

BOGDAN WSZOŁEK^{1,2}, MAGDALENA CZAJKA²

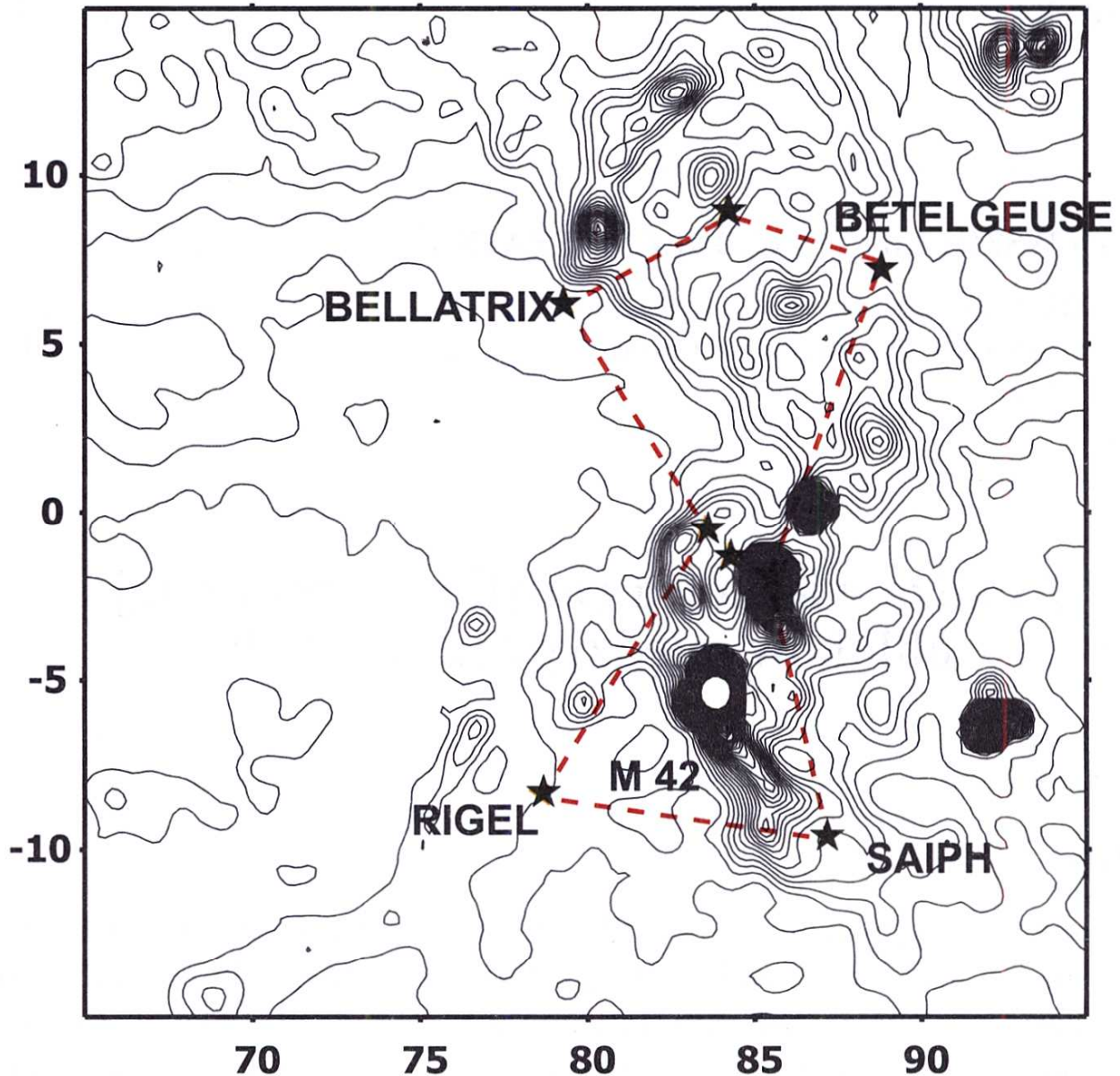
¹ Wyższa Szkoła Pedagogiczna, ul. Armii Krajowej 13/15, 42–200 Częstochowa, Polska.

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

Analiza widmowa emisji podczerwonej obłoków międzygwiazdowych

1. Wstęp

Materia międzygwiazdowa od kilkudziesięciu lat jest przedmiotem intensywnych badań astrofizycznych, gdyż jej bliższe rozpoznanie pozwala zrozumieć procesy prowadzące do powstawania z niej gwiazd i planet. Obok obserwacji optycznych ogromną rolę odegrały obserwacje tej materii we wszystkich pozostałych zakresach widma, a szczególnie w dziedzinie radiowej i podczerwonej. Tam gdzie obserwacje optyczne pozwalają zarejestrować jasny obłok materii międzygwiazdowej (świecący kosztem energii oświetlających go pobliskich gwiazd), tam obserwacje radiowe wykażą m.in. obecność dużej ilości wodoru neutralnego, a obserwacje w podczerwieni wyjawiają istnienie sporych ilości zimnego pyłu międzygwiazdowego. Dla uzyskania pełniejszych informacji o stanie materii międzygwiazdowej należy poddać ją zatem obserwacjom fotometrycznym i spektroskopowym w różnych zakresach widma elektromagnetycznego. Jak mocno różni się wygląd nieba w zakresie optycznym od wyglądu w zakresie podczerwonym niech zobrazuje rys. 1. Przedstawia on powierzchniowy rozkład jasności w paśmie 100 μm dla dużego obszaru nieba obejmującego gwiazdozbiór Oriona. Na mapie uwidaczniają się słabiej i mocniej świecące obłoki międzygwiazdowe (zimny pył w tych obłokach), podczas gdy gwiazdy nie wykazują żadnej zauważalnej emisji.



Rys. 1. Mapa jasności powierzchniowej Oriona wykonana w oparciu o obserwacje COBE w paśmie $100\ \mu\text{m}$. Rektascensja (oś pozioma) podana jest w stopniach i rośnie w kierunku przeciwnym niż na niebie. Na osi pionowej odłożono deklinację w stopniach. Współrzędne odnoszą się do epoki 2000.0. Zarys gwiazdozbioru Oriona został naniesiony na mapę dla ułatwienia lokalizacji maksimów emisji. Rzuci się w oczy całkiem odmienny od optycznego wygląd gwiazdozbioru Oriona, oglądanego w dalekiej podczerwieni. Jedna z gwiazd „pasa Oriona” wypada akurat w jednym z silnych źródeł emisji w paśmie $100\ \mu\text{m}$. Nie należy jednak przypisywać tej emisji gwiazdzie, ale obłokowi materii międzygwiazdowej, o którym wiadomo (z obserwacji optycznych), że tam właśnie się znajduje (tzw. „Koński Łeb”)

Obserwacje nieba w podczerwieni dokonane w przeciągu ostatnich dwudziestu lat zrewolucjonizowały wyobrażenia o materii międzygwiazdowej, i to zarówno co do jej ilości, jak i stanu fizycznego. Pozwoliły też właściwie zorientować dalsze badania tej materii. Jeśli jeszcze przed kilkudziesięciu laty

badano materię międzygwiazdową tylko w związku z wywoływaną przez nią ekstynkcją światła gwiazd i galaktyk, to obecnie traktuje się ją jako główną składową Galaktyki, wysuwającą się na czoło nawet w stosunku do gwiazd, które można traktować jako nieuchronny i przejściowy etap ewolucji materii międzygwiazdowej.

Obłoki materii międzygwiazdowej, na podobieństwo chmur w ziemskiej atmosferze, mogą przyjmować różne kształty, mogą mieć zróżnicowany skład i gęstość. Mogą jawić się jako rzadkie i przezroczyste „cirrusy”, jako średnio gęste i bardziej zwarte obłoki albo też jako bardzo gęste (wg standardów ośrodka międzygwiazdowego, czyli gęstością zbliżone do dobrych próżni laboratoryjnych) i chłodne (~ 10 K) obłoki molekularne. Ze zróżnicowaniem gęstości obłoków międzygwiazdowych wiąże się ściśle zróżnicowanie temperaturowe. Podstawowym mechanizmem grzania materii w obłokach jest absorpcja 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 podczerwieni i w zakresie mikrofal. Obłoki stosunkowo rzadkie w całej swej objętości są grzane przez fotony międzygwiazdowego pola promieniowania i straty energii w emisji termicznej są rekompensowane efektywniej niż w obłokach molekularnych.

Ze względu na oczekiwane (i potwierdzone wieloma obserwacjami) zróżnicowanie warunków fizycznych w ośrodku międzygwiazdowym należy się spodziewać odmiennych charakterystyk emisji podczerwonej dla różnych grup obłoków. Fotony podczerwone w obłokach międzygwiazdowych mogą powstawać na wiele sposobów. Ważniejsze z nich to: emisja termiczna pyłu, przejścia oscylacyjne cząsteczek, przejścia rekombinacyjne atomów, mechanizm synchrotronowy, oddziaływania swobodno-swobodne między cząstkami naładowanymi (promieniowania hamowania), odwrotny efekt Comptona — polegający na tym, że niskoenergetyczny foton (głównie foton mikrofalowego promieniowania tła), oddziałując z energetyczną cząstką, zyskuje energię (wpada w zakres podczerwieni). Jak uczy doświadczenie, emisja termiczna pyłu zawartego w obłokach okazuje się być mechanizmem dominującym. Dlatego obserwacje w podczerwieni pozwalają badać głównie pyłową składową materii międzygwiazdowej, która to składowa często wymyka się obserwacjom w innych zakresach widma.

