

Bogdan WSZOŁEK^{1,2}, Agnieszka KANIA¹

¹ Akademia im. J. Długosza, ul. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa, Polska

² Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego, ul. Orła 171, 30-244 Kraków, Polska.

Galaktyczna natura Obłoku Rudnickiego-Baranowskiej

1. Wstęp

Na początku zeszłego stulecia podjęto pierwsze próby określenia stopnia przezroczystości ośrodka wypełniającego przestrzeń pomiędzy świecącymi ciałami niebieskimi. Szukano pierwszych wiarygodnych dowodów istnienia materii rozproszonej we Wszechświecie i próbowano wyznaczyć wartość powodowanej przez nią ekstynkcji światła wysyłanego przez gwiazdy czy mgławice. Przez dłuższy czas nie udało się wykazać istnienia tej materii w sposób wystarczająco przekonujący. Pierwszą, a zarazem nieświadomą, wypowiedzią na temat materii rozproszonej była praca Lundmarka i Lindblada z 1917 roku. Autorzy przebadawszy fotograficznie barwy kilku gromad kulistych i mgławic spiralnych stwierdzili, że nie ma zauważalnej ekstynkcji światła w przestrzeni. Nie mogli też odróżnić przestrzeni międzygwiazdowej od międzygalaktycznej, ponieważ w tych latach nie istniało pojęcie galaktyki.

W 1926 roku Hubble wykazał, że problem istnienia materii rozproszonej we Wszechświecie nie ogranicza się tylko do obszaru naszej Galaktyki. Udowodnił on, że znane wcześniej mgławice są bardzo odległymi galaktykami. Wraz z odkryciem innych galaktyk pojawił się problem, czy przestrzeń międzygalaktyczna jest pusta, czy też wypełnia ją jakaś materia. Po odkryciu przez Hubble'a rzeczywistej natury mgławic spiralnych zaczęto świadomie badać przezroczystość przestrzeni międzygalaktycznej.

Dzisiaj wiemy, że w przestrzeni międzygwiazdowej znajdują się liczne obłoki materii międzygwiazdowej. O gazowej składowej tych obłoków bardzo dobrze świadczą obserwacje w radiowym i optycznym zakresie widma. Obserwacje w podczerwieni odsłaniają doskonale obecność pyłowej składowej tych obłoków. Zupełnie inaczej ma się rzecz obserwacyjnego potwierdzenia istnienia materii rozproszonej w ośrodku międzygalaktycznym (Wszolek, 1988). Zdolności detekcyjne jakimi dysponuje astronomia współczesna zazwyczaj są zbyt

skromne, by wykryć istnienie bardzo rozrzedzonej i zarazem bardzo zimnej materii międzygalaktycznej (Wszolek i in., 1989).

Obiecującym sposobem wykrywania istnienia materii międzygalaktycznej jest wykrywanie obłoków ekstingujących leżących w bliskim sąsiedztwie naszej Galaktyki. Na liście zaledwie kilku obłoków ekstingujących podejrzewanych o międzygalaktyczne umiejscowienie występuje obłok odkryty przez Rudnickiego i Baranowską (1966). W pracy niniejszej przeprowadzono analizę emisji podczerwonej i ekstynkcji dla obłoku Rudnickiego-Baranowskiej (w skrócie ORB) i pokazano, że należy on najprawdopodobniej do halo Galaktyki.

2. Obłok Rudnickiego-Baranowskiej

Rudnicki i Baranowska (1966), badając rozkład galaktyk w gromadach Zwicky'ego 156-5 i 156-14, zauważyli pola o niskiej gęstości galaktyk. Stwierdzili, że ten niedobór galaktyk może być spowodowany obecnością obłoku pyłu międzygalaktycznego. Ta możliwość została dokładnie zbadana przez Kwasta (1974). Stwierdził on, że:

- poczerwienienie zdefiniowane jako iloraz liczby galaktyk widzialnych na żółtych kliszach przez liczbę galaktyk na kliszach niebieskich wzrasta ze wzrostem granicznej wielkości gwiazdowej dla kliszy,
- efekt ten jest silniejszy w polu obłoku niż w jego otoczeniu,
- korelacja między poczerwienieniem i zliczeniami galaktyk sugeruje, że bliższe galaktyki powodują poczerwienienie dalszych. Ten efekt jest silniejszy dla pola obłoku.

Na tej podstawie Kwast przyjął, że obserwowany deficyt galaktyk z bardzo dużym prawdopodobieństwem jest spowodowany pyłem międzygalaktycznym.

