

Bogdan WSZOLEK^{1,2} i Aneta PIŁAT¹

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

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

Badania spektrofotometryczne wybranych ciemnych obłoków międzygwiazdowych w podczerwieni

Streszczenie

Wykorzystując dane o emisji podczerwonej uzyskane przez COBE/DIRBE (ang. Cosmic Background Explorer/Diffuse Infrared Background Experiment) zbadano widmowy rozkład emisji 22 ciemnych obłoków międzygwiazdowych. Pokazano, że ciemne obłoki mają bardzo zbliżony charakter widmowy emisji, z maksimum przypadającym pomiędzy 140 i 240 μm . Ustalono, że dane DIRBE, mimo słabej rozdzielczości, mogą być z powodzeniem używane do analizy warunków fizycznych panujących we wnętrzach bliskich, ciemnych obłoków międzygwiazdowych naszej galaktyki.

1. Wstęp

Rozproszona materia naszej galaktyki jest od niedawna przedmiotem intensywnych badań astrofizycznych. Szczególnym przejawem jej obecności są ciemne obłoki, nazywane też obłokami molekularnymi. Rosnące zainteresowanie ciemnymi obłokami wynika z faktu, że w ich wnętrzach zachodzą procesy formowania się gwiazd i planet. Istniejące modele dotyczące procesów przejścia rozproszonej materii kosmicznej do postaci skondensowanej nie są ostateczne i wymagają istotnych uściśleń, jeśli nie gruntownych przeobrażeń.

W celu uzyskania pełniejszych informacji o stanie materii międzygwiazdowej poddaje się ją obserwacjom fotometrycznym i spektroskopowym we wszystkich zakresach widma elektromagnetycznego. Jednak obserwacje w podczerwieni odgrywają tu kluczową rolę i pozwalają uściślić wyobrażenia o materii międzygwiazdowej, zarówno co do jej ilości, jak i stanu fizycznego. Materia w obłokach jest grzana w wyniku pochłaniania fotonów ultrafioletowych i optycznych emitowanych przez gorące gwiazdy. Jeśli obłok jest dostatecznie gęsty, to wszystkie takie fotony zostają zaabsorbowane (lub odbite) już na

obrzeżach obłoku i nie docierają do wnętrza. Wnętrze obłoku stygnie więc do bardzo niskich temperatur wypromieniowując termicznie fotony w dalekiej podczerwieni.

Fotony podczerwone w obłokach międzygwiazdowych mogą powstawać na wiele sposobów, jednak za mechanizm dominujący uważa się emisję termiczną pyłu zawartego w obłokach. Dlatego obserwacje w podczerwieni pozwalają badać głównie pyłową składową materii międzygwiazdowej, która to składowa często wymyka się obserwacjom w innych zakresach widma.

Przeprowadzony w ostatnich latach satelitarny przegląd całego nieba w podczerwieni w ramach programu COBE/DIRBE umożliwia przeprowadzanie globalnej analizy emisji ciemnych obłoków międzygwiazdowych. Obserwacje DIRBE mimo swoich niepodważalnych zalet (całe niebo obserwowane jednolitą aparaturą, wszystkie dane redukowane w ten sam sposób) mają też ujemne strony, a wśród nich na czoło wysuwa się stosunkowo duża wiązka detektorów promieniowania ($0.^\circ 7$). Obłoki o małych rozmiarach kątowych obserwowane z dużą wiązką ulegają „rozmyciu” i często giną w tle emisji dawanej przez źródła leżące tak przed, jak i za nimi.

Wszolek i Czajka (2002) pokazali, że dane DIRBE nadają się do rozpoznawania charakteru emisji podczerwonej dla większości środowisk w obrębie naszej Galaktyki, a także dla bliskich galaktyk. Sugerowali też, że emisja podczerwona galaktyk jest zdominowana składową pochodzącą od obłoków typu „cirrus”, a nie składową pochodzącą od ciemnych obłoków.

Występujące w przestrzeni międzygwiazdowej gęste obłoki molekularne ukazują się na niebie jako ciemne plamy, czyli pola o wyraźnym deficycie gwiazd w stosunku do otaczających je obszarów nieba. Obłoki molekularne odznaczają się wydatną emisją w dalekiej podczerwieni i uchodzą za najchłodniejsze skupiska materii międzygwiazdowej. Za emisję odpowiada najprawdopodobniej bardzo zimny pył występujący obficie we wnętrzach takich obłoków. Niemniej w obłokach molekularnych stwierdzono istnienie licznych zwartych obszarów emisji towarzyszących przypuszczalnie protogwiazdom lub świeżo narodzonym gwiazdom, zanurzonym dostatecznie głęboko w obłoku, by wymykać się obserwacjom w świetle widzialnym. Chociaż dla obłoków molekularnych spodziewamy się maksimum emisji w dalekiej podczerwieni (zimny pył) to widmo emisji tych obłoków może być w istotny sposób zaburzone obecnością ciepłych składowych pyłu. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki analizy stabilności rozkładu emisji podczerwonej przy przechodzeniu od obłoku do obłoku.

2. Obserwacje

W pracy wykorzystano dane o emisji podczerwonej nieba uzyskane w ramach misji COBE przeprowadzonej przez NASA (Boggess i in., 1992).

