

Autoreferat

1 Imię i nazwisko

Michał J. Michałowski

2 Wykształcenie

04.12.2009	Stopień doktora, Uniwersytet Kopenhaski; praca doktorska: “Star Formation at High Redshifts and the Importance of Dust Obscuration”
29.08.2006	Tytuł magistra, Uniwersytet Kopenhaski; praca magisterska: “Spectral Energy Distributions of Gamma Ray Burst Host Galaxies”
27.06.2006	Tytuł magistra, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu; praca magisterska: “Analysis of Galaxy Spectra in the Cluster Abell 1677”

3 Zatrudnienie

05.2017–04.2019	Stażysta NCN Polonez Marie Skłodowska-Curie, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Polska
08.2016–04.2017	Senior postdoctoral fellow, Institute for Astronomy, University of Edinburgh, Wielka Brytania
10.2013–07.2016	Postdoctoral fellow, Institute for Astronomy, University of Edinburgh, Wielka Brytania
10.2012–09.2013	FWO Pegasus Marie Curie Fellow, University of Gent, Belgia
01.2010–09.2012	Postdoctoral fellow, Institute for Astronomy, University of Edinburgh, Wielka Brytania
11–12.2009	Short-term postdoctoral fellow, Dark Cosmology Centre, University of Copenhagen, Dania
09–10.2006	Research assistant, Dark Cosmology Centre, University of Copenhagen, Dania

4 Habilitacyjne osiągnięcie naukowe

4.1 Tytuł

Materia międzygwiazdowa a formowanie gwiazd na różnych etapach ewolucji Wszechświata

4.2 Statystyka publikacji habilitacyjnego osiągnięcia naukowego

Całkowita liczba publikacji	12
Całkowita liczba cytowań	352
Sumaryczny impact factor	59.149

4.3 Publikacje

- H1 Spring E. F. & **Michałowski M. J.**, 2017, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters, 471, 101, *Observational Evidence For Constant Gas Accretion Rate Since $z = 5$*
Liczba cytowań: 1, impact factor: 4.952
- H2 **Michałowski M. J.**, Dunlop J. S, Koprowski M. P., Cirasuolo M., Geach J. E., Bowler R. A. A., Mortlock A., Caputi K. I., Aretxaga I., Arumugam V., Chen Chian-Chou, McLure R., Birkinshaw M., Bourne N., Farrah D., Ibar E., van der Werf P., 2017, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 469, 492 *The SCUBA-2 Cosmology Legacy Survey: the nature of bright submm galaxies from 2 deg² of 850- μ m imaging*
Liczba cytowań: 8, impact factor: 4.952
- H3 **Michałowski M. J.**, Castro Cerón J. M., Wardlow J. L., Karska A., Mesias H., van der Werf P., Hunt L. K., Baes M., Castro-Tirado A. J., Gentile G., Hjorth J., Le Floch E., Pérez Martínez R., Nicuesa Guelbenzu A., Rasmussen J., Rizzo J. R., Rossi A., Sánchez-Portal M., Schady P., Sollerman J., Xu D., 2016, Astronomy & Astrophysics, 595, A72, *GRB 980425 host: [CII], [OI] and CO lines reveal recent enhancement of star formation due to atomic gas inflow*
Liczba cytowań: 5, impact factor: 5.185
- H4 **Michałowski M. J.**, Gentile G., Kamphuis P., Hjorth J., Krumholz M. R., Tanvir N. R., Burlon D., Baes M., Basa S., Berta S., Castro Cerón J. M., Crosby D., D'Elia V., Elliott J., Greiner J., Hunt L. K., Klose S., Koprowski M. P., Le Floch E., Malesani D., Murphy T., Nicuesa Guelbenzu A., Palazzi E. Rasmussen J., Rossi A., Savaglio S., Schady P., Sollerman J., de Ugarte Postigo A., Watson D., van der Werf P., Vergani S. D., Xu D., 2015, Astronomy & Astrophysics, 582, A78, *Massive stars formed in atomic hydrogen reservoirs: HI observations of gamma-ray burst host galaxies*
Liczba cytowań: 20, impact factor: 5.185
- H5 **Michałowski M. J.**, 2015, Astronomy & Astrophysics, 577, A80, *Dust production 680–850 million years after the Big Bang*
Liczba cytowań: 25, impact factor: 5.185
- H6 Zavala J. A., **Michałowski M. J.**, Aretxaga I., Wilson G. W., Hughes D. H., Montaña A., Dunlop J. S., Pope A., Sánchez-Arguelles D., Yun M. S., Zeballos M., 2015, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters, 453, L88, *Early Science with the Large Millimeter Telescope: Dust constraints in a $z \sim 9.6$ galaxy*
Liczba cytowań: 6, impact factor: 4.952
- H7 Kohn S., **Michałowski M. J.**, Bourne N., Baes M., Fritz J., Cooray A., de Looze I., De Zotti G., Dannerbauer H., Dunne L., Dye S., Eales S., Furlanetto C., Gonzalez-Nuevo J., Ibar E., Ivison R. J. Maddox S. J., Scott D., Smith D. J. B., Smith M. W. L., Symeonidis M., Valiante E., 2015, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 448, 1494, *Far-infrared observations of an*