ORB składa się właściwie z dwóch, blisko siebie leżących obszarów ekstingujących. Większy, „D”, o powierzchni około jednego stopnia kwadratowego i mniejszy, „M”, o powierzchni czterokrotnie mniejszej. Dokładne umiejscowienie ORB podano w tabeli 1. Według pracy Kwasta (1974) ekstynkcja w obłoku wynosi 1.2 mag dla barwy niebieskiej i 0.9 mag dla barwy żółtej.

Tabela 1. Współrzędne centrów obu składowych ORB na epokę 1950.0 oraz na epokę 2000.0. Literą T oznaczono wzięty na potrzeby analizy obszar porównawczy

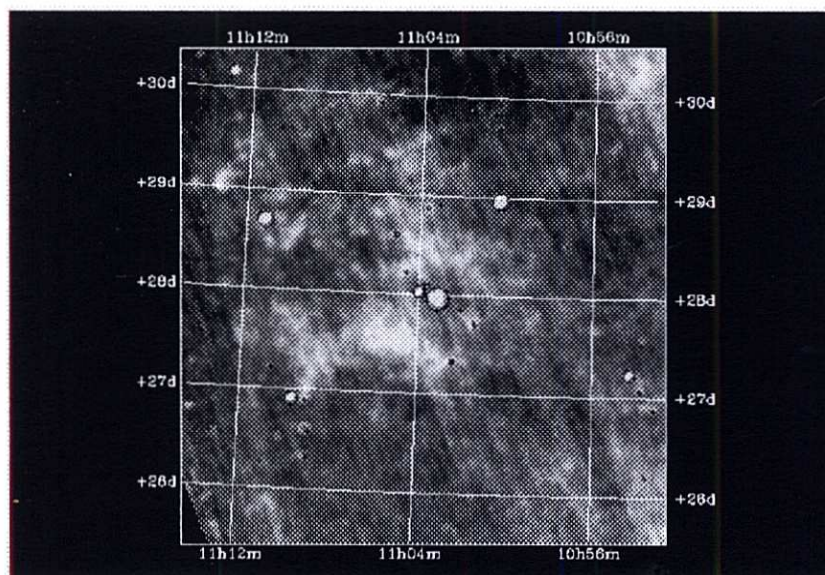
	$\alpha(1950.0)$	$\delta(1950.0)$	$\alpha(2000.0)$	$\delta(2000.0)$
D	11 ^h 3 ^m 6 ^s	27°57'24"	11 ^h 05 ^m 48 ^s .2 (166°.5)	27°41'11".2 (27°.7)
M	11 ^h 10 ^m 6 ^s	29°22'6"	11 ^h 12 ^m 47 ^s .6 (168°.2)	29°05'46".3 (29°.1)
T	11 ^h	26°		

3. Analiza emisji podczerwonej z kierunku ORB

W celu ustalenia charakteru emisji podczerwonej dla ORB wykorzystano dane uzyskane przez IRAS (ang. Infrared Astronomical Satellite) (Beichman i in. 1988).

IRAS odbył swoją misję w 1983 roku i był wyposażony w 57 cm teleskop oraz układ detektorów podczerwieni schłodzony do temperatury kilku K. Satelita ten dokonał przeglądu 96% nieba w czterech pasmach: 12, 25, 60 i 100 μm . Jednym z cennych efektów jego pracy są mapy jasności nieba dla poszczególnych zakresów podczerwieni. Tak oryginalne, jak i przetworzone dane IRAS są dostępne dla społeczności astronomicznej w archiwach NASA. Na potrzeby tej pracy wykorzystano dane przetworzone i występujące w archiwach NASA pod nazwą ISSA (ang. The IRAS Sky Survey Atlas) pod adresem: <http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/ISSA/>. Przewaga produktu ISSA w stosunku do oryginalnych map polega głównie na uwolnieniu się od poważnych niedociągnięć kalibracyjnych (tzw. pasów) w zakresie fotometrii. Zastosowanie wyrafinowanych programów komputerowych w stosunku do wszystkich przeglądów IRAS pozwoliło wyeliminować w dużej mierze dokuczliwe niedociągnięcia fotometryczne programu obserwacyjnego.

Na potrzeby analizy pobrano z archiwum NASA mapy ISSA dla wycinka nieba zawierającego ORB. Pobrano mapy dla trzech zakresów: 25, 60 i 100 μm . Następnie dokonano inspekcji wzrokowej map dla upewnienia się, czy ORB jest na nich widoczny. Stwierdzono, że obie składowe, „D” i „M”, ORB są względnie silnymi źródłami emisji podczerwonej w paśmie 100 i 60 μm . Na mapie dla pasma 25 μm ORB nie jest widoczny. Rysunek 1 przedstawia mapę emisji obejmującą ORB dla pasma 100 μm .