Jednym z modułów pomiarowych COBE był DIRBE (Hauser i in., 1995). Składał się on z teleskopu o średnicy obiektywu 19 cm oraz z zespołu bolometrów, schłodzonych do temperatury 1.55 K przy pomocy helowego systemu kriogenicznego. Instrument pracował w optymalnych warunkach przez dziesięć miesięcy (od 24 listopada 1989 do 21 września 1990 r.) gromadząc informacje o emisji podczerwonej nieba w dziesięciu zakresach podczerwieni: 1.25, 2.2, 3.5, 4.9, 12, 25, 60, 100, 140 i 240 μm . Pole widzenia detektorów (wiązka) wynosiło $0.7^\circ \times 0.7^\circ$. Absolutnej kalibracji natężeń promieniowania dokonano w oparciu o system sztucznych, pokładowych, źródeł emisji podczerwonej.

W pracy wykorzystano zestaw danych AASM (ang. Annual Average Sky Maps), czyli mapy jasności powierzchniowych nieba uśrednione po dziesięciomiesięcznym okresie obserwacyjnym. Całe niebo zostało podzielone na 393 216 ponumerowanych pikseli o rozmiarach ok. $0.32^\circ \times 0.32^\circ$. Każdy taki obszar był obserwowany wiele razy (często ponad 200 razy) w przeciągu dziesięciu miesięcy. Dane AASM obejmują dziesięć zbiorów (osobny zbiór dla każdego pasma fotometrycznego) zapisanych binarnie w formacie FITS (ang. Flexible Image Transport System). W zbiorze dla każdego numeru piksela podano wartość uśrednionej jasności powierzchniowej oraz odchylenie standardowe (σ) od średniej. Zbiory AASM, podobnie jak i odpowiednie programy pozwalające numerom pikseli przyporządkować współrzędne na niebie, umieszczone zostały w archiwach NASA i są dostępne (np. poprzez Internet, http://www.gsfc.nasa.gov/astro/cobe_home.html).

Dane AASM charakteryzują się bardzo dobrym stosunkiem sygnału do szumu i jak dotąd nie mają sobie równych jeśli chodzi o jakość fotometrii absolutnej w podczerwieni.

3. Obiekty poddane analizie

Badaniami objęto 22 ciemne obłoki należące do naszej galaktyki. Dla zminimalizowania niekorzystnych efektów związanych z dużym kątem widzenia detektorów DIRBE starano się wybrać obiekty możliwie duże kątowno. Poza tym wybierano obiekty położone możliwie najdalej pasa Drogi Mlecznej dla zminimalizowania problemów związanych z nakładaniem się przyczynków emisji od wielu, często odmiennych w swoim charakterze, źródeł. Z katalogu Lyndsa (1962) wybrano obłoki o rozmiarach 1–2 stopni kwadratowych, a z katalogu Hartleya i in. (1986) obłoki o rozmiarach większych niż $35' \times 35'$. Katalog Lyndsa obejmuje 1802 obiekty nieba północnego ($\delta > -33^\circ$). Oprócz położenia i rozmiarów podaje on stopień nieprzezroczystości obłoków w skali od 1 do 6. Wartość 1 oznacza, że ekstynkcja światła widzialnego w obłoku wynosi około 1 magnitudo. Wyższe wartości oznaczają większe gęstości obiektów. Katalog Hartleya i in. obejmuje 1101 ciemnych obłoków nieba południowego ($\delta < -33^\circ$). Gęstości obłoków charakteryzuje się w tym katalogu używając trójstopniowej

skali: A, B, C. Obłoki oznaczone literą A są najgęstsze i w skali Lyndsa odpowiada im wartość 6. Literze B odpowiada w katalogu Lyndsa 4 i 5, a literze C odpowiada 1, 2 lub 3. W tabeli 1 zawarto dane o obłokach poddanych analizie.

Tabela 1. Wykaz badanych obłoków. Obłoki z katalogu Lyndsa oznaczono literą L, a obłoki z katalogu Hartleya i in. literą H. Wielkości obłoków podano w stopniach kwadratowych, a gęstości (grubości optyczne) zgodnie z konwencjami przyjętymi przez autorów katalogów