Pył kosmiczny sam w sobie stał się niedawno przedmiotem wielkiego zainteresowania, jako że odgrywa istotną rolę tak w makroskopowej (powstawanie gwiazd i planet), jak i mikroskopowej (powstawanie molekuł) ewolucji materii we wszechświecie. Nie zmienia to jednak faktu, że obecne oceny składu, struktury oraz rozmiarów ziaren pyłu międzygwiazdowego są bardzo pro-

wizoryczne i prawie wcale nie uwzględniają zróżnicowania środowisk, w których pył występuje.

Przeprowadzone w ostatnich latach satelitarne przeglądy całego nieba w podczerwieni [IRAS (ang. Infrared Astronomical Sattelite), COBE] teoretycznie umożliwiają przeprowadzanie globalnej analizy emisji różnego rodzaju obłoków międzygwiazdowych. Takie dane przeglądowe, mimo swoich niepodważalnych zalet (całe niebo obserwowane jednolitą aparaturą, wszystkie dane zredukowane w ten sam sposób), mają też ujemne strony, a wśród nich na czoło wysuwa się stosunkowo duża wiązka detektorów promieniowania. Obłoki o małych rozmiarach kątowych, a takich jest na niebie większość, obserwowane z dużą wiązką ulegają „rozmyciu” i często giną w tle emisji dawanej przez źródła leżące tak przed, jak i za nimi.

Analiza danych w podczerwieni napotyka zawsze na poważne trudności związane z tym, że mierzony strumień promieniowania pochodzi od przyczynków dawanych przez liczne źródła znajdujące się w różnych odległościach, a mieszczące się w polu widzenia detektora. Przyczynek od pyłu międzyplanetarnego (stosunkowo ciepłego) doda się do przyczynku od rozmaitych (chłodniejszych, cieplejszych, gęstszych, rzadszych) obłoków międzygwiazdowych i do emisji źródeł pozagalaktycznych.

Świadomi ograniczonych możliwości analizy, w pracy niniejszej podjęliśmy próbę uchwycenia różnic w charakterystykach widmowych kilku typów rozciągniętych źródeł promieniowania podczerwonego. Choć różnice takie teoretycznie istnieć powinny ze względu na zróżnicowanie warunków fizycznych, w których powstają termiczne fotony podczerwone, to mogłyby one być skutecznie maskowane już przez sam efekt sumowania się przyczynków dawanych przez rozliczne źródła wpadające w pole widzenia detektora. Gdyby udało się stwierdzić różnice w rozkładach widmowych obłoków różnego typu, to można by podjąć próbę wypracowania metody automatycznego wyszukiwania na niebie obłoków o zadanych z góry charakterystykach widmowych. Dane uzyskane przez COBE najbardziej nadają się do przeprowadzenia tego typu przedsięwzięć, toteż one zostały użyte do naszych analiz.

W kolejnych rozdziałach pracy podamy kolejno: szczegółowy opis wykorzystywanych danych o emisji podczerwonej, wykaz próbek obiektów poddanych analizie oraz kryteria ich wyboru, opis użytej metody analizy danych, prezentację i dyskusję uzyskanych wyników oraz wnioski.

2. Dane obserwacyjne

W pracy posłużono się danymi o emisji podczerwonej nieba uzyskanymi w ramach misji COBE przeprowadzonej przez NASA (Boggess i in., 1992). Satelita COBE został umieszczony na orbicie w 1989 roku (na wysokości 900 km

nad powierzchnią Ziemi) i dokonywał jednego pełnego obiegu Ziemi w czasie 103 minut, czyli w tempie ok. 14 obiegów na dobę.

Jednym z trzech zasadniczych modułów pomiarowych COBE był DIRBE (ang. Diffuse Infrared Background Experiment) (Hauser i in., 1995). DIRBE składał się z teleskopu o średnicy obiektywu 19 cm, zbudowanego w systemie Gregory'ego, oraz z zespołu bolometrów, schłodzonych do temperatury 1.55K za pomocą 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 wynosiło $0.^\circ7 \times 0.^\circ7$. Absolutnej kalibracji natężeń promieniowania dokonano w oparciu o system sztucznych, pokładowych, źródeł emisji podczerwonej.

Dla ułatwienia analizy danych DIRBE zespół naukowy NASA zajmujący się programem COBE przygotował odpowiednio zredukowane zestawy wyników obserwacji i udostępnił je szerokiej społeczności badaczy na całym świecie. 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 393216 ponumerowanych pikseli o rozmiarach ok. $0.^\circ32 \times 0.^\circ32$. 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 powszechnie dostępne (np. poprzez INTERNET, [http://www.gsfc.nasa.gov/astro/cobe home.html](http://www.gsfc.nasa.gov/astro/cobe%20home.html)).

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

3. Próbki obiektów

Do analizy emisji podczerwonej wybrano pięć grup obiektów: mgławice emisyjne, mgławice refleksyjne, obłoki molekularne, obłoki typu „cirrus” oraz galaktyki spiralne. Dla otrzymania wiarygodnych charakterystyk widmowych, w obrębie każdej grupy należało zbadać co najmniej po kilka obiektów, by móc określić średni kształt widma odpowiadającego danej grupie obiektów. Dla zminimalizowania niekorzystnych efektów związanych z dużym kątem widzenia detektorów DIRBE starano się wybrać obiekty możliwie duże kąto-

wo. 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. W tabeli 1 podano wykaz użytych do analizy obiektów.

Tabela 1. Wykaz badanych obiektów. Nazwy katalogowe obiektów zaczerpnięto z kilku źródeł. Galaktyki i mgławice z „New General Catalogue” (Dreyer, 1988) oraz z pracy Witt i in. (1990). Dla większości tych obiektów podano również numery z katalogu Messiera (1784). Obloki molekularne pochodzą z katalogu Lynds’a (Lynds, 1962), a „cirrusy” z pracy Heiles i in. (1988). Współrzędne równikowe α i δ (na epokę 2000.0) podano odpowiednio w godzinach i minutach czasowych oraz w stopniach i minutach łuku. Współrzędne galaktyczne l i b podano w stopniach. Orientacyjny rozmiar obiektu podano w minutach łuku

Rodzaj obiektu	Nazwa	Współrzędne równikowe		Współrzędne galaktyczne		Rozmiar [']
		$\alpha_{2000.0}$	$\delta_{2000.0}$	$l_{2000.0}$	$b_{2000.0}$	
Galaktyki	NGC224[M31]	00 42.8	41 16	121.19	-21.58	100
	NGC598[M33]	01 33.9	30 40	133.63	-31.33	50
	NGC4258[M106]	12 18.9	47 19	138.31	68.84	13
	NGC5194[M51]	13 29.9	47 11	104.83	68.57	9
	NGC5236[M83]	13 37.1	-29 52	314.60	31.97	10
Mgławice emisyjne	NGC1976[M42]	05 35.2	-05 23	209.02	-19.35	50
	NGC2024	05 41.7	-01 54	206.53	-16.35	30
	NGC2070	05 38.6	-69 06	279.46	-31.68	20
Mgławice refleksyjne	NGC1333	03 29.0	31 21	158.29	-20.49	9
	NGC1788	05 06.8	-03 23	203.54	-24.75	8
	NGC6726	19 01.7	-36 53	285.43	-36.88	2
	IC2118	05 04.9	-07 16	204.40	-27.89	60
	VdB22	03 46.3	23 56	166.57	-23.75	50
Obloki molekularne	LDN317	17 00.7	-08 04	12.04	20.20	75
	LDN1454	02 56.8	20 12	158.90	-33.77	55
	LDN1472	03 44.1	31 10	160.56	-19.04	120
	LDN1569	04 02.4	01 18	189.11	-36.62	50
	LDN1641	05 34.9	-05 46	209.32	-19.65	140
	LDN1781	16 27.9	-17 07	359.18	21.37	70
Obloki typu „cirrus”	G135.4-68.7	01 09.5	-05 51	135.18	-68.29	72
	G243.2-66.1	02 35.1	-36 47	243.23	-66.09	60
	G235.0+38.7	09 46.1	01 26	234.95	38.73	50
	G139.6+47.6	10 59.2	65 44	139.56	47.60	50
	G137.3+53.9	11 40.8	61 13	137.29	53.89	60
	G99.3+69.0	13 42.1	46 45	99.32	67.99	70
	G86.5+59.6	14 40.6	49 05	86.52	59.61	60

Obszary rozrzedzonej, świecącej materii mgławic emisyjnych skupione są zawsze w bezpośrednim sąsiedztwie młodych i gorących gwiazd (typy widmowe O i B) będących wydajnymi źródłami dość energetycznych fotonów, by zjonizować wodór i inne pierwiastki wchodzące w skład obłoku międzygwiazdowego. Świecenie mgławic emisyjnych jest przede wszystkim wynikiem rekombinacji jonów (głównie wodorowych) i występujących bezpośrednio po nich procesach emisji fotonów przy przejściach atomów z wyższych poziomów energetycznych na niższe. Świecenie obłoku w zakresie optycznym odbywa się więc kosztem procesów przebiegających w fazie gazowej obłoku. Znajdujący się w obłoku emisyjnym pył, ze względu na silne pole promieniowania pobliskich gwiazd, powinien być stosunkowo ciepły, a oczekiwane maksimum jego emisji w podczerwieni powinno być przesunięte w kierunku fal krótszych. Naturalnie, nie wszystek pył znajdujący się w obłoku dającym zjawisko mgławicy emisyjnej musi być jednakowo ciepły, co może dowolnie skomplikować globalne widmo jego emisji. Widmo emisji podczerwonej obłoków emisyjnych może też w istotnej mierze być kształtowane przez inne, niż emisja termiczna pyłu, mechanizmy promieniowania.

