16.674782	15.850322	15.025862	14.201402	13.376942
2	142.195	7.6806355	-3.6773872	10.236036	12.072731	2.6496887	-5.4096527
3	142.2	-2.3566856	-17.443382	10.948601	15.752264	-5.6430779	-4.0766678
4	142.205	-7.2586327	-16.816818	11.409309	14.382421	-8.1247673	-2.1908302
5	142.21	-4.8997993	-1.3861237	8.1782017	0.1741447	-6.5460701	2.8831139
6	142.215	1.4211311	17.361675	3.865963	-19.79607	-5.4956512	10.672174
7	142.22	10.801174	29.229548	6.5995045	-28.279266	-6.2942162	17.140533
8	142.225	15.174841	25.408731	12.852865	-18.843937	-8.4810486	11.249598
9	142.23	11.863876	11.36631	13.676001	-3.8985252	-8.6407623	-3.4193878
10	142.235	1.5808449	-5.765934	4.6522408	3.5158234	-6.70578	-18.493797
11	142.24	-3.855526	-13.573421	-5.8457909	0.7269974	-4.1995239	-23.408031
12	142.245	-1.1465569	-7.5473442	-7.0313492	-3.400959	-1.7116928	-18.352516
13	142.25	5.9913673	8.6634827	2.0968399	-1.6011238	4.3635292	-6.9637794
14	142.255	9.1303349	24.567169	13.166147	4.2713852	13.448717	4.9778061

Part 1 (50 points).

- 1.1** Make a spectral plot of v_{LOS} vs. T_b for an adequate number of different values (at least 20 plots) of galactic longitudes covering the full range of observations. Identify the peak line of sight velocity of the Perseus gas parcel at each of the plotted longitudes. Make sure to evenly sample the data set. 45.0pt

Note: Use the plot of the first or the last longitude as a guide to identify correct peaks in the plots at the intermediate longitudes.

- 1.2** Why does the emission near $v_{LOS} = 0$ (which we associate with our local arm) have a lower brightness temperature than the emission from the Perseus arm? 5.0pt

Part 2 (20 points).

- 2.1** Derive an expression to calculate R from v_{LOS} , $v_{\odot}$, and l . You can assume: 20.0pt
- That both the Solar System and the Perseus arm gas parcel along the line of sight have a purely tangential velocity, with a negligible radial component.
 - A flat galactic rotation curve, i.e.

$$|v| = |v_{\odot}|$$

where v is the velocity of the gas parcel.

Part 3 (20 points).

- 3.1** Using the v_{LOS} values you found earlier, make a plot of galactic longitude l vs. R (radius with respect to the Galactic Center, in kpc) for the Perseus arm. Find the average distance of the Perseus arm for the given longitude range. Also report the standard deviation in your result. Use the values: 20.0pt

$$v_{\odot} \approx 225 \text{ km s}^{-1}$$

$$R_0 \approx 8 \text{ kpc}$$

Part 4 (25 points).