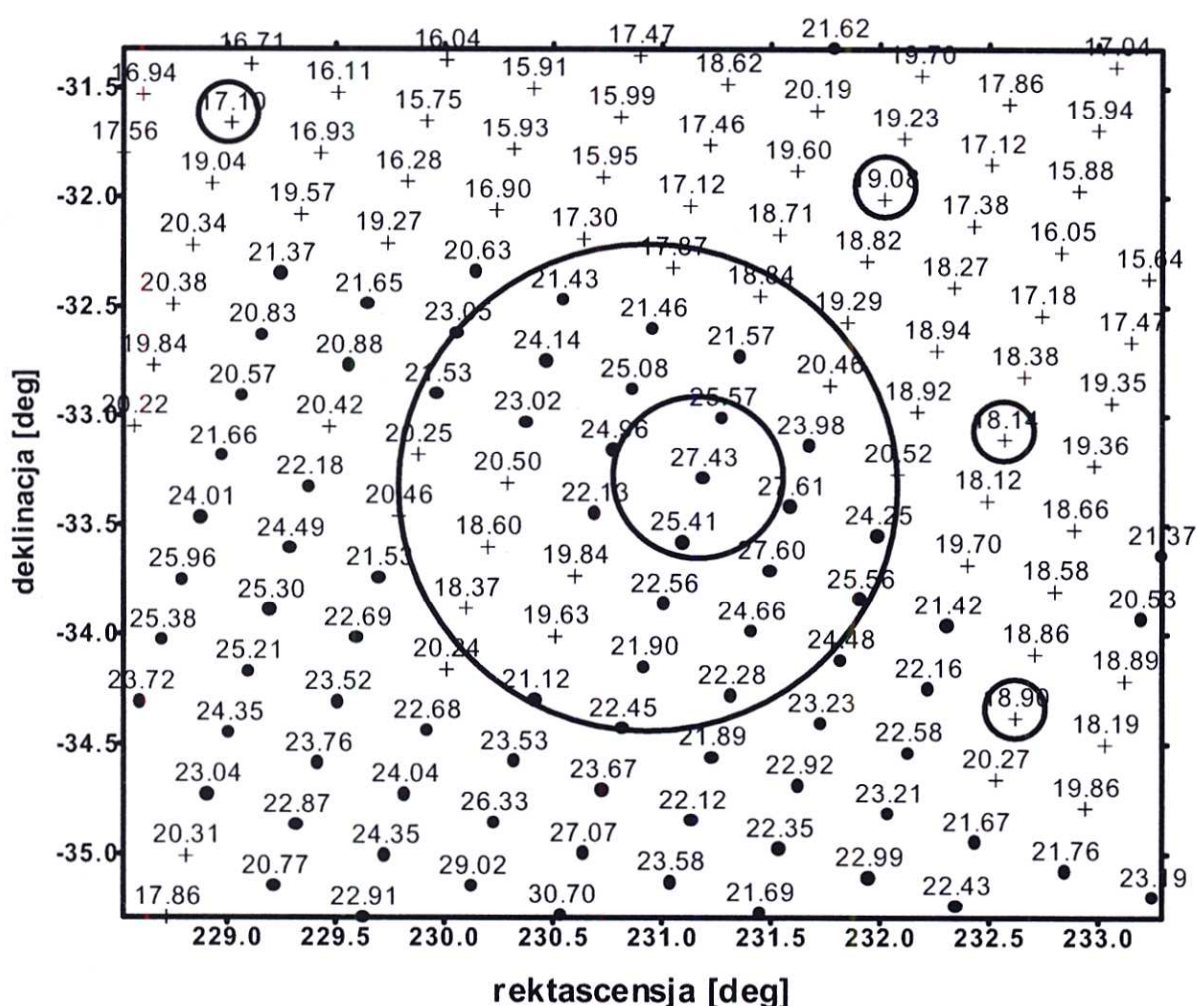
L.p.	Nazwa	Współrzędne równikowe centrum obłoku		Rozmiar [deg ²]	Gęstość
		$\alpha_{2000.0}$ [°]	$\delta_{2000.0}$ [°]		
1	H 1.4-21.6	290.4	−36.9	0.389	C
2	H 294.2-19.0	146.5	−78.6	0.340	C
3	H 297.2-15.6C	166.7	−77.3	1.250	B
4	H 303.0-16.6C	193.2	−79.5	0.611	B
5	H 313.1-28.7	295.0	−80.9	0.750	B
6	H 314.0-22.3C	259.7	−78.9	1.344	B
7	H 316.5+21.2	209.4	−39.9	0.367	A
8	H 336.1+19.6C	230.9	−33.3	4.583	B
9	H 338.0-26.9	290.7	−58.8	0.694	C
10	H 338.8+16.5C	235.6	−34.1	6.889	B
11	H 359.8-17.9C	285.6	−37.1	0.856	A
12	L 62	252.5	−18.1	1.740	1
13	L 234	252.2	−11.1	1.410	3
14	L 317	255.2	−8.1	1.600	4
15	L 1241	327.5	76.7	1.380	1
16	L 1311	171.2	84.7	1.660	1
17	L 1321	159.2	84.2	1.760	1
18	L 1452	52.0	30.7	1.660	3
19	L 1501	63.8	25.1	1.200	2
20	L 1536	68.2	23.1	1.500	4
21	L 1648	88.1	−9.2	1.850	2
22	L 1712	249.5	−24.4	1.560	5

4. Analiza emisji podczerwonej

Oryginalne zbiory binarne z danymi DIRBE sprowadzono do wygodnej, w dalszej obróbce, postaci używając programów komputerowych napisanych przez jednego z autorów pracy (BW). W rezultacie otrzymano dla każdego zakresu zbior (ASCII) zawierający współrzędne i natężenia dla wszystkich 393 216 pikseli (0.°32×0.°32). Dla każdego badanego obiektu stworzone zostały następnie małe pliki, które zawierały dane tylko dla badanych obszarów. Dla każdego obszaru stworzono plik zawierający współrzędne pikseli oraz odpowiadające im natężenia emisji, we wszystkich długofalowych pasmach fotome-

trycznych DIRBE (12, 25, 60, 100, 140 i 240 μm). Do każdego takiego pliku stworzono też plik pomocniczy, który zamiast natężeń emisji zawierał błędy pomiarów natężeń.