Rys. 1. Mapa IRAS (ISSA) w paśmie 100 μm zawierająca ORB. Na mapie jaśniejsze obszary odpowiadają większym natężeniom emisji. Mapę sporządzono na epokę 2000.0. Składowa „D” rozciąga się na lewo i w dół od punktu o współrzędnych: $11^{\text{h}}04^{\text{m}}, 28^{\circ}$. Składowa „M” jest widoczna jako małe, zwarte źródło emisji na lewo od punktu $11^{\text{h}}12^{\text{m}}, 29^{\circ}$

4. Badanie ekstynkcji w kierunku ORB

Sprawdzenia ekstyngujących własności ośrodka w kierunku ORB dokonano na dwa niezależne sposoby. Po pierwsze, skorzystano z map ekstynkcji sporządzonych dla całego nieba w oparciu o obserwacje w podczerwieni przez Schlegela i in. (1998). Autorzy opublikowali wyniki swoich badań odnośnie do obfitości materiału ekstyngującego rezydującego w Galaktyce. Całe niebo zostało podzielone na piksele $5' \times 5'$. Dla każdego piksela wyliczono wartość ekstynkcji w oparciu o dane o emisji podczerwonej zebrane przez DIRBE (ang. Diffuse Infrared Background Experiment) (Hauser i in., 1997) oraz przez IRAS. Mapy te są powszechnie uznane jako miarodajne źródło informacji o ekstynkcji selektywnej (zwanej też poczerwienieniem) produkowanej w Galaktyce i są dostępne w sieci.

Informacje o poczerwienieniach $E(B - V)$ ($E(B - V) = A_B - A_V$ jest różnicą pomiędzy ekstynkcjami w pasmach fotometrycznych B i V) uzyskano pracując interaktywnie z programem zamieszczonym pod adresem: <http://nedwww.ipac.caltech.edu/forms/index.html>. Program urządzony jest tak, że po wprowadzeniu współrzędnych α i δ na epokę 2000.0 dla ustalonego miejsca na mapie nieba otrzymamy wartość $E(B - V)$ wyznaczoną dla piksela $5' \times 5'$ zawierającego punkt o wprowadzonych współrzędnych.

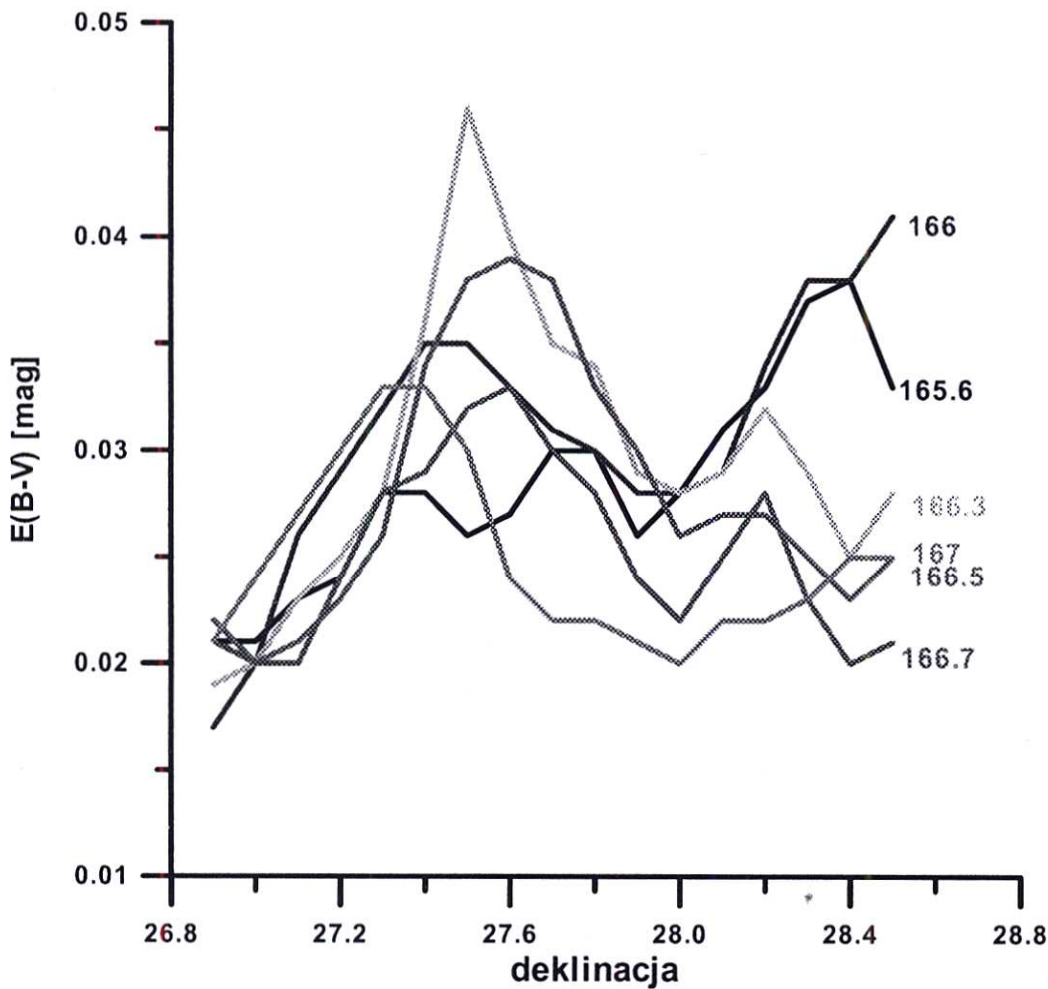
Dla analizy poczerwienienia obszaru „D” wybrano sześć pasów o stałych rektascensjach: $165^\circ.5$, 166° , $166^\circ.3$, $166^\circ.5$, $166^\circ.7$ i 167° . Pasy te zostały tak dobrane, aby wewnątrz obłoku wypadło na środku tych pasów. Następnie dla każdego z pasów o stałej rektascensji dla deklinacji robiono skok co 0.1 stopnia. Deklinacja przebiegała zawsze od $26^\circ.9$ do $28^\circ.5$. Dla każdego punktu na pasie odczytano wartość $E(B - V)$ korzystając ze wskazanej wyżej strony internetowej. Taki proces powtarzany był dla kolejnych pasów. Wyniki odczytów dla wszystkich sześciu pasów zostały umieszczone w tabeli 2. Rysunek 2, sporządzony w oparciu o tę tabelę, ilustruje graficznie przebiegi otrzymanych profili $E(B - V)$.