unbiased sample of gamma-ray burst host galaxies

Liczba cytowań: 8, impact factor: 4.952

H8 **Michałowski M. J.**, Hayward C. C., Dunlop J. S., Bruce V. A., Cirasuolo M., Cullen F., Hernquist L., 2014, *Astronomy & Astrophysics*, 571, A75, *Determining the stellar masses of submillimetre galaxies: the critical importance of star formation histories*

Liczba cytowań: 41, impact factor: 4.378

H9 **Michałowski M. J.**, Hunt L. K., Palazzi E., Savaglio S., Gentile G., Rasmussen J., Baes M., Basa S., Bianchi S., Berta S., Burlon D., Castro Cerón J. M., Covino S., Cuby J.-G., D'Elia V., Ferrero P., Götz D., Hjorth J., Koprowski M. P., Le Borgne D., Le Floch E., Malesani D., Murphy T., Pian E., Piranomonte S., Rossi A., Sollerman J., Tanvir N. R., de Ugarte Postigo A., Watson D., van der Werf P., Vergani S. D., Xu D., 2014, *Astronomy & Astrophysics*, 562, A70, *Spatially resolved dust properties of the GRB 980425 host galaxy*

Liczba cytowań: 22, impact factor: 4.378

H10 **Michałowski M. J.**, Dunlop J. S., Ivison R. J., Cirasuolo M., Caputi K. I., Aretxaga I., Arumugam V., Austermann J. E., Chapin E. L., Chapman S. C., Coppin K. E. K., Egami E., Hughes D. H., Ibar E., Mortier A. M. J., Schael A. M., Scott K. S., Smail I., Targett T. A., Wagg J., Wilson G. W., Xu L., Yun M., 2012, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 426, 1845, *AzTEC half square degree survey of the SHADES fields - II. Identifications, redshifts, and evidence for large-scale structure*

Liczba cytowań: 23, impact factor: 5.521

H11 **Michałowski M. J.**, Dunlop J. S., Cirasuolo M., Hjorth J., Hayward C. C., Watson D., 2012, *Astronomy & Astrophysics*, 541, A85, *The stellar masses and specific star-formation rates of submillimetre galaxies*

Liczba cytowań: 107, impact factor: 5.084

H12 **Michałowski M. J.**, Murphy E. J., Hjorth J., Watson D., Gall C., Dunlop J. S., 2010, *Astronomy & Astrophysics*, 522, A15, *Dust grain growth in the interstellar medium of $5 < z < 6.5$ quasars*

Liczba cytowań: 71, impact factor: 4.425

4.4 Opis celów naukowych i rezultatów

Materia międzygwiazdowa (pył i gaz w galaktykach) odgrywa ważną rolę w procesie formowania gwiazd i w ewolucji galaktyk.

Pył kosmiczny jest kluczowym składnikiem Wszechświata. Absorbuje on $\sim 50\%$ promieniowania gwiazd i emituje tę energię w podczerwieni (Hauser & Dwek, 2001). Zakrywa też regiony gdzie powstają gwiazdy. Z tego powodu, jeśli chcemy mieć całościowy obraz Wszechświata, to musimy badać zapyłone galaktyki, aby poznać tę intrygującą ukrytą połowę Wszechświata.

Z drugiej strony, gaz jest paliwem do formowania gwiazd, więc jest ważne jakie jego własności umożliwiają i są warunkiem kolapsu grawitacyjnego i wynikającego z tego formowania gwiazd. Jednym z ważniejszych aspektów ewo-

lucji Wszechświata jest to jak galaktyki zdobywają gaz potrzebny do formowania gwiazd. Numeryczne modele formowania galaktyk przewidują, że formowanie gwiazd jest możliwe tylko jeśli znaczne ilości gazu wpływają do galaktyk z przestrzeni międzygalaktycznej (n.p. Schaye et al., 2010) i faktycznie aktualne zasoby gazu w wielu galaktykach są za małe żeby podtrzymać aktualne tempo formowania gwiazd, nawet w przypadku normalnych galaktyk takich jak Droga Mleczna (e.g. Draine, 2009). Jednakże, pomimo wielu niebezpośrednich dowodów na występowanie wpływów gazu do galaktyk (n.p. Sancisi et al., 2008; Sánchez Almeida et al., 2013, 2014b,a; Stott et al., 2013; Wang et al., 2015), ich istnienie było bezpośrednio zaobserwowane tylko w kilku galaktykach (Ribaud et al., 2011; Martin et al., 2014; Michałowski et al., 2015; Turner et al., 2015; Rauch et al., 2016), także w tych, w których wybuchły błyski gamma (GRB, od angielskiego gamma-ray burst) o długim trwaniu (> 2 s).