Za pomocą programu SURFER dokonano graficznej prezentacji obszaru zawierającego badany obiekt dla wszystkich długofalowych pasm fotometrycznych. Dane liczbowe zostały przedstawione w postaci dwuwymiarowych map na siatce współrzędnych niebieskich, na których zaznaczono położenia pikseli. Przy każdym oznaczniku położenia piksela umieszczono zapis wartości odpowiadającego mu natężenia emisji w ustalonym paśmie. W sumie dla 22 badanych obłoków sporządzono $22 \times 6(\text{pasm}) \times 2(\text{mapa natężeń i mapa błędów}) = 264$ map. Typowa mapa natężeń emisji została przedstawiona na rysunku 1.



Rys. 1. Mapa natężenia emisji w paśmie 100 μm dla obłoku H 336.1+19.6C. Duży okrąg naśladuje położenie i rozmiar obłoku, a mniejszy pokazuje rozmiar wiązki. Cztery najmniejsze okręgi wskazują, które piksele zostały uznane jako reprezentatywne dla obliczania poziomu tła. Wartości natężenia odpowiadające położeniom pikseli są podane w MJy/sr (1MJy = 1mega jansky = $10^{-20} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$)

W oparciu o takie mapy zlokalizowano położenia źródeł i podejmowano decyzję o tym, które piksele należy uznać za reprezentatywne jeśli chodzi o emisję obiektu, a które jeżeli chodzi o emisję tła.

Dla obiektów o rozmiarach kątowych mniejszych lub porównywalnych z rozmiarem wiązki do obliczenia jasności wybierano ten piksel, który znajdował się najbliżej katalogowego centrum obiektu i najbardziej „czuł” jego emisję. Wokół

tego piksela zakreślano okrąg o promieniu wiązki DIRBE, a wokół centrum obiektu rysowano okrąg o promieniu nawiązującym do jego rozmiarów katowych. Na podstawie położenia tych dwóch okręgów określono jakość dopasowania, czyli parametr określający w jakim stopniu obszar badanego obiektu znajdował się w polu widzenia detektora. Wartość parametru równa 1 oznacza, że wiązka DIRBE w całości mieści się w obszarze obiektu albo obiekt całkowicie leży w obrębie wiązki. Wartość mniejsza od 1 (np. 0.75) oznacza, że tylko część (75%) obiektu została objęta wiązką detektora.

W przypadku obiektów większych od rozmiaru wiązki, jak na rys. 1, do obliczenia natężenia emisji obiektu brano wartość uśrednioną po wszystkich pikselach znajdujących się wewnątrz odpowiadającego mu konturu.

W celu ustalenia natężenia emisji tła wybierano cztery piksele w bliskim sąsiedztwie obiektu, po czym uśredniano wartości odpowiadających im natężeń. Dla wszystkich analizowanych przypadków położenie pikseli reprezentatywnych, jeżeli chodzi o emisję tła, ustalono na mapie wykonanej dla zakresu $100\mu\text{m}$ (w tym zakresie obiekty najwyraźniej manifestowały swoją obecność). W przypadku pozostałych zakresów dla ustalenia poziomu emisji tła brano wartości natężeń dla tych samych punktów mapy co w przypadku pasma $100\mu\text{m}$.

Błędy pomiaru natężenia emisji obiektu jak i tła ustalono w oparciu o mapy błędów, sporządzane w ten sam sposób co mapy emisji, tyle że piksele opisano wartościami błędów.

Wyniki pomiarów obejmuje tabela 2. Wartości natężeń i błędy ich pomiaru są podane w MJy/sr, a rozmiary katowe obiektów w 10^{-4} sr. Jasności podczerwone obiektów S liczone ze wzorów:

$$S = I \times \Omega_w \times 1/D, \quad \text{dla obiektów mniejszych od rozmiaru wiązki i}$$

$$S = I \times \Omega_{\text{ob}}, \quad \text{dla dużych obiektów.}$$

W powyższych wzorach: S oznacza jasność obiektu wyrażoną w janskich (Jy), I wyraża różnicę pomiędzy natężeniem mierzonym dla obiektu i dla tła, D oznacza jakość dopasowania, a Ω_w i Ω_{ob} oznaczają kąty bryłowe wiązki i obiektu. W ostatnich kolumnach tabeli zamieszczono wartości temperatury barwnej (patrz np. Wszolek, 2002) obłoków, liczonej dla par pasm: 60–100 i 100–140 μm .

5. Widma emisji podczerwonej obiektów

W oparciu o wyniki pomiarów zawarte w tabeli 2 (kolumna 5) sporządzono dla każdego obłoku wykres przedstawiający zależność natężenia emisji od pasma w jakim tę emisję mierzono. Wykresy takie nazywamy widmami emisji obiektów. Dla ułatwienia porównań widm różnych obłoków, wartości natężeń emisji zostały znormalizowane tak, że dla każdego obłoku podzielono wartości zmierzonych natężeń (kolumna 4 tabeli 2) w poszczególnych pasmach przez