Do analizy poczerwienienia obszaru „M” wybrano trzy pasy o rektascensjach: 168° , $168^\circ.2$ i $168^\circ.4$. Dla każdego z pasów o stałej rektascensji robiono skok w deklinacji co 0.1 stopnia. Deklinacja przebiegała zawsze od 28° do 30° . Wyniki odczytów dla wszystkich trzech pasów zostały umieszczone w tabeli 3 i przedstawione graficznie na rysunku 3.

W drugim etapie analizy ekstynkcji ORB skorzystano z danych oferowanych przez NASA o rozkładach gwiazd i galaktyk stwierdzonych w oparciu o Palomarski Przegląd Nieba. Dla sprawdzenia jak ma się sprawa ekstynkcji światła gwiazd i galaktyk w obszarze zajmowanym przez ORB dokonano zliczeń tych obiektów w świetle widzialnym zarówno w obszarze ORB, jak i w szeregu obszarów porównawczych.

Tabela 2. Wyniki odczytu wartości poczerwienia $E(B - V)$ dla obszaru „D”. Wartości deklinacji wspólne dla wszystkich pasów zamieszczono w kolumnie pierwszej tabeli. Wytłuszczono obszar spodziewanych maksymalnych wartości poczerwienia

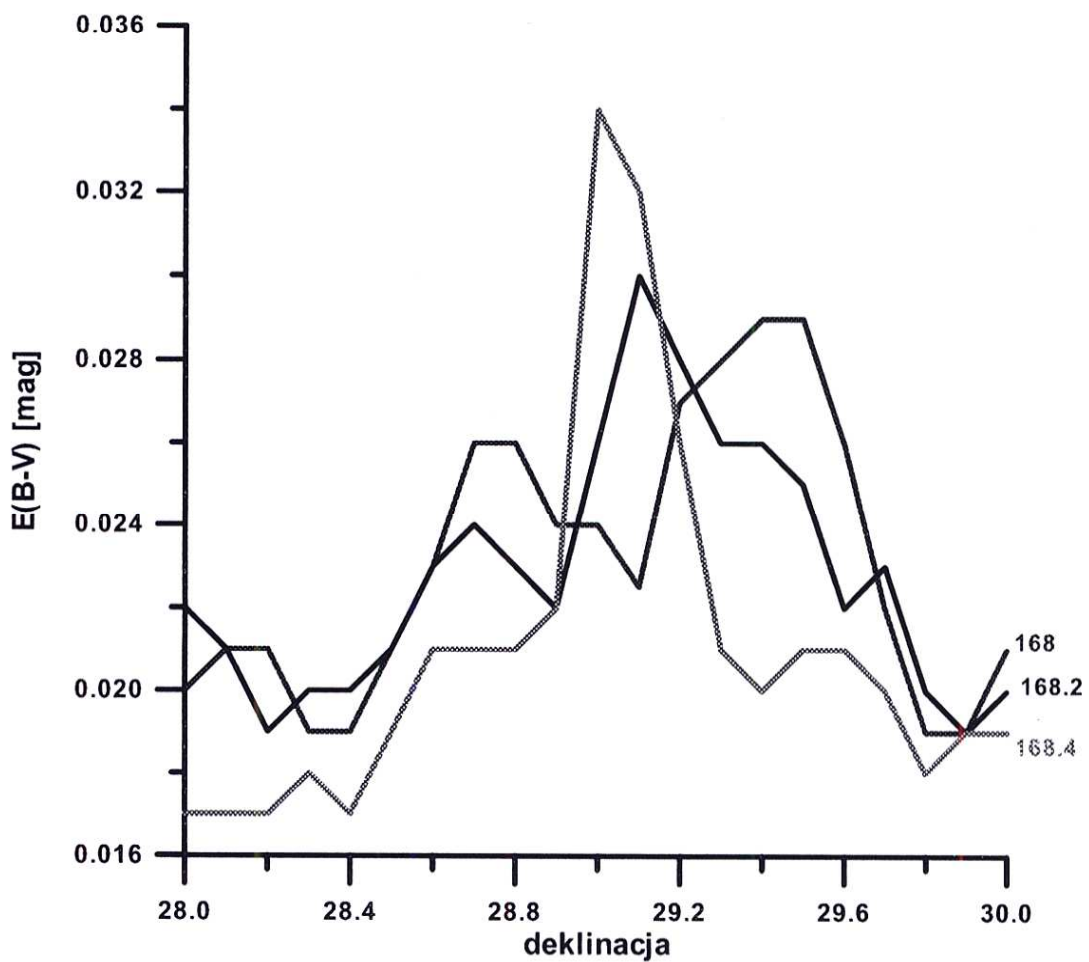
δ [°]	$E(B - V)$					
	$\alpha = 165^{\circ}.5$	$\alpha = 166^{\circ}$	$\alpha = 166^{\circ}.3$	$\alpha = 166^{\circ}.5$	$\alpha = 166^{\circ}.7$	$\alpha = 167^{\circ}$
26.9	0.021	0.017	0.019	0.022	0.021	0.021
27.0	0.021	0.020	0.020	0.020	0.020	0.024
27.1	0.023	0.026	0.023	0.021	0.020	0.027