Zjawisko mgławicy refleksyjnej występuje w przypadku, gdy obłok międzygwiazdowy (lub jego część) znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie gwiazd nie dość gorących, by wywołać zjawisko mgławicy emisyjnej. Światło gwiazd rozpraszane na ziarnach pyłu wywołuje niebieskawą poświatę-mgławicę. Pył w obłoku refleksyjnym nie tylko rozprasza, ale i absorbuje fotony i ulega tym samym podgrzaniu. Ciekawą rzeczą do sprawdzenia jest to, czy emisja podczerwona będąca następstwem takiego podgrzewania w mgławicach refleksyjnych różni się jakoś od emisji pyłu w mgławicach emisyjnych. Nie można bowiem wykluczyć, że efekty grzania pyłu tak w jednych jak i w drugich mgławicach, choć same w sobie bardzo zróżnicowane energetycznie, występują tylko w znikomej części objętości obłoku i nie mają większego wpływu na widmowe charakterystyki emisji podczerwonej obłoku jako całości.

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 tych obłoków może być w istotny sposób zaburzone obecnością ciepłych składowych pyłu.

Na mapach emisji podczerwonej nieba (IRAS, COBE/DIRBE), oprócz dyskretnych źródeł promieniowania podczerwonego, ukazuje się silna emisja rozciągła pyłu międzyplanetarnego oraz pyłu w dysku galaktycznym. Na emisję zodiakalną i w miarę gładki rozkład promieniowania podczerwonego Galaktyki na większych szerokościach galaktycznych ($|b| > 10^\circ$) nakładają się rozciągle struktury nazwane obłokami typu „cirrus” (Low i in., 1984). Nazwa ta ma wskazywać na zbliżoną budowę morfologiczną tych obłoków międzygwiazdowych do ziemskich cirrusów. Jak zaobserwowali Boulanger, Bond i Albada (1985) obłoki te świecą głównie w dalekiej podczerwieni. Prawdopodobnie emisja pochodzi od dużych ziaren pyłu grzanego przez międzygwiazdowe pole promieniowania Galaktyki. Małe ziarno pochłaniając co pewien czas pojedynczy foton, z dziedziny optycznej lub ultrafioletu, ogrzewa się znacząco (nawet o kilkadziesiąt stopni) ponad typową dla siebie temperaturę i szybko stygnąc emituje fotony z zakresów 12 i $25\mu\text{m}$. Duże ziarno pochłaniając energetyczny foton tylko nieznacznie się podgrzewa i praktycznie cały czas pozostaje w typowych dla siebie, niskich temperaturach. Warto tu zauważyć, że ta „typowa” dla ziaren niska temperatura nie została jeszcze określona i można się spodziewać, że daleko od gwiazd powinna być bliska 3K (zgodnie z obliczeniami Eddingtona z 1926 roku).

Problem istnienia dużych ziaren pyłu, tak w Galaktyce jak i w ogóle we wszechświecie, jest bardzo interesujący sam w sobie. Gruboziarnisty pył, gdyby np. występował obficie w halo Galaktyki (czy też w halo innych niż nasza galaktyk), to powodując tylko nieznaczną (i to szarą, trudniejszą do wykrycia) ekstynkcję światła obiektów pozagalaktycznych, mógłby wносить istotny przyczynek masowy do tzw. ciemnej materii, której istnienia, i to w dużych ilościach, domagają się autorzy wielu współczesnych modeli kosmologicznych. Istnienie masywnej i bardzo zimnej składowej halo Galaktyki nie pozostawałoby też bez związku z interpretacją charakterystyk kosmicznego promieniowania tła.

Obłoki typu „cirrus” obserwowane w przeglądach IRAS i COBE mogą się okazać tylko najbliższymi leżącymi fragmentami materii typowej dla halo. Te, leżące jeszcze stosunkowo blisko fragmenty materii są grzane przez gwiazdy Galaktyki na tyle mocno, że są widoczne w emisji podczerwonej. Wszystka materia pyłowa znajdująca się dalej będzie się skutecznie wymykać obserwacjom w podczerwieni bo maksimum jej emisji termicznej przypadnie na dłuższych falach, typowych dla mikrofalowego promieniowania tła.

W kontekście powyższych rozważań poddaliśmy również analizie kilka bliskich galaktyk spiralnych, co do których możemy przyjąć, że są podobne do naszej. Interesującą rzeczą jest sprawdzenie, jakim rozkładem emisji pod-

czerwonej charakteryzuje się galaktyka jako całość. Choć w przypadku galaktyk mamy do czynienia z dokładnym wymieszaniem się przyczynków pochodzących od najróżniejszych źródeł, to jednak gdyby któreś ze źródeł emisji podczerwonej było wyraźnie dominującym, to właśnie ono decydowałoby o widmowej charakterystyce odległej galaktyki. Szczególnie interesujące wydaje się być porównanie rozkładu emisji galaktyk spiralnych z widmami otrzymanymi dla międzygwiazdowych „cirrusów”. W przypadku stwierdzenia podobieństw w emisjach tych grup obiektów mielibyśmy wyraźne wskazanie na obecność bardzo dużych ilości zimnego pyłu w galaktykach spiralnych.

W świetle powyższych rozważań uznaliśmy również za sensowne przeprowadzenie analizy emisji podczerwonej naszej Galaktyki. W tym celu wyodrębniliśmy 15 obszarów o rozmiarach $10^\circ \times 10^\circ$ rozrzuconych na niebie w sposób opisany tabelą 2.

Tabela 2. Wybór 15 obszarów nieba $10^\circ \times 10^\circ$ dla analizy charakteru emisji podczerwonej Galaktyki. Dla trzech wybranych długości galaktycznych, tj. dla 40, 100 i 210 stopni wybrano po pięć obszarów rozłożonych symetrycznie względnie równika Galaktyki. W kolumnach 2–4 tabeli podano odpowiednio szerokość galaktyczną, rektascensję i deklinację (wszystkie współrzędne w stopniach) środków obszarów na epokę 2000.0

$l = 40^\circ$	b	α	δ
1	30	258,099	18,834
2	15	272,447	12,932
3	0	286,096	6,287
4	-15	299,392	-0,701
5	-30	312,729	-7,652

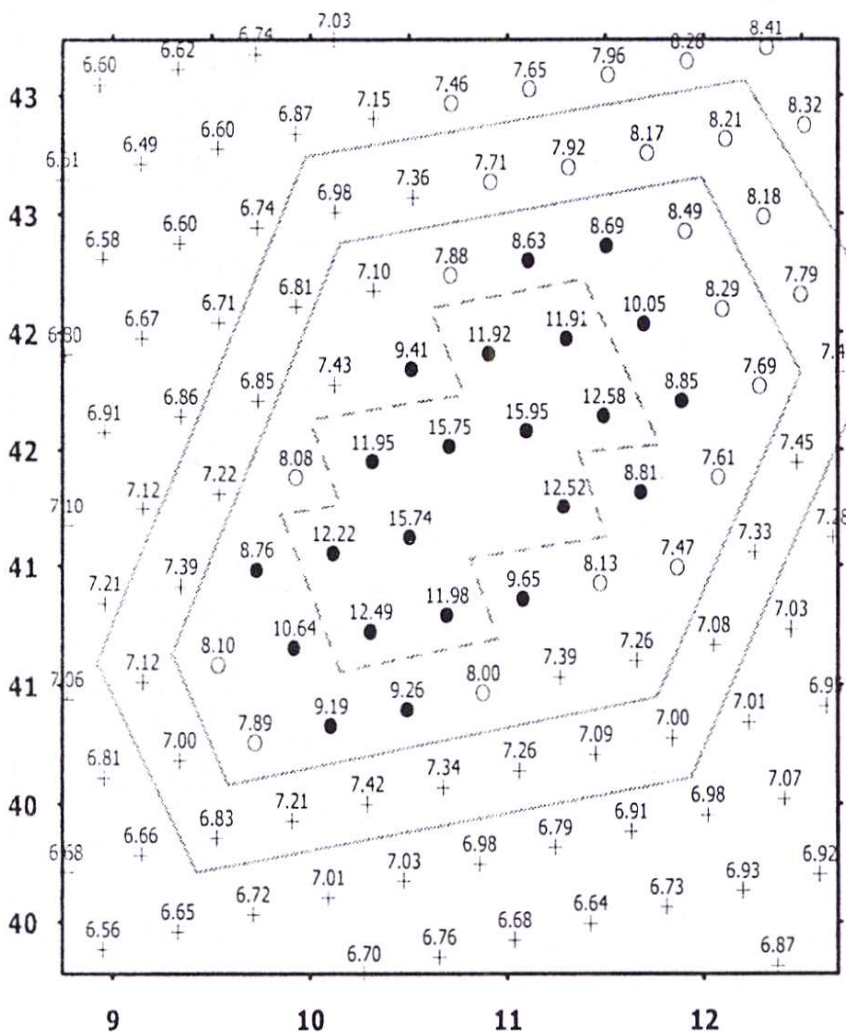
$l = 100^\circ$	b	α	δ
1	30	269,312	69,69
2	15	307,834	65,469
3	0	330,004	55,057
4	-15	342,243	42,353
5	-30	350,210	28,806