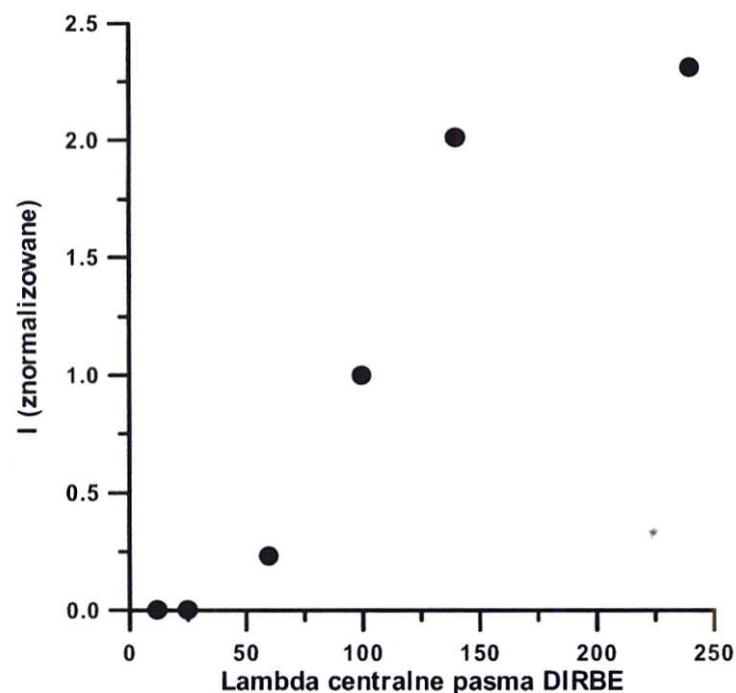
natężenie emisji tego obłoku w paśmie 100 μm . Na rysunku 2 przedstawiono dla przykładu znormalizowane widmo emisji dla obłoku L62. Widma obłoków wykazują w miarę zgodny przebieg. Dla pasm 12, 25 i 60 μm obserwuje się prawie zerową emisję, po czym w paśmie 100 μm następuje widoczny jej wzrost. Dla 140 μm poziom emisji około 2-krotnie przewyższa poziom dla 100 μm , a dla 240 μm emisja utrzymuje się na podobnym poziomie co dla 140 μm .

Tabela 2. Wyniki pomiarów. Nazwy obiektów podano zgodnie z tabelą 1. Dla ustalonego obiektu wyniki uszeregowano w pionie według narastającej długości fali pasma fotometrycznego (12, 25, 60, 100, 140 i na końcu 240 μm). W kolumnach podano kolejno: nazwę obiektu, całkowite (bez odejmowania tła) natężenie emisji, natężenie emisji tła, natężenie emisji obiektu ($I = I_{\text{całk.}} - I_{\text{tła}}$), natężenie znormalizowane do poziomu w paśmie 100 μm , błąd pomiaru natężenia, kąt bryłowy obiektu, wartość parametru dopasowania, strumień emisji obiektu oraz temperatury barwne liczone dla par pasm 60–100 i 100–140. W tych przypadkach gdy za I wypadało wpisać liczbę ujemną, wpisano 0. Widniejące w tabeli braki danych odzwierciedlają fakt, że w niektórych zakresach nie było w oryginalnych danych DIRBE informacji o wartości emisji dla interesującego nas piksela

Obiekt	$I_{\text{całk.}}$ [MJy/sr]	$I_{\text{tła}}$ [MJy/sr]	I [MJy/sr]	I_{norm}	Błąd σ [MJy/sr]	Ω_{ob} [10 ⁻⁴ sr]	D	S [Jy]	$T_{60/100}$ [K]	$T_{100/140}$ [K]
H 1.4-21.6	25.41	25.30	0.11	0.04	0.5	1.1846	0.75	22	23	13
	48.60	48.13	0.47	0.16	0.7			94		
	17.48	16.86	0.62	0.21	0.13			123		
	17.50	14.49	3.01	1	0.1			599		
	31.65	19.50	12.15	4.04	2.4			2418		
	27.90	18.50	9.4	3.12	1.4			1871		
H 294.2-19.0	12.19	12.1	0.09	0.04	0.06	1.0366	0.59	23	–	16
	21.20	21.1	0.1	0.05	0.09			25		
	–	–	–	–	–			–		
	12.19	10.1	2.09	1	0.04			529		
	22.68	17.61	5.07	2.43	1.40			1283		
H 297.2-15.6C	12.8	12.47	0.33	0.03	0.07	3.8077	1	126	25	13
	22.6	21.63	0.97	0.09	0.1			369		
	11.0	7.73	3.27	0.29	0.03			1245		
	22.7	11.57	11.13	1	0.01			4238		
	70.1	22.17	47.93	4.31	1.40			18250		
	85.4	25.07	60.33	5.42	0.80			22972		
H 303.0-16.6C	13.7	13.04	0.66	0.11	0.07	1.8616	1	123	19	15
	22.7	22.56	0.14	0.02	0.09			26		
	8.37	7.89	0.48	0.08	0.03			89		
	17.05	10.96	6.09	1	0.05			1134		
	41.38	22.75	18.63	3.06	1.20			3468		
	49.75	18.8	30.95	5.08	0.70			5762		
H 313.1-28.7	13.08	13.01	0.07	0.02	0.06	2.2846	0.9	12	–	15
	23.10	22.97	0.13	0.03	0.06			22		
	–	–	–	–	–			–		
	15.89	11.56	4.33	1	0.04			718		
	35.48	23.64	11.84	2.73	1.30			1964		
H 314.0-22.3C	12.09	12.87	0	0	0.07	4.0954	0.85	–	20	16
	23.00	22.93	0.07	0.02	0.08			12		
	8.08	7.79	0.29	0.1	0.02			51		
	11.7	8.73	2.97	1	0.04			522		
	22.3	15.51	6.79	2.29	1.30			1192		
	16.4	10.17	6.23	2.10	0.08			1094		