27.2	0.024	0.029	0.025	0.023	0.024	0.030
27.3	0.028	0.032	0.028	0.026	0.028	0.033
27.4	0.028	0.035	0.036	0.034	0.029	0.033
27.5	0.026	0.035	0.046	0.038	0.032	0.030
27.6	0.027	0.033	0.040	0.039	0.033	0.024
27.7	0.030	0.031	0.035	0.038	0.030	0.022
27.8	0.030	0.030	0.034	0.033	0.028	0.022
27.9	0.026	0.028	0.029	0.030	0.024	0.021
28.0	0.028	0.028	0.028	0.026	0.022	0.020
28.1	0.031	0.029	0.029	0.027	0.025	0.022
28.2	0.033	0.034	0.032	0.027	0.028	0.022
28.3	0.037	0.038	0.029	0.025	0.023	0.023
28.4	0.038	0.038	0.025	0.023	0.020	0.025
28.5	0.033	0.041	0.028	0.025	0.021	0.025



Rys. 2. Profile poczerwienia wykonane dla ustalonych rektascensji i przy zmieniających się ze skokiem 0.1 deklinacjach dla obszaru „D”

Tabela 3. Jak dla tabeli 2, tylko dla obszaru „M”

δ [°]	E(B - V)		
	$\alpha = 168^\circ$	$\alpha = 168^\circ.2$	$\alpha = 168^\circ.4$
28.0	0.020	0.022	0.017
28.1	0.021	0.021	0.017
28.2	0.021	0.019	0.017
28.3	0.019	0.020	0.018
28.4	0.019	0.020	0.017
28.5	0.021	0.021	0.019
28.6	0.023	0.023	0.021
28.7	0.026	0.024	0.021
28.8	0.026	0.023	0.021
28.9	0.024	0.022	0.022
29.0	0.024	0.026	0.034
29.1	0.0225	0.030	0.032
29.2	0.027	0.028	0.026
29.3	0.028	0.026	0.021
29.4	0.029	0.026	0.020
29.5	0.029	0.025	0.021
29.6	0.026	0.022	0.021
29.7	0.022	0.023	0.020
29.8	0.019	0.020	0.018
29.9	0.019	0.019	0.019
30.0	0.021	0.020	0.019