$l = 210^\circ$	b	α	δ
1	30	129,017	15,511
2	15	115,017	9,322
3	0	101,522	2,609
4	-15	88,171	-4,246
5	-30	74,585	-10,869

4. Analiza emisji podczerwonej

Oryginalne zbiory binarne z danymi DIRBE sprowadzono do wygodnej, w dalszej obróbce, postaci, używając programów komputerowych własnego autorstwa. W rezultacie otrzymano dla każdego zakresu zbór (ASCII) zawierający współrzędne i natężenia dla wszystkich 393216 pikseli ($0.^\circ32 \times 0.^\circ32$). Dla każdego badanego obiektu stworzone zostały następnie pliki, które zawierały dane dla obszarów $4^\circ \times 4^\circ$ tak dobranych, aby interesujące źródło znajdowało się w centrum obszaru. Jako że dla badanych obiektów spodziewane maksima emisji wypadają w dalekiej podczerwieni, toteż w analizie wykorzystano wszystkie długofalowe pasma fotometryczne DIRBE (60, 100, 140 i $240 \mu\text{m}$) i tylko dwa bardziej krótkofalowe (4.9 i $12 \mu\text{m}$).

Do obliczenia jasności obiektów w pracy posłużono się metodą zwykłego uśredniania wartości natężenia dla pikseli z obszaru należącego do badanego źródła emisji podczerwonej. Za pomocą programu SURFER dokonano graficznej prezentacji każdego badanego obiektu, a w oparciu o nią zdefiniowano obszar samego źródła oraz obszar porównawczy potrzebny dla określenia poziomu tła. Dla rozważanych grup obiektów najbardziej odpowiednim zakresem dla zdefiniowania wspomnianych obszarów jest pasmo $100 \mu\text{m}$. Rysunek 2 przytaczamy tu jako przykład dla zilustrowania procedury. Dla wszystkich analizowanych zakresów promieniowania obszar obiektu i tła przyjęto zgodnie z ustaleniem uzyskanym dla pasma $100 \mu\text{m}$.



Rys. 2. Mapa obszaru zawierającego galaktykę spiralną NGC-224 w paśmie $100 \mu\text{m}$ wraz z zaznaczonymi polami określającymi obiekt (najbardziej wewnętrzny kontur) i obszar porównawczy (pole zawarte między dwoma zewnętrznymi konturami). Na mapie rodzaj symbolu znaczącego pozycję pikseli zmienia się w zależności od wielkości natężenia emisji. Zakres względnie dużych jasności oznaczono kołami. Okręgami i krzyżykami oznaczono piksele o natężeniach pośrednich i najmniejszych. Wartości natężeń podano w MJy/sr

Dla określenia kształtu obszaru emisji (zespołu pikseli branych do uśrednienia) danego źródła wykorzystano, obok map w podczerwieni, informację o rozmiarach kątowych obiektów (tabela 1). Zamieszczone w tabeli rozmiary kątowe obiektów zostały ustalone w oparciu o obserwacje optyczne i nie muszą odpowiadać rozmiarom w podczerwieni (obrazy podczerwone obiektów są mocno rozmyte w związku z dużą wiązką detektora). Niemniej, rozmiary optyczne dają ogólne wyobrażenie o tym, jak rozległe może być badane źródło emisji podczerwonej. Takie ogólne wyobrażenie zupełnie wystarcza na potrzeby analizy widmowego charakteru emisji, kiedy nie tyle jest ważne, by uśrednianie prowadzić po całym obszarze obłoku, ile piksele wzięte do uśredniania z pewnością należały do badanego źródła. Po ustaleniu zespołu pikseli reprezentatywnych dla źródła dokonano dla każdego obiektu i w każdym paśmie procedury uśrednienia. Średnie wartości emisji z obszaru źródła (emisji tła + emisji obiektu) liczone według wzoru:

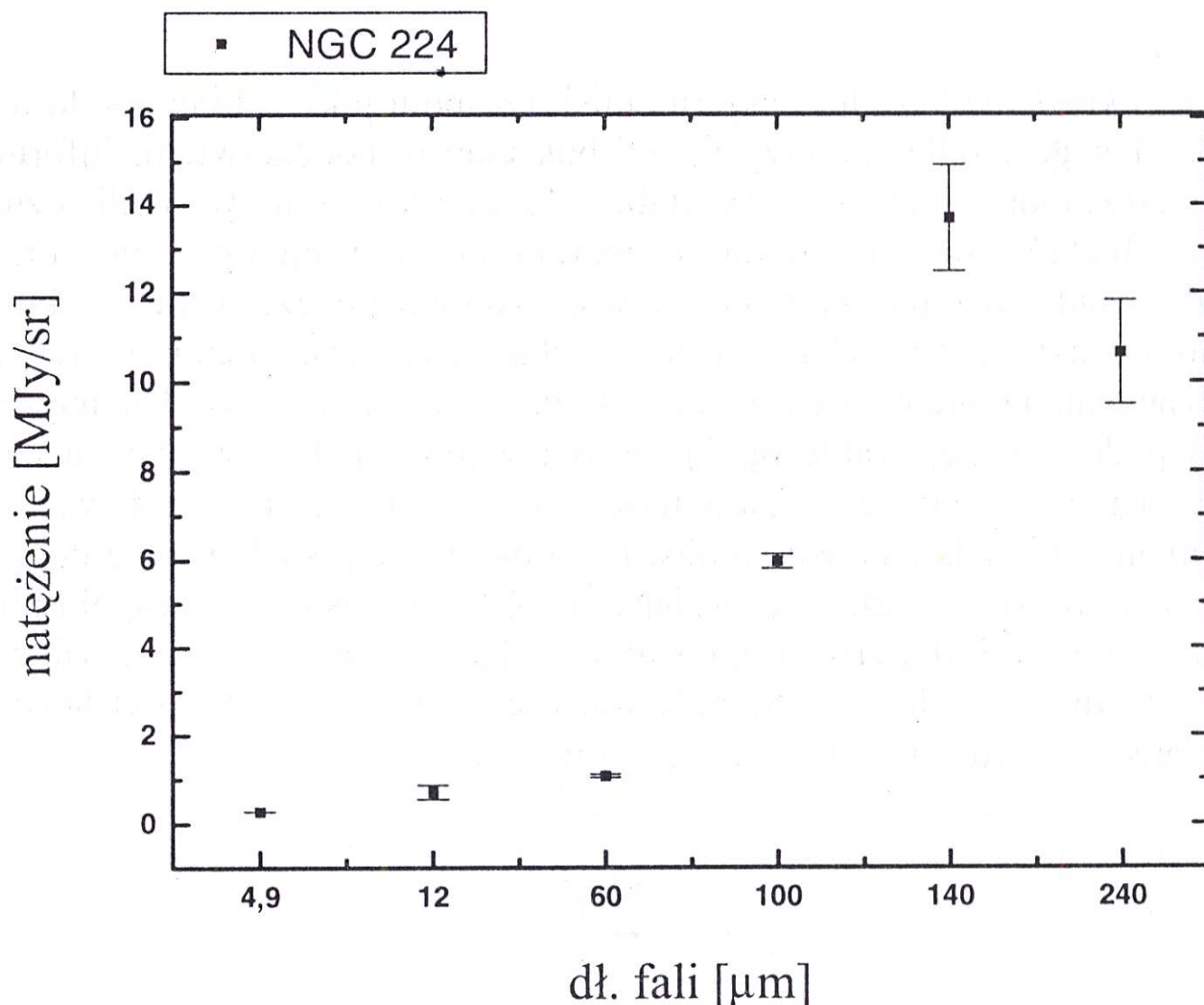
$$I_{ob} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n},$$

gdzie n oznacza całkowitą liczbę pikseli, których natężenia (I_i) sumowano. Poziom tła, I_t , uzyskano uśredniając natężenia w obszarze, dla którego natężenia emisji dla poszczególnych pikseli wskazywały, iż jest to tło rozważanego obiektu. Obszar odniesienia był wyznaczany indywidualnie dla poszczególnych przypadków w oparciu o mapy emisji w paśmie $100 \mu\text{m}$.