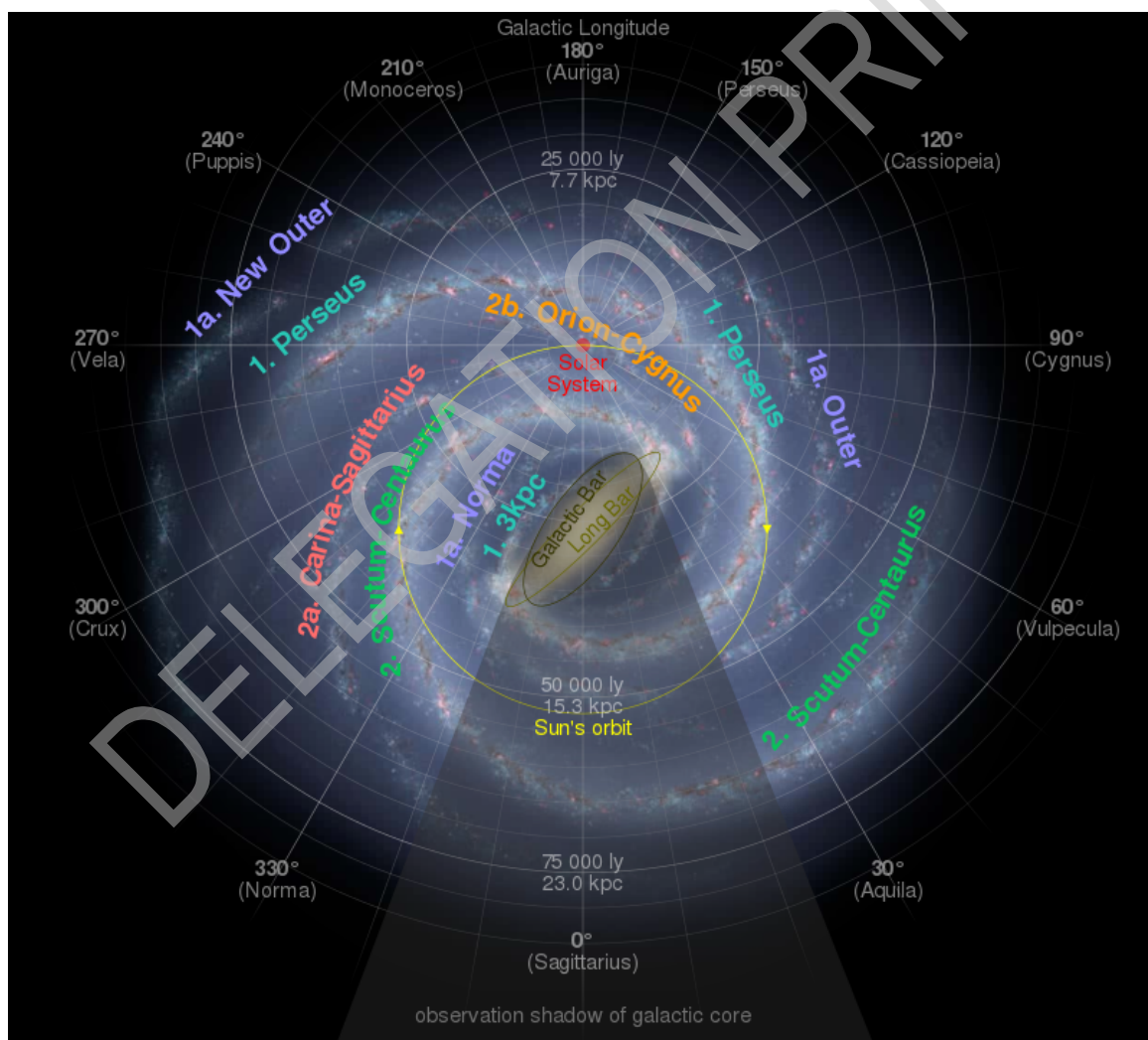
- 4.1** The data also shows 21cm emission from the Norma arm of the Milky Way, which is its outer arm. This emission is most clearly seen around the galactic longitude of 145° . Repeat the exercise for the Norma arm to find its distance from GC. Use at least 5 data points to determine the distance of the Norma arm from the Galactic Centre (at these galactic longitudes). 25.0pt

Отборен тур: Радио-астрономия (115 точки)

Моля, прочетете общите инструкции, които са в отделен плик, преди да започнете да работите по тази задача.