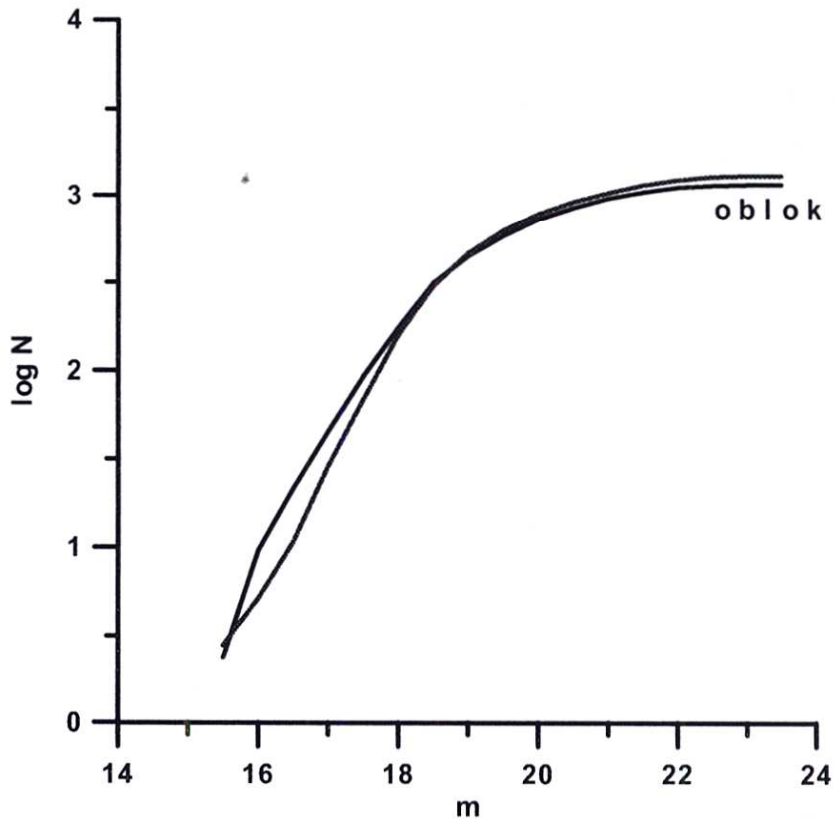
Rys. 3. Opis jak dla rysunku 2, tylko dla obszaru „M”

Zliczeń gwiazd i galaktyk dokonano w oparciu o elektroniczną wersję palomarskiego przeglądu nieba dostępną w Internecie pod adresem: <http://aps.umn.edu/StarBase2/>. Baza danych jest tak urządzona, że pozwala dla wskazanego obszaru (podaje się przedział rektascensji i przedział deklinacji na daną epokę) uzyskać szereg danych o obiektach (gwiazdach i galaktykach) leżących w tym obszarze. Po ściągnięciu oryginalnych zbiorów z danymi dokonano dla obszaru obłoku oraz dla obszaru porównawczego wyboru obserwowanych wielkości gwiazdowych w barwie niebieskiej tak dla gwiazd, jak i galaktyk. Wielkości gwiazdowe posłużyły do sporządzenia diagramów Wolfa (np. Zonn i Rudnicki, 1957), diagramów pozwalających ustalać różnice w ekstynkcjach ogólnych dla dwóch wybranych obszarów.

Tabela 4. Wyniki zliczeń gwiazd w ORB i w obszarze porównania. W kolumnie pierwszej podano wartości graniczne magnitudo. W kolumnach 2–4 zamieszczono dla każdego z obszarów („D”, „M”, „T”) ilości zliczonych gwiazd o magnitudo mniejszym niż magnitudo graniczne. W kolumnach 5–7 podano wartości logarytmów dziesiętnych zliczeń w przeliczeniu na stopień kwadratowy badanego obszaru

m	N_D	N_M	N_T	$\log_{10}N_D$	$\log_{10}N_M$	$\log_{10}N_T$
14.0	0	0	0	—	—	—
14.5	0	0	1	—	—	–.328
15.0	0	0	4	—	—	0.274
15.5	1	0	6	0.380	—	0.450
16.0	4	0	11	0.982	—	0.713
16.5	9	1	23	1.334	0.985	1.033
17.0	19	4	62	1.659	1.587	1.464
17.5	39	8	148	1.971	1.888	1.842
18.0	73	18	339	2.243	2.240	2.202
18.5	132	29	651	2.501	2.448	2.485
19.0	188	36	1000	2.654	2.541	2.672
19.5	245	50	1343	2.769	2.684	2.800
20.0	304	56	1672	2.863	2.733	2.895
20.5	356	60	1963	2.931	2.763	2.965
21.0	404	71	2226	2.986	2.836	3.019
21.5	441	82	2464	3.024	2.899	3.063
22.0	469	85	2640	3.051	2.915	3.093
22.5	480	94	2755	3.061	2.958	3.112
23.0	487	105	2792	3.067	3.006	3.118
23.5	487	106	2792	3.067	3.010	3.118