Ostatecznie uzyskano natężenie średnie obiektu uwolnione od emisji tła ze wzoru:

$$I = I_{ob} - I_t.$$

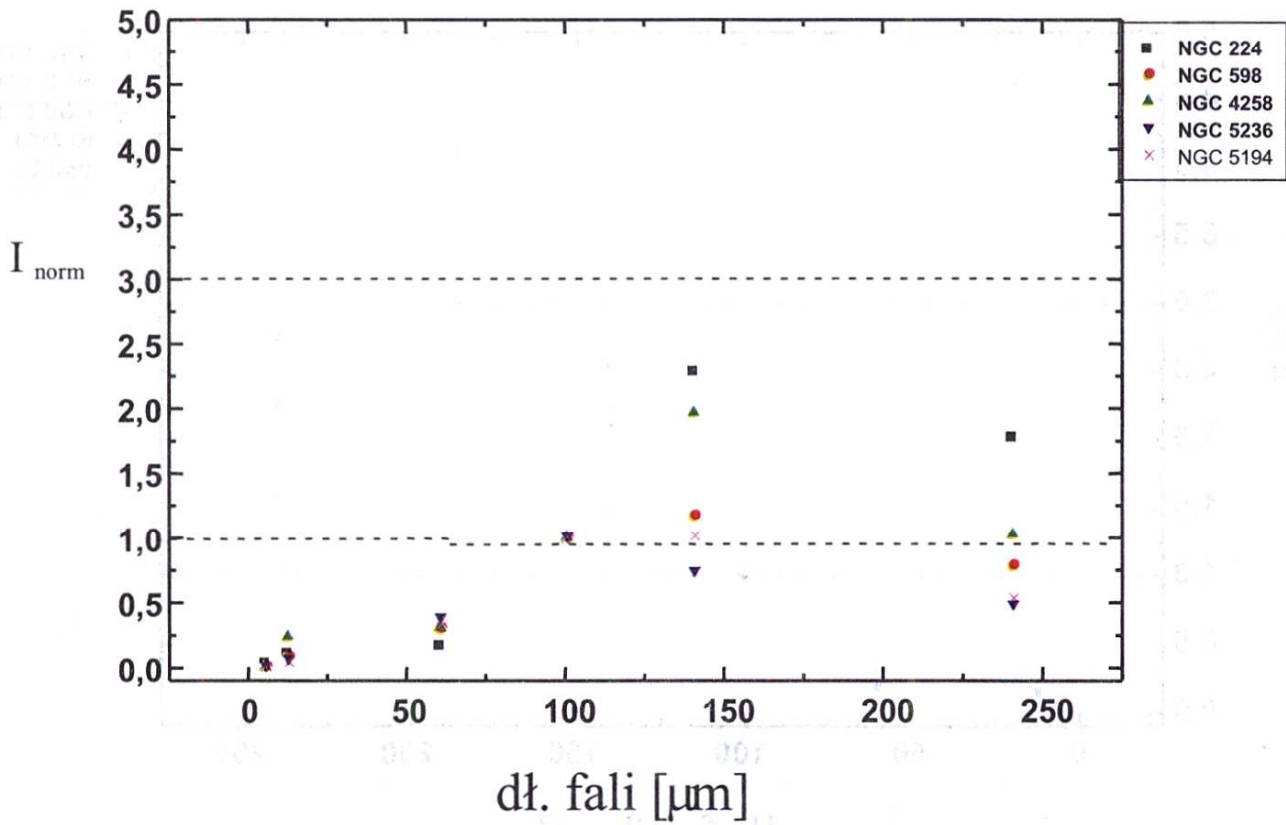
W wyniku, dla każdego źródła i dla każdego pasma uzyskano te wartości I , które po naniesieniu na diagramy pozwoliły ustalić poszukiwany charakter widmowy emisji dla poszczególnych obiektów. Rysunek 3 obejmuje widmo otrzymane dla galaktyki NGC224. Na rysunku naniesiono przy każdej wartości natężenia również błędy wyznaczenia poziomu tła. Błędy te przyjmują największe wartości dla zakresów 140 i $240 \mu\text{m}$, co wynika ze słabej fotometrycznej jakości obserwacji DIRBE w tych właśnie zakresach.



Rys. 3. Widmo emisji podczerwonej dla galaktyki spiralnej NGC224. Sześć punktów diagramu odpowiada poszczególnym zakresom DIRBE użytym do analizy — 4,9, 12, 60, 100, 140 i 240 μm

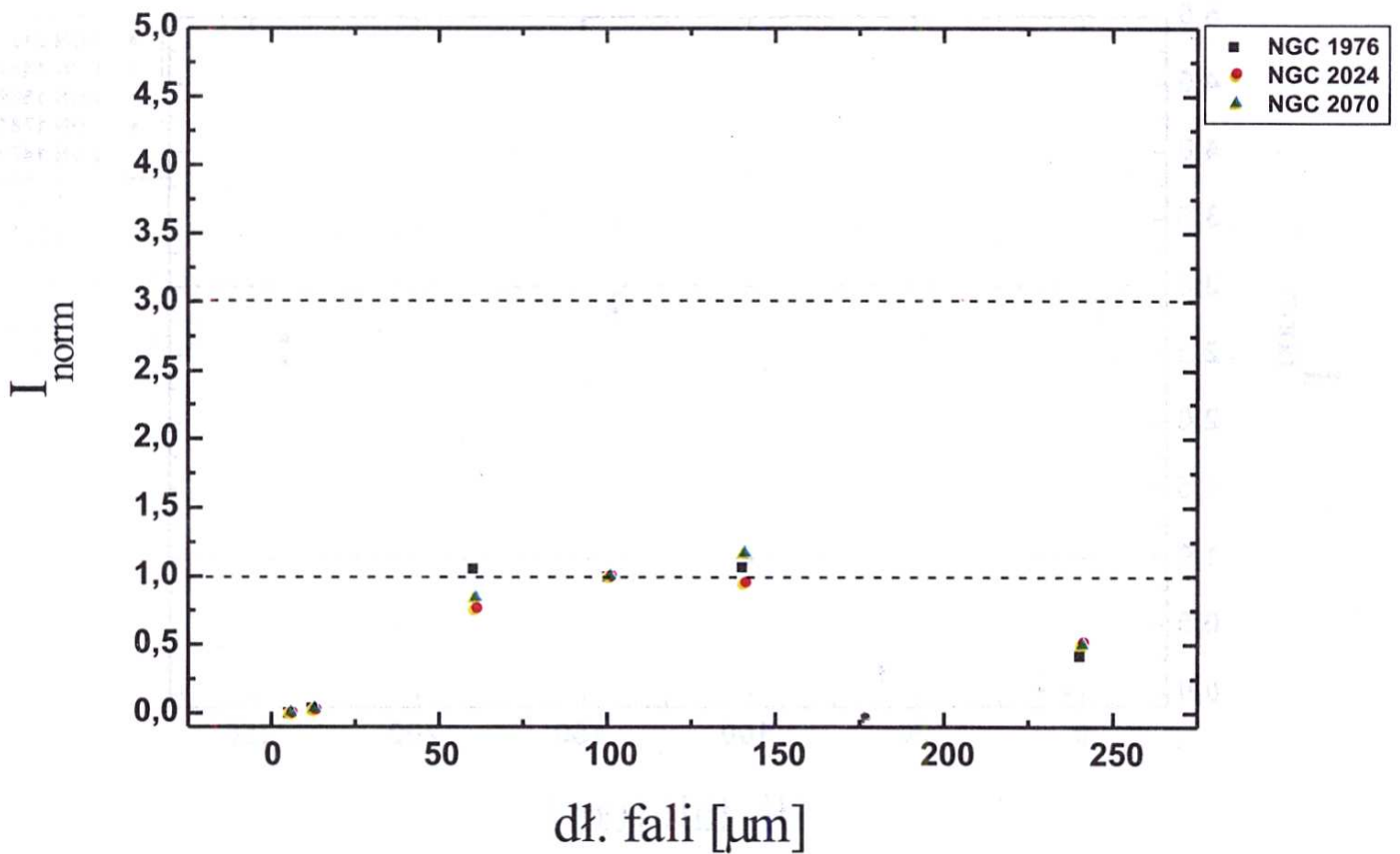
Charakterystyki widmowe emisji poszczególnych grup obiektów obrazują rysunki 4 – 8. Na rysunkach natężenia zostały unormowane do wartości w paśmie 100 μm , aby ułatwić późniejsze porównywanie widm odmiennych klas obiektów. Również dla ułatwienia porównań poprowadzono linie stałego natężenia względnego na poziomach 1 i 3. Normalizację w każdej grupie obiektów przeprowadzono w ten sposób, że dla każdego źródła, natężenia uzyskane w poszczególnych pasmach podzielono przez wartość natężenia tego źródła w paśmie 100 μm .