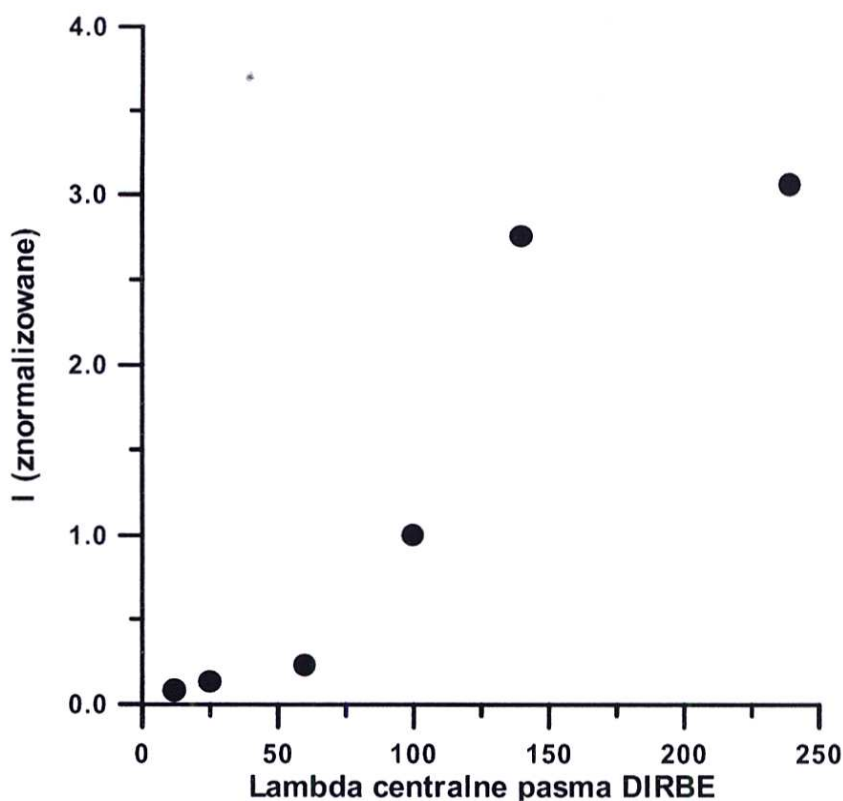
Obiekt	$I_{\text{calc.}}$ [MJy/sr]	I_{fit} [MJy/sr]	I [MJy/sr]	I_{norm}	Błąd σ [MJy/sr]	Ω_{ob} [10 ⁻⁴ sr]	D	S [Jy]	$T_{60/100}$ [K]	$T_{100/140}$ [K]
H 316.5+21.2	20.78	20.62	0.16	0.03	0.30	1.1169	0.9	27	25	20
	37.80	37.27	0.53	0.09	0.40			88		
	13.77	12.20	1.57	0.26	0.10			260		
	15.89	9.86	6.03	1	0.07			1000		
	20.43	11.66	8.77	1.45	1.70			1454		
	–	–	–	–	–			–		
H 336.1+19.6C	28.29	28.67	0	0	0.53	13.962	1	–	22	17
	52.60	51.80	0.8	0.09	0.77			1117		
	20.31	18.73	1.58	0.17	0.20			2206		
	27.43	18.31	9.12	1	0.11			12733		
	46.03	28.1	17.93	1.97	2.00			25033		
	34.08	19.5	14.58	1.59	1.00			20356		
H 338.0-26.9	16.49	16.30	0.19	0.09	0.15	2.1154	0.9	32	22	19
	30.20	29.6	0.6	0.30	0.17			100		
	9.72	9.36	0.36	0.18	0.04			60		
	9.43	7.41	2.02	1	0.04			335		
	11.60	8.14	3.46	1.71	1.80			574		
	10.47	5.73	4.74	2.35	1.00			786		
H 338.8+16.5C	26.75	28.67	0	0	0.48	20.985	1	–	21	15
	48.80	53.77	0	0	0.68			–		
	21.12	19.02	2.1	0.12	0.18			4407		
	31.46	14.54	16.92	1	0.11			35506		
	62.23	16.96	45.27	2.68	1.90			94998		
	51.31	12.04	39.27	2.32	1.20			82407		
H 359.8-17.9C	27.88	26.32	1.56	0.04	0.50	2.6062	1	407	27	17
	53.80	48.9	4.9	0.14	0.69			1277		
	31.08	17.68	13.4	0.37	0.34			3492		
	49.25	13.12	36.13	1	0.77			9416		
	93.07	15.46	77.61	2.15	2.60			20226		
	87.60	15.69	71.91	1.99	1.60			18741		
L 62	32.92	32.88	0.04	0	0.82	5.3003	1	21	24	17
	63.00	63.63	0	0	1.32			–		
	25.17	23.36	1.81	0.23	0.37			959		
	31.44	23.55	7.89	1	0.17			4182		
	58.15	42.32	15.83	2.01	2.40			8390		
	48.30	30.09	18.21	2.31	1.20			9652		
L 234	30.54	29.56	0.98	0.09	0.75	4.2951	0.85	172	26	16
	57.90	56.07	1.83	0.17	1.15			321		
	25.57	22.17	3.4	0.31	0.32			597		
	38.74	27.66	11.08	1	0.16			1946		
	76.23	49.36	26.87	2.43	2.40			4718		
	57.93	39.81	18.12	1.64	1.50			3182		
L 317	28.48	27.53	0.95	0.16	0.65	4.8739	0.95	149	24	15
	53.30	52.00	1.3	0.21	0.97			204		
	20.02	18.55	1.47	0.24	0.23			231		
	26.48	20.36	6.12	1	0.16			962		
	54.60	35.18	19.42	3.17	2.30			3051		
	45.55	30.05	15.5	2.53	1.30			2435		
L 1241	13.45	13.42	0.03	0.01	0.05	4.2037	0.95	5	17	13
	22.90	22.93	0	0	0.09			–		
	7.87	7.71	0.16	0.04	0.03			25		
	15.41	11.23	4.18	1	0.04			657		
	43.57	24.52	19.05	4.56	1.50			2993		
	45.05	21.96	23.09	5.72	0.80			3628		
L 1311	13.80	13.63	0.17	0.04	0.03	5.0567	0.9	28	22	17
	23.50	23.30	0.2	0.04	0.05			33		
	7.60	6.85	0.75	0.16	0.02			124		
	11.05	6.33	4.72	1	0.04			783		
	20.65	11.32	9.33	1.98	1.30			1547		
	20.98	8.38	12.6	2.67	0.70			2090		
L 1321	13.82	13.72	0.1	0.04	0.03	5.3613	1	54	21	14
	23.60	23.53	0.07	0.03	0.05			38		