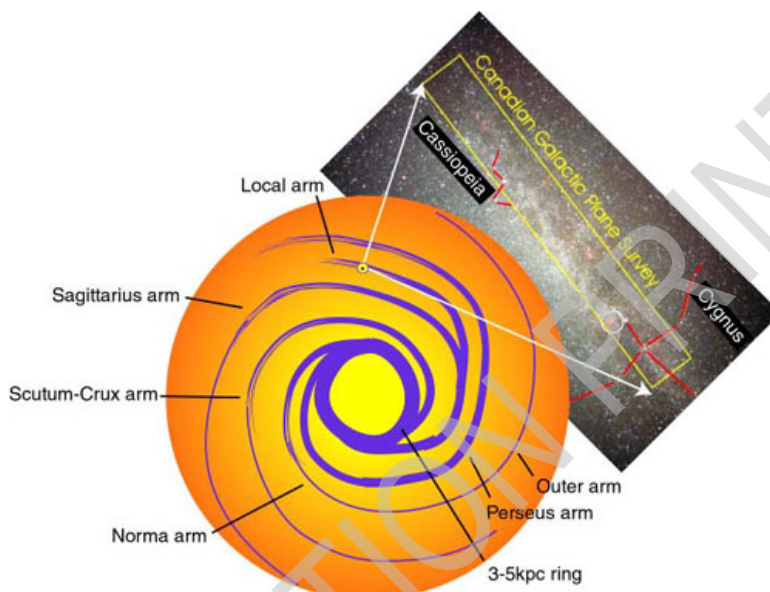
Измерване на спиралния ръкав в Персей, използвайки данни, получени на линията 21 cm HI

Нашата цел е по кинематичен начин да оценим разстоянието от спиралния ръкав в Персей (или от някаква част от него) (Фигура 1), до центъра на Млечния път, използвайки лъчевата скорост на водородния газ, измерена чрез емисионната линия на 21 cm.



Фигура 1: Карта показваща разстоянието и галактичната дължина на ръкавите на Млечния път https://en.wikipedia.org/wiki/Perseus_Arm#/media/File:Milky_Way_Arms_ssc2008-10.svg

За тази задача, ще използваме извадка от данни, получени от CGPS (Фигура 2), в която от единичните наблюдения на радио-телескопите може да се получи спектралната линия на 21 cm, излъчена от всички неутрален водород в Галактиката, който е по лъча на зрение на телескопа.



Фигура 2: Canadian galactic plane survey <http://www.ras.ucalgary.ca/CGPS>

Чрез превръщането на доплеровото изместване на радиовълната на дължина 21 cm в лъчева скорост е възможно да се идентифицират индивидуалните емисионни компоненти на линия, които съответстват на различни ръкави на Галактиката. Това позволява да се възстановява формата на всеки ръкав, относно центъра на Галактиката.

В спектъра, който е получен при съответното насочване на радио-телескопа, ръкавът в Персей може да лесно да бъде идентифициран, защото най-често неговата компонента е най-ярката по лъча на зрение.

Може да се приеме, че центърът на отправната система на радио-наблюдението съвпада с Слънцето, което се намира на разстояние R_0 от центъра на Галактиката (GC). Телескопът наблюдава по зрителен лъч (LOS), дефиниран от галактична дължина l и фиксирана галактична ширина $b = 0$.

По този лъч на зрение, телескопът регистрира излъчването на част от неутралният водороден газ от ръкава в Персей, която се намира на разстояние r от Слънцето. Тази част от водородния газ се намира на разстояние R от центъра на Галактиката.

Нека да приемем, че и Слънцето, и тази част от водородния газ се движат по кръгови орбити около центъра на Млечния път. Също така, може да се предположи, че те се намират в регион от Млечния път, където кривата на въртене на Галактиката е хоризонтална. Означаваме измерената (доплерова) скорост с v_{LOS} , и тя е равна на компонентата на скоростта на тази част от газа, измерена по лъча на зрение.

Team Competition



BGR-1 C-1 Q-3

Q1-3

Bulgarian (Bulgaria)

Данни

В тази задача е прикачен .csv файл (21cmsurvey_full.csv, който може да бъде прочетен от Excel и други програми за работа с електронни табцици), който съдържа данни за яркостната температура (T_b) на линията 21 cm HI като функция от лъчевата скорост (V_{LOS}) за различни галактики дължини (при галактична ширина = 0)

Ред 1: Скорост по лъча на зрение v_{LOS} (173 стойности, мерна единица: $km\ s^{-1}$).

Колоната 1 (след ред 1): Галактична дължина l (1024 стойности, мерна единица: $^\circ$).

Редове 2-1025: Яркостна температура T_b (измерена в K) на линията 21 cm. На всеки ред съответства спектър, дефиниран от галактичната дължина l (row name - колона 1). Следователно, имаме 1024 спектъра. Всеки спектър съдържа 173 измервания за T_b , по едно за всяка v_{LOS} .