Galaktyki spiralne



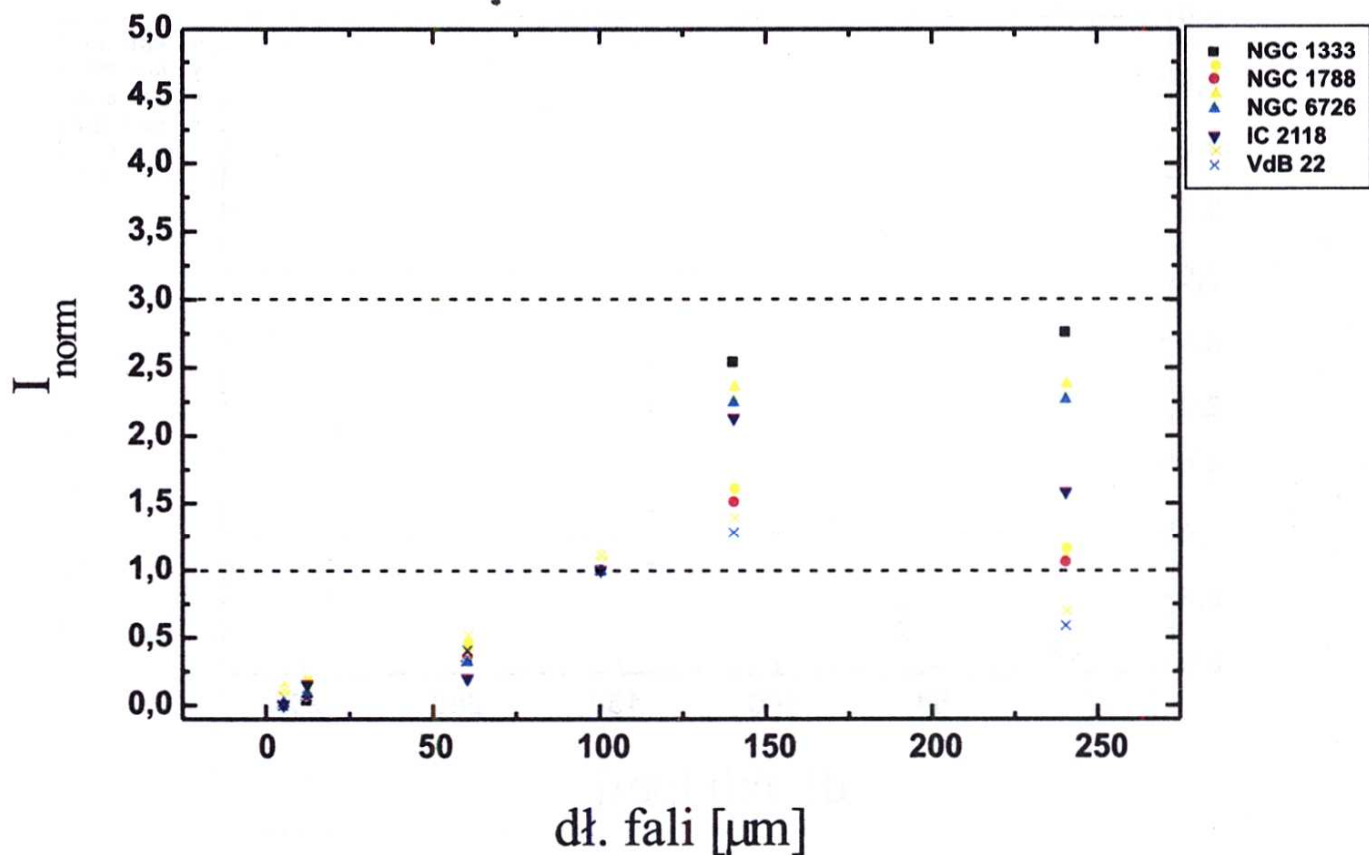
Rys. 4. Unormowane widmo emisji dla grupy galaktyk spiralnych. Szczegółowe objaśnienia w tekście

Mgławice emisyjne



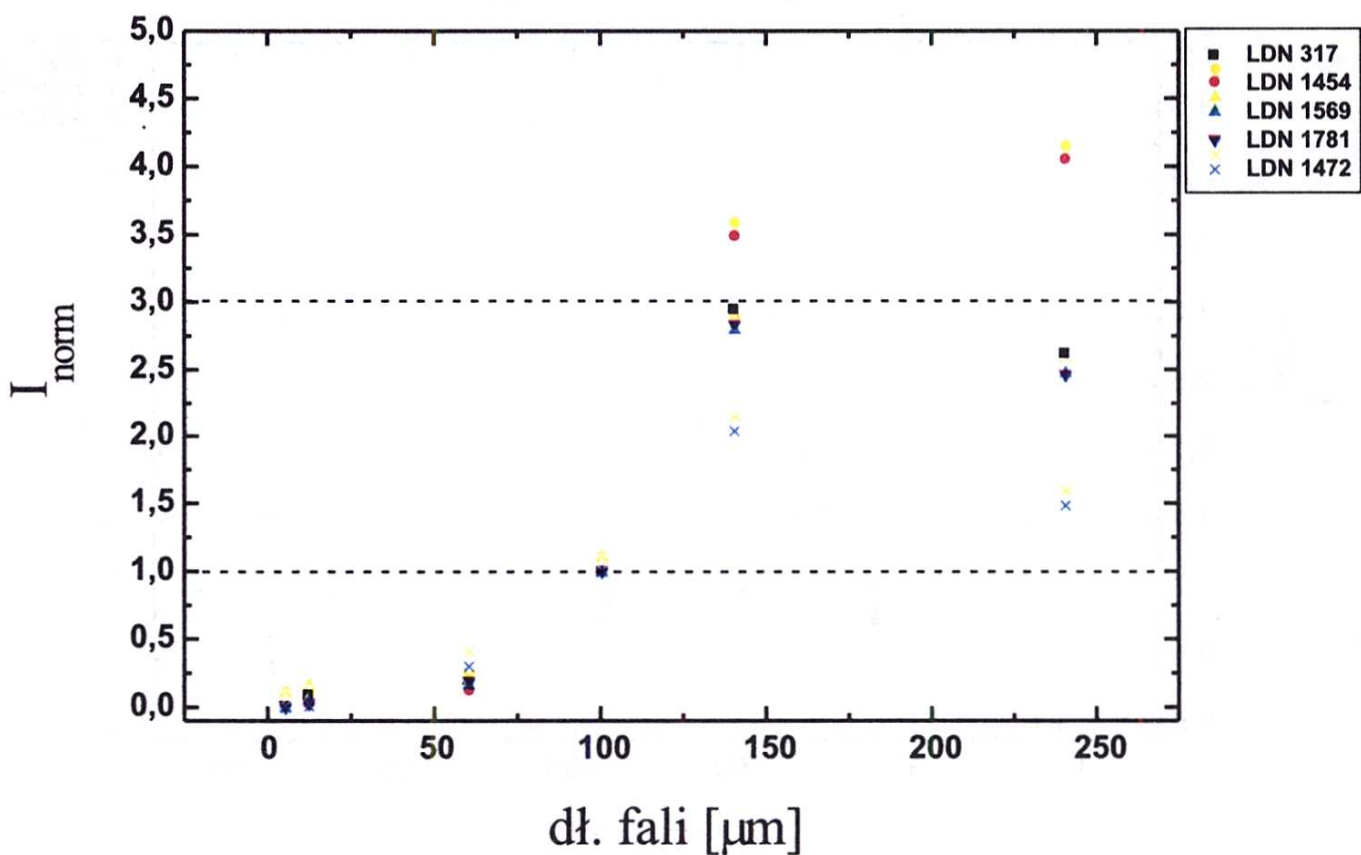
Rys. 5. Jak na rysunku 4, tylko dla grupy mgławic emisyjnych

Obłoki refleksyjne



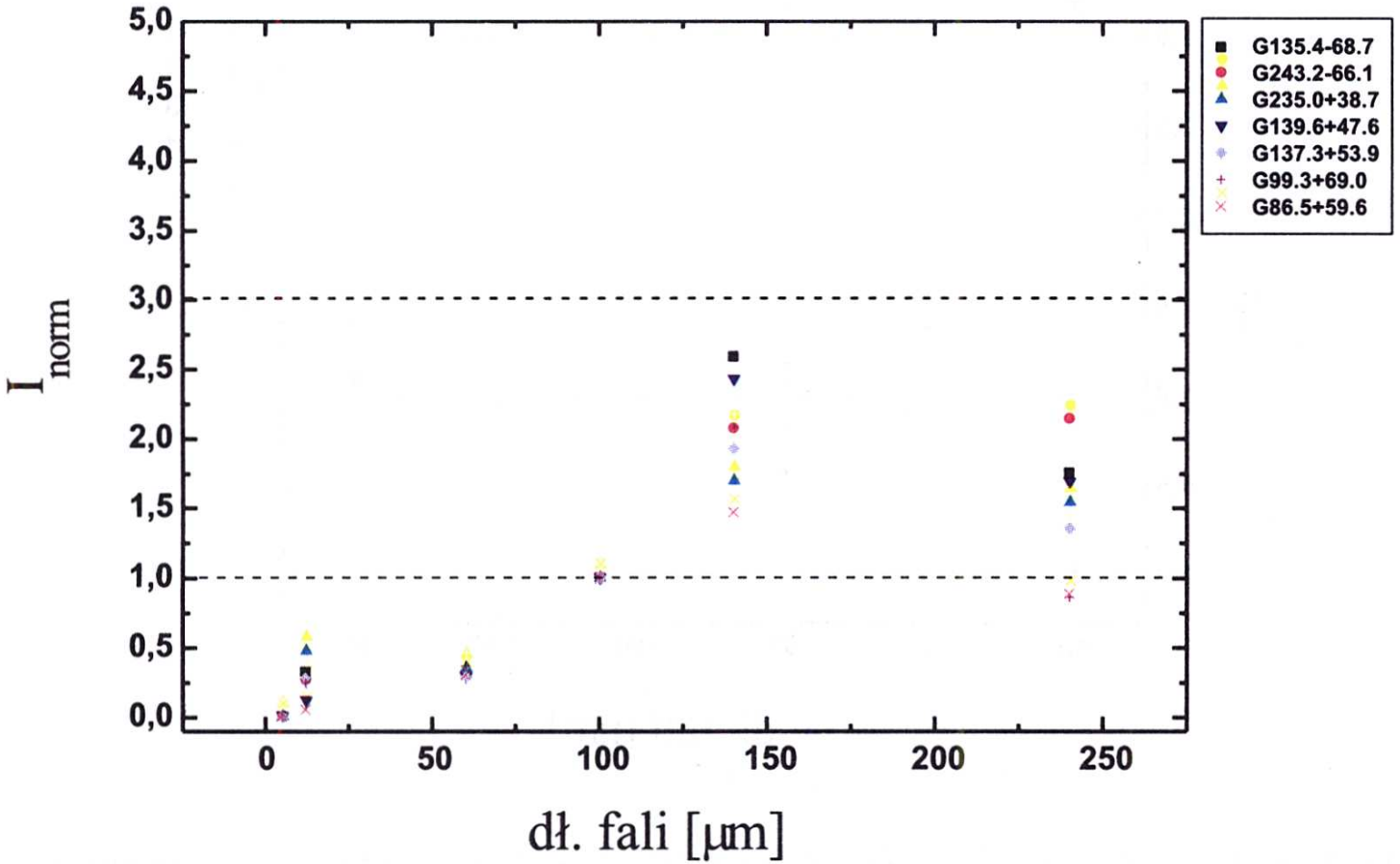
Rys. 6. Jak na rysunku 4, tylko dla grupy obłoków refleksyjnych