Obiekt	$I_{\text{calc.}}$ [MJy/sr]	I_{tta} [MJy/sr]	I [MJy/sr]	I_{norm}	Błąd σ [MJy/sr]	Ω_{ob} [10 ⁻⁴ sr]	D	S [Jy]	$T_{60/100}$ [K]	$T_{100/140}$ [K]
	6.96 6.60 13.39 8.21	6.56 3.82 3.91 2.51	0.4 2.78 9.48 5.7	0.14 1 3.41 2.05	0.02 0.02 1.20 0.70			214 1490 5082 3056		
L 1452	32.93 60.50 25.36 32.30 60.40 64.27	33.17 61.1 21.79 24.02 42.17 45.39	0 0 3.57 8.28 18.23 18.88	0 0 0.43 1 2.20 2.28	0.65 0.94 0.35 0.64 2.20 1.60	5.0567	1	– – 1805 4187 9218 9547	28	17
L 1501	41.15 76.50 26.62 20.07 33.40 32.78	40.08 74.57 25.39 16.52 21.98 21.23	1.07 1.93 1.23 3.55 11.42 11.55	0.30 0.54 0.35 1 3.22 3.25	0.93 1.49 0.44 0.17 2.10 1.30	3.6554	0.9	177 320 204 589 1894 1916	27	14
L 1536	42.43 79.70 29.13 26.09 48.33 55.18	41.12 77.77 27.78 23.5 40.47 36.53	1.31 1.93 1.35 2.59 7.86 18.65	0.50 0.75 0.52 1 3.03 7.20	1.06 1.67 0.51 0.21 2.20 1.20	4.5693	1	599 882 617 1183 3591 8522	30	15
L 1648	20.17 34.90 13.75 25.20 59.57 54.70	19.89 34.33 12.32 15.64 29.00 25.72	0.28 0.57 1.43 9.56 30.57 28.98	0.03 0.06 0.15 1 3.20 3.03	0.29 0.38 0.10 0.11 2.20 1.30	5.6354	1	158 321 806 5387 17227 16331	22	14
L 1712	38.32 72.50 39.92 79.14 172.35 133.74	35.40 68.30 29.45 40.88 74.64 53.19	2.92 4.2 10.47 38.26 97.71 80.55	0.08 0.11 0.27 1 2.55 2.11	0.84 1.34 0.38 0.36 2.60 1.30	4.7520	1	1388 1996 4975 18181 46432 38278	25	16
L 1752	37.35 71.40 32.52 – 105.37 –	34.78 67.7 28.02 – 64.69 –	2.57 3.7 4.5 – 40.68 –		0.89 1.70 0.49 – 2.40 –	.4222	1	1394 2006 2440 – 22057 –	–	–



Rys. 2. Widmo emisji znormalizowanej dla obłoku L62

Wygenerowano również znormalizowane widmo uśrednione po wszystkich 22 obłokach, a jego przebieg przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Uśrednione po wszystkich 22 obłokach znormalizowane widmo emisji

Śledząc wartości pomiarów zawarte w tabeli 2 można łatwo zauważyć, że dla pasm krótkofalowych 12 i 25 μm wartości natężeń (kolumna 4) dla większości obłoków nie różnią się zbytnio od wartości błędów ich pomiaru (kolumna 6). Zróżnicowanie widm w ich krótkofalowej części (gdzie zresztą sama emisja jest na bardzo niskim poziomie) należy uważać jako нефизyczne. W pasmach długofalowych (140 i 240 μm), dla których mierzone wartości emisji ciemnych obłoków są duże, rzecz przedstawia się lepiej. Drobne, нефизyczne, zróżnicowanie widm może tu wystąpić w związku ze stosunkowo dużymi błędami pomiaru natężeń w tych zakresach, co jest jedną ze słabych stron projektu DIRBE. W zakresie 100 μm fotometria DIRBE jest bardzo dokładna i dlatego normalizacji dokonano w odniesieniu do tego pasma.