	A	B	C	D	E	F	G
1	longitude	17.499242	16.674782	15.850322	15.025862	14.201402	13.376942
2	142.195	7.6806355	-3.6773872	10.236036	12.072731	2.6496887	-5.4096527
3	142.2	-2.3566856	-17.443382	10.948601	15.752264	-5.6430779	-4.0766678
4	142.205	-7.2586327	-16.816818	11.409309	14.382421	-8.1247673	-2.1908302
5	142.21	-4.8997993	-1.3861237	8.1782017	0.1741447	-6.5460701	2.8831139
6	142.215	1.4211311	17.361675	3.865963	-19.79607	-5.4956512	10.672174
7	142.22	10.801174	29.229548	6.5995045	-28.279266	-6.2942162	17.140533
8	142.225	15.174841	25.408731	12.852865	-18.843937	-8.4810486	11.249598
9	142.23	11.863876	11.36631	13.676001	-3.8985252	-8.6407623	-3.4193878
10	142.235	1.5808449	-5.765934	4.6522408	3.5158234	-6.70578	-18.493797
11	142.24	-3.855526	-13.573421	-5.8457909	0.7269974	-4.1995239	-23.408031
12	142.245	-1.1465569	-7.5473442	-7.0313492	-3.400959	-1.7116928	-18.352516
13	142.25	5.9913673	8.6634827	2.0968399	-1.6011238	4.3635292	-6.9637794
14	142.255	9.1303349	24.567169	13.166147	4.2713852	13.448717	4.9778061

Част 1 (50 точки).

- 1.1** Начертайте спектрално разпределение на v_{LOS} като функция от T_b за достатъчно голям брой различни стойности (поне 20) на галактичната дължина, покриващи целия диапазон на наблюденията. Идентифицирайте най-високата скорост по лъча на зрение на частта от газа в ръкава в Персей за всяка една от галактичните ширини, за които сте начертали разпределението. Уверете се, че използвате равномерна извадка от данни.
Бележка: Изполвайте разпределението за първата и последната дължина като ориентир за правилните максимални стойности на средните дължини.

45.0pt
- 1.2** Защо излъчването около $v_{LOS} = 0$ (което ние асоциираме с ръкава, в който се намиране) има по-ниска яркостна температура от излъчването от ръкава в Персей?

5.0pt

Team Competition



BGR-1 C-1 Q-4

Q1-4

Bulgarian (Bulgaria)

DELEGATION PRINT

Част 2 (20 точки).

- 2.1** Изведете израз, с който може да се пресметне R от v_{LOS} , $v_{\odot}$, и l . Може да приемете, че: 20.0pt

- Слънчевата система и частта от газа в ръкава в Персей имат изцяло тангенциални скорости с пренебрежимо малки лъчеви компоненти, относно лъча на зрение.
- Кривата на въртене на Галактиката е хоризонтална, т.е.

$$|v| = |v_{\odot}|$$

където v е скоростта на частта от газа.

Част 3 (20 точки).

- 3.1** Използвайки стойностите на v_{LOS} , които вече намерихте, начертайте графика на галактичната дължина l като функция на R (разстоянието от центъра на Галактиката в крс) за ръкава в Персей. Намерете средното разстояние за някакъв интервал по дължина. Също така, намерете стандартното отклонение на Вашия резултат. Използвайте следните стойности: 20.0pt

$$v_{\odot} \approx 225 \text{ km s}^{-1}$$

$$R_0 \approx 8 \text{ kpc}$$

Част 4 (25 точки).

- 4.1** В данните също така присъства и излъчването на 21 cm от ръкава на Млечния път, който е в съзвездие ъгломер и който е външен ръкав. Това излъчване се наблюдава най-ясно около галактична дължина 145° . Повторете упражнението за ръкава в съзвездие ъгломер и намерете разстоянието от него до центъра на Галактиката. Използвайте поне пет точки, за да намерите това разстояние (около посочената галактична дължина). 25.0pt