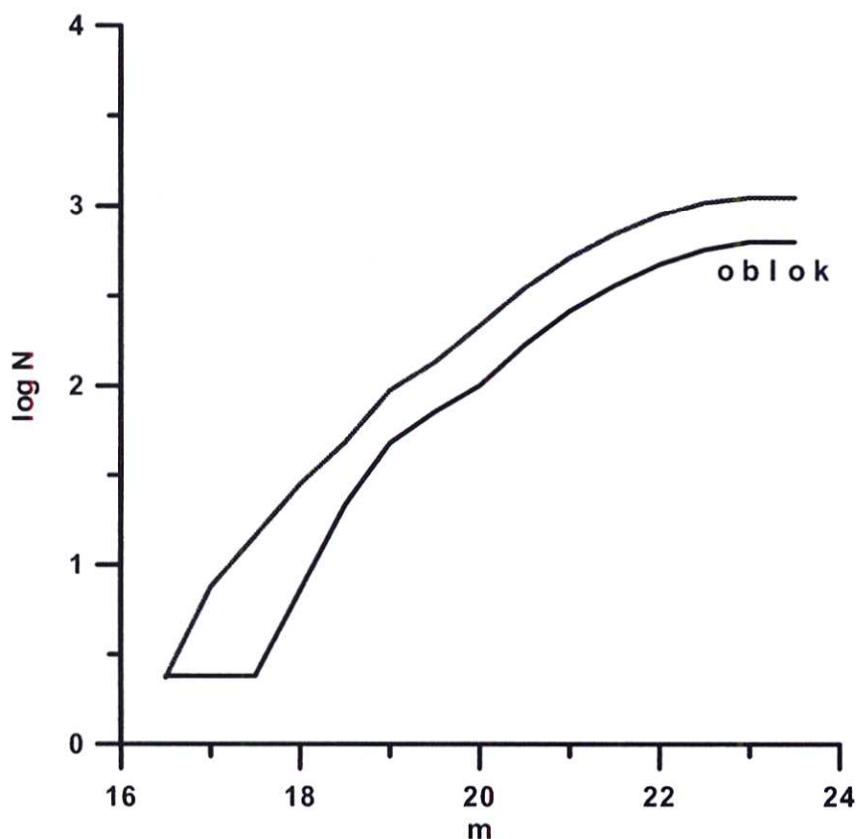
W oparciu o dane zawarte w tabeli 4 sporządzono diagram Wolfa (rys. 4) dla gwiazd. Podobne badania przeprowadzono dla galaktyk, a wyniki tych badań zawiera tabela 5 i rysunek 5.



Rys. 4. Diagram Wolfa dla gwiazd. Na osi odciętych odłożono magnitudo graniczne ze skokiem 0.5. Na osi rzędnych mamy logarytm dziesiętny kumulatywnej liczby zliczeń gwiazd przypadających na stopień kwadratowy. Porównano obszary „D” (linia ciągła) i „T” (linia przerywana)

Tabela 5. Jak opis dla tabeli 4, tylko dla galaktyk

m	N_D	N_M	N_T	$\log_{10}N_D$	$\log_{10}N_M$	$\log_{10}N_T$
14.0	0	0	1	-	-	-.328
14.5	0	0	1	-	-	-.328
15.0	0	0	1	-	-	-.328
15.5	0	0	2	-	-	-.027
16.0	0	0	2	-	-	-.027
16.5	1	0	5	0.380	-	0.371
17.0	1	1	16	0.380	0.985	0.876
17.5	1	2	31	0.380	1.286	1.163
18.0	3	5	60	0.857	1.684	1.450
18.5	9	6	103	1.334	1.763	1.684
19.0	10	9	201	1.681	1.939	1.975
19.5	30	14	290	1.857	2.131	2.134
20.0	42	19	463	2.003	2.264	2.337
20.5	71	43	745	2.231	2.619	2.544
21.0	109	59	1100	2.417	2.756	2.713
21.5	151	81	1485	2.559	2.894	2.843
22.0	198	101	1887	2.677	2.989	2.947
22.5	239	120	2225	2.758	3.064	3.019
23.0	263	142	2370	2.800	3.137	3.046
23.5	263	147	2370	2.800	3.152	3.046