Obłoki molekularne



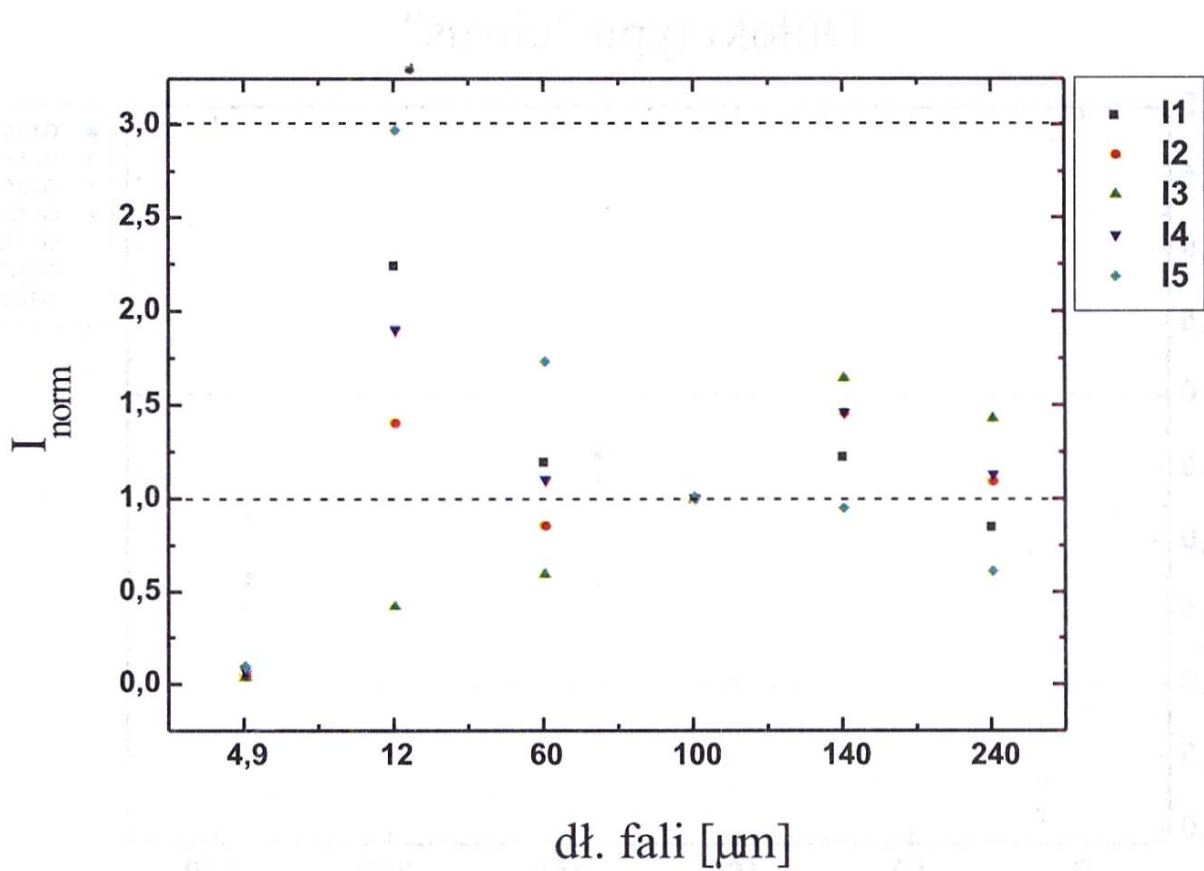
Rys. 7. Jak na rysunku 4, tylko dla grupy obłoków molekularnych

Obłoki typu "cirrus"

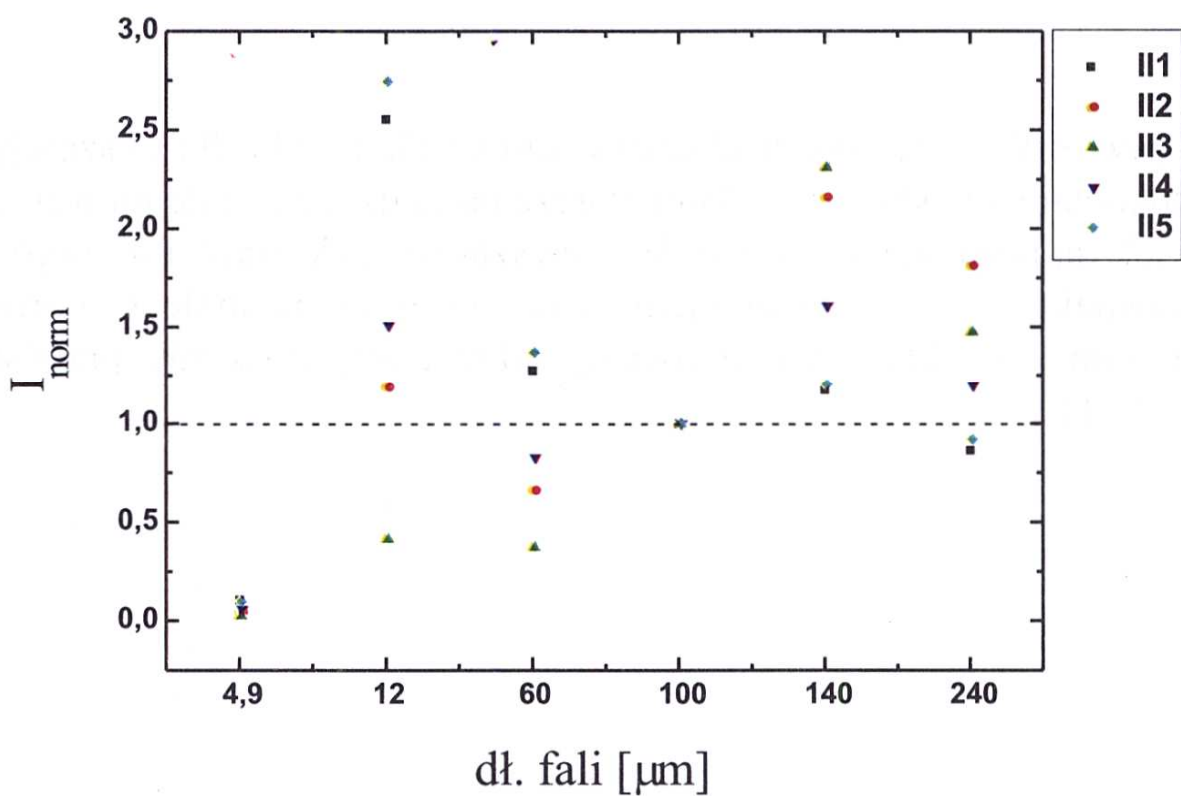


Rys. 8. Jak na rysunku 4, tylko dla grupy obłoków typu „cirrus”