6. Temperatury obłoków

Znajomość poziomu emisji obłoków w różnych zakresach widma umożliwia obliczenie temperatury barwnej tych obłoków przy założeniu, że promieniują one jak ciała doskonale czarne. W przedostatniej i ostatniej kolumnie tabeli 2 podano temperatury obliczone odpowiednio w oparciu o pary pasm 60–100 μm i 100–140 μm . Ponadto, zważając na przebieg uśrednionego widma obłoków (rys. 3), które pokazuje, że maksimum emisji wypada blisko 240 μm , policzono temperaturę z prawa Wiena. Wynosi ona ok. 12 K.

7. Dyskusja i wnioski

Dla 22 wybranych ciemnych obłoków międzygwiazdowych dokonano pomiaru natężenia emisji (jasności powierzchniowej) w sześciu długofalowych pasmach fotometrycznych DIRBE. Nadto w oparciu o znajomość przybliżonych rozmiarów kątowych obłoków policzono dla wszystkich obiektów (i we wszystkich zakresach) jasności obiektów, rozumiane jako natężenia oświetlenia promieniowaniem źródeł.

Przeprowadzona analiza pokazuje, że ciemne obłoki międzygwiazdowe są silnymi źródłami emisji w pasmach 100, 140 i 240 μm , podczas gdy ich emisja w pasmach bardziej krótkofalowych jest niezauważalna lub bardzo słaba.

Widma emisji ciemnych obłoków zdają się być bardzo podobne do siebie. Drobne odstępstwa widm poszczególnych obłoków od widma uśrednionego należy tłumaczyć raczej niedoskonałością danych pomiarowych niż fizycznym zróżnicowaniem samych obłoków.

Próba uchwycenia różnic temperaturowych między obłokami najcieńszymi i najgrubszymi optycznie w obrębie badanej próbki wykazała, że średnio biorąc gęste obłoki mają temperatury barwne wyższe o 3–4 K. Wprawdzie wyniku tego nie można traktować jako wiążącego w sensie statystycznym, ale może on sugerować, że w najgęstszych obłokach procesy gwiazdotwórcze zachodzą najwydajniej i że energia produkowana przez młode gwiazdy podgrzewa pył do wyższych temperatur niż to ma miejsce w przypadku cienkich optycznie obłoków. Temperatury barwne policzone dla obłoków przyjmują sensowne, niskie wartości, a ich rozrzut wokół wartości średnich jest mały.

Literatura

- Boggess N.W., Mather J.C., Weiss R., Bennett C.L., Cheng E.S., Dwek E., Gulkis S., Hauser M.G., Janssen M.A., Kelsall T., Meyer S.S., Moseley S.H., Murdock T.L., Shafer R.A., Silverberg R.F., Smoot G.F., Wilkinson D.T., Wright E.L., 1992, *ApJ* **397**, 420.
- Boulanger F., Baud B., van Albada G.D., 1985, *A&A* **144**, L9.
- Eddington A.S., 1926, *The internal constitution of the stars*, Cambridge Univ. Press, 371.
- 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).
- Hartley M., Manchester R.N., Smith R.M., Tritton S.B., Goss W.M., 1986, *Astron.Astrophys. Suppl. Ser.* **63**, 27.
- Heiles C., Reach W.T., Koo B.-C., 1988, *ApJ* **332**, 313.
- Low F.J., Beintema D.A., Gautier T.N., Gillett F.C., Beichman G.A., Neugebauer G., Young E., Aumann H.H., Boggess N., Emerson J.P., Habing H.J., Hauser M.G.,

- Houck J.R., Rowan-Robinson M., Soifer B.T., Walker R.G., Wesswilius P.R., 1984, *ApJ*. **278**, L19.
- Lynds B.T., 1962, *APJ.SS.* **64**,1.
- Witt A.N., Boroson T.A., 1990, *ApJ*. **355**,182.
- Wszolek B., 2002, *Wprowadzenie do astronomii*, Wydawnictwo WSP w Częstochowie, 119.
- Wszolek B., Czajka M., 2002, *Prace Naukowe WSP w Częstochowie, Seria: Fizyka*, No. V, 79.

Bogdan WSZOLEK i Aneta PILAT

Spectrophotometrical Investigations of Chosen Dark Interstellar Clouds in Infrared

Summary

Using COBE/DIRBE (Cosmic Background Explorer/Diffuse Infrared Background Experiment) observational data concerning infrared emission of the sky, we have investigated spectral distributions of the emission for 22 dark interstellar clouds. We showed that dark clouds have stable spectral character, with maximum between 140 and 240 μ m. We have found that DIRBE data, with their low resolution, are good enough to investigate physical conditions within close dark interstellar clouds in our galaxy.