Rys. 5. Jak opis dla rysunku 4, tylko dla galaktyk

5. Wnioski

Z przeprowadzonej analizy wynika, że ORB jest wyraźnie widoczny na mapach ISSA w zakresie 100 i 60 μm . Oznacza to, że pod względem emisji podczerwonej obłok ten niczym nie odbiega od typowych obłoków międzygwiazdowych. Z rysunków 2 i 3 wynika, że nadwyżka poczerwienienia w stosunku do otoczenia wynosi dla centrów obszarów „D” i „M” odpowiednio około 0.020 i 0.012. Gdyby wyliczyć w oparciu o te poczerwienienia wartości spodziewanej ekstynkcji w paśmie V używając standardowego wzoru:

$$A_V = E(B - V) * R \quad (\text{np. Wszolek, 2002})$$

to otrzymalibyśmy dla parametru ekstynkcji $R = 3.2$ bardzo małe wartości: 0.064 i 0.0384, odpowiednio dla obszarów „D” i „M”.

Ogląd diagramu Wolfa dla gwiazd przeczy istnieniu ekstynkcji po drodze do większości gwiazd w Galaktyce w obszarze ORB. Za to diagram dla galaktyk wskazuje na istnienie ekstynkcji w ORB o wartości około 1 magnitudo (co pozostaje w zgodzie z oszacowaniem Kwasta (1974)). Należy stąd wnioskować, że ORB leży na peryferiach dysku Galaktyki i najprawdopodobniej należy do jej halo. Gdyby był bardziej oddalony, nie byłby najprawdopodobniej widoczny w pasmach 100 i 60 μm . Istnieje również uzasadnione podejrzenie, że w ORB przyczynę do emisji podczerwonej dają tylko te fragmenty obłoku, które są zwrócone w stronę dysku Galaktyki. Światło gwiazd dysku podgrzewa efektywnie tylko przednią część obłoku. Część tylna, będąc ekranowana, nie otrzy-

muje dostatecznej ilości energii promienistej gwiazd i ma znacznie niższą temperaturę niż część przednia. W takiej sytuacji, tylna część ORB nie dawałaby przyczynku do emisji podczerwonej w badanych zakresach, a mogłaby mieć znaczący wkład do ekstynkcji ogólnej. Taki zimny pył z tylnej części ORB powinien dawać przyczynę w zakresie mikrofalowym.

Literatura

- Beichman C.A., Neugebauer G., Habing H.J., Clegg P.E., Chester T.J., 1988, *IRAS Catalogs and Atlases* (NASA RP-1190), Vol. 1.
- Hauser M.G., Kelsall T., Leisawitz D., Weiland J. (eds), 1995, *COBE Diffuse Infrared Background Experiment (DIRBE)*, COBE Ref. Pub. Nr 95-A (Greenbelt, MD:NASA/GSFC).
- Hubble E., 1926, *ApJ.*, **64**, 321.
- Kwast T., 1974, *Acta Cosmologica* **2**, 65.
- Lundmark K., Lindblad B., 1917, *ApJ.*, **46**, 206.
- Rudnicki K., Baranowska M., 1966, *Acta Astronomica* **16**, 65.
- Schlegel D.J., Finkbeiner D.P., Davis M., 1998, *ApJ.*, **500**, 525.
- Wszolek B., 1988, *Postępy Astronomii*, T. XXXVI-Z.4, 245.
- Wszolek B., Rudnicki K., de Bernardis P., Masi S., 1989, *The Word of Galaxies*, (ed. Corwin H.G. Jr., Bottinelli C.), Springer-Verlag, New York, s. 499.
- Wszolek B., 2002, *Wprowadzenie do astronomii*, Wydawnictwo WSP w Częstochowie.
- Zonn W., Rudnicki K., 1957, *Astronomia gwiazdowa*, PWN Warszawa.

Bogdan WSZOLEK i Agnieszka KANIA

Summary

Rudnicki&Baranowska intergalactic obscuring cloud candidate was searched as a source of far-infrared emission as well as a source of extinction of optical light emitted by stars and galaxies. Analysing IRAS-ISSA maps we found that considered cloud is easily detectable as infrared source in 100 and 60 μm bands. Using reddening maps of Schlegel et al. (1998) we evaluated roughly extinction caused by dust visible in infrared. It amounts about 0.05 mag in V-band, what is very small value when to compare it to extinction in blue light equal 1.2 mag and given by Kwast (1974). Independently, using electronic version of Palomar Sky Survey, we obtained classical Wolf diagrams for stars and galaxies in Rudnicki&Baranowska cloud area compared with arbitrarily chosen background field. Wolf diagram made for stars did not give any sign of extinction enhancement in cloud area. From the other side, Wolf diagram made for galaxies showed extinction of the order of 1 magnitude (being in good accordance with value given by Kwast (1974)) in blue light. We drew conclusion about local nature of the cloud. It lies most probably in a halo of our Galaxy.