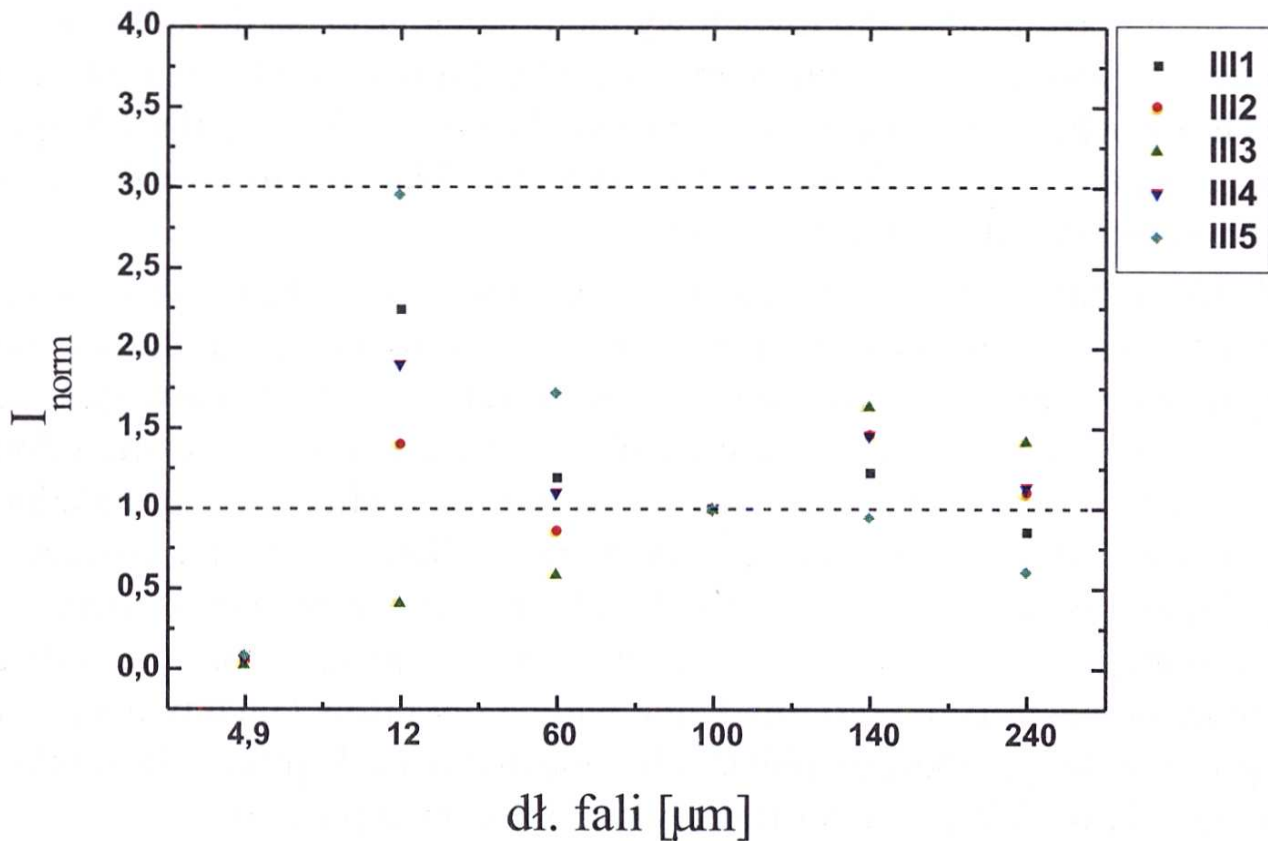
W przypadku wybranych obszarów emisji Galaktyki dla poszczególnych pasm dokonano zwykłych uśrednień natężenia emisji, bez odejmowania jakiegokolwiek tła pozagalaktycznego. W rozważanych zakresach fotometrycznych tło pozagalaktyczne można bowiem uznać za znikomo małe w porównaniu z emisją samej Galaktyki. Unormowane widma emisji obszarów przedstawiają rysunki 9 –11.



Rys. 9. Widma emisji dla pięciu obszarów Galaktyki mających swoje środki na długości galaktycznej 40° (grupa I). Szczegółowy opis położenia obszarów zawiera tabela 2



Rys. 10. Jak dla rys. 9, ale przy długości galaktycznej 100° (grupa II)



Rys. 11. Jak dla rys. 9, ale przy długości galaktycznej 210° (grupa III)

5. Dyskusja wyników

Zgodnie z oczekiwaniami otrzymaliśmy istotne zróżnicowanie w charakterystykach widmowych badanych grup obiektów. Zróżnicowanie to szczególnie wyraźnie rysuje się dla pasm 60, 100, 140 i 240 μm . W pasmach 4.9 i 12 μm wszystkie obiekty zachowują się podobnie, wykazując co najwyżej śladową emisję. Charakterystyki emisji w dalekiej podczerwieni dla badanych grup obiektów można określić następująco:

- Galaktyki spiralne : $I_{100}/I_{60} \approx 3$, $I_{140}/I_{100} \approx 1.5$, $I_{240} < I_{140}$.
- Mgławice emisyjne: $I_{60} \approx I_{100} \approx I_{140} \approx 2 \cdot I_{240}$.
- Mgławice refleksyjne: $I_{100}/I_{60} \approx 2$, $I_{140} \approx I_{240} > I_{100}$.
- Obłoki molekularne: $I_{100}/I_{60} \approx 4$, $I_{140} \approx I_{240} \approx 2.5 \cdot I_{100}$.
- Obłoki typu „cirrus”: $I_{100}/I_{60} \approx 3$, $I_{140}/I_{100} \approx 2$, $I_{240} < I_{140}$.

Najwyraźniej rysuje się zróżnicowanie widm pomiędzy mgławicami emisyjnymi i obłokami molekularnymi. Mgławice emisyjne zawierają stosunkowo dużo ciepłego pyłu (co znalazło odzwierciedlenie w przesunięciu się maksimum emisji w kierunku fal krótszych), a obłoki molekularne uchodzą za sku-

piska najzimniejszego pyłu (nie dziwi więc fakt, że maksimum emisji przypada dla pasm najbardziej długofalowych). Widma pozostałych grup obiektów, różniąc się wyraźnie od widm dwóch wymienionych grup, są do siebie z grubsza podobne. Obłoki refleksyjne różnią się od galaktyk spiralnych i od „cirrusów” tylko trochę większą emisją w paśmie 240 μm . Widma galaktyk spiralnych i „cirrusów” są do siebie bardzo podobne. Maksimum emisji dla tych grup obiektów wypada w okolicy 100 μm .

Wyniki analizy charakteru uśrednionej emisji w wybranych obszarach Galaktyki wykazują, w sposób mało zależny od szerokości galaktycznej, słabe podobieństwo do emisji grupy galaktyk spiralnych i grupy obłoków typu „cirrus” (nie należy się tu sugerować wyraźną nadwyżką emisji w krótkofalowej części rysunków, która bierze się tu z powodu braku odjęcia tła zodiakalnego dla obszarów Galaktyki, podczas gdy tło to było odejmowane dla poszczególnych obiektów w badanych grupach). Podobieństwo jest najwidoczniejsze dla dysku Galaktyki ($b = 0$) i wyraża się zawyżoną emisją w paśmie 140 μm w stosunku do pasm 100 i 240 μm . Choć widma obszarów Galaktyki są uśrednione po wszelkiego rodzaju obiektach i mechanizmach promieniowania, to uwidacznia się w nich charakter typowy dla obłoków typu „cirrus”.

Wnioski

Dane uzyskane przez DIRBE i udostępnione w postaci uśrednionych map, nadają się do automatycznego rozpoznawania charakteru emisji podczerwonej. Oznacza to, że używając li tylko danych o emisji podczerwonej możemy wyszukiwać na niebie obłoki molekularne, mgławice emisyjne czy „cirrusy”.

Fakt, że galaktyki spiralne, jako całość, mają widma bardzo podobne do widm obłoków typu „cirrus” znaczy, że te, odkryte niespełna 20 lat temu (misja IRAS) obłoki, stanowią bardzo istotną składową galaktyk spiralnych. Pył zawarty w tych obłokach bardzo efektywnie uczestniczy w transferze fotonów ultrafioletowych i optycznych, produkowanych obficie przez gwiazdy, w fotony z zakresu dalekiej podczerwieni.

Z przeprowadzonych wstępnych analiz danych COBE/DIRBE w odniesieniu do różnych środowisk występowania pyłu międzygwiazdowego wyraźnie rysuje się potrzeba sprawdzenia charakteru emisji w różnych obszarach nieba, zwłaszcza tych, podejrzanych o występowanie obłoków pozagalaktycznych czy tych, które stwarzają nadzieję wykrycia obłoków zimnego (gruboziarnistego?) pyłu w halo galaktycznym.

W świetle przeprowadzonej analizy nic nie wskazuje na to, aby ewentualny zimny pył zalegający halo Galaktyki manifestował jakoś swoją obecność w emisji podczerwonej.

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.
- Dreyer J.L.E., 1988, *The Complete New General Catalogue and Index Catalogue of Nebulae and Star Clusters*, Sky Publishing Corporation and Cambridge University Press.
- Eddington A.S., 1926, *The internal constitution of the stars*, Cambridge University Press, s. 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).
- 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.
- Messier C., 1784, *Catalogue des nébuleuses et des amas d'étoiles que l'on découvre parmi les étoiles fixes, sur l'horizon de Paris*, Paryż.
- Witt A.N., Boroson T.A., 1990, „ApJ.” **355**, 182.

BOGDAN WSZOLEK, MAGDALENA CZAJKA

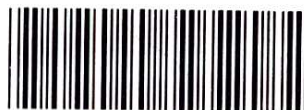
Spectral Analysis of Infrared Emission of Interstellar Patches

Summary

Using COBE (Cosmic Background Explorer) observational data concerning infrared emission of the sky, we have investigated spectral distributions of the emission for few groups of interstellar clouds and for one group of spiral galaxies. We have found that different groups of clouds have dissimilar spectral characteristics. We showed also that spiral galaxies have their emission spectra quite similar to those found for interstellar „cirrus” clouds.



BG WSP



255775