4.4.1 Cele naukowe

Celem moich badań było znalezienie odpowiedzi na poniższe pytania dotyczące relacji pomiędzy materią międzygwiazdową i formowaniem gwiazd. Są one szczegółowo omówione poniżej.

1. Ile gazu wpływa do galaktyk i może być użyte do formowania gwiazd?
2. (a) Jak można wybrać próbkę galaktyk, które niedawno doświadczyły wpływu gazy z przestrzeni międzygalaktycznej (po to żeby móc szczegółowo badać ten proces)?
(b) Czy gwiazdy mogą tworzyć się tylko z gazu molekularnego czy także z atomowego?
3. (a) Jaki mechanizm umożliwia formowanie gwiazd w najbardziej zapyłonych galaktykach we Wszechświecie?
(b) Jakie są masy tych galaktyk (czyli miernik aktywności gwiazdotwórczej w przeszłości)?
4. Jaki jest mechanizm formowania się pyłu we wczesnym Wszechświecie? Dla niektórych odległych galaktyk obserwujemy duże ilości pyłu, ale dla nich czas od Wielkiego Wybuchu, a więc też czas dostępny do tworzenia pyłu, był bardzo krótki.

4.4.2 Pierwszy obserwacyjny pomiar tempa wpływania gazu do galaktyk

Pierwszym aspektem badań było zbadanie ile jest gazu, z którego mogą tworzyć się gwiazdy. W Spring & Michałowski (2017, H1) odpowiedzieliśmy na to pytanie przez obliczenie ile gazu wpływało do galaktyk na różnych etapach ewolucji Wszechświata. Aby tego dokonać zaproponowałem metodę polegającą na porównaniu całkowitych mas gazu molekularnego, atomowego i gwiazd w dwóch różnych epokach i przypisaniu różnicy efektowi wpływania i wypływania gazu z galaktyk. W ten sposób otrzymaliśmy pierwszy obserwacyjny pomiar tempa wpływania gazu do galaktyk.

Pokazaliśmy, że to tempo jest w przybliżeniu stałe w zakresie od przesunięcia ku czerwieni $z \sim 5$ do $z \sim 0$ na poziomie $\sim 0.05\text{--}0.1 M_{\odot}\text{yr}^{-1}\text{Mpc}^{-3}$. Ma to ważne konsekwencje dla ewolucji galaktyk. Wcześniej zmierzony spadek aktywności gwiazdotwórczej Wszechświata (kluczowa własność w kosmologii) nie może być przypisany zmianie tempa wpływania gazu do galaktyk. Galaktyki we wczesnym Wszechświecie zużywały więcej gazu niż otrzymywały z przestrzeni międzygalaktycznej (aktywność gwiazdotwórcza była większa niż tempo wpływania gazu). Teraz aktywność gwiazdotwórcza spadła poniżej tempa wpływania gazu, które może więc podtrzymywać aktualne formowanie gwiazd. Spadek aktywności gwiazdotwórczej nie jest więc spowodowany spadkiem ilości gazu. Możliwe, że jest to efekt spadającej gęstości gazu w galaktykach, co spowodowało, że duża część gazu jest zbyt mało gęsta żeby formować gwiazdy.

Pokazaliśmy też, że niektóre symulacje kosmologiczne nie przewidują takiego stałego tempa wpływania gazu do galaktyk i dzięki temu umożliwiliśmy badania tego aspektu w innych symulacjach, co pomoże ograniczyć zakres ich parametrów.

4.4.3 Błyski gamma jako wskaźniki niedawnego wpływu gazu i związanego z nim formowania gwiazd

Następne pytanie badawcze jest związane ze zmianami w materii międzygwiazdowej (wpływ gazu), które mają wpływ na proces formowania gwiazd.

Błyski gamma to wybuchy bardzo masywnych i krótko żyjących gwiazd (n.p. Hjorth et al. 2003; Stanek et al. 2003; Hjorth & Bloom 2012), więc wskazują one miejsca niedawnego formowania gwiazd. Gaz molekularny jest zwykle uważany za paliwo potrzebne do formowania gwiazd (Carilli & Walter, 2013; Rafelski et al., 2016), ale kilka galaktyk, w których wybuchły błyski gamma (GRBH of angielskiego gamma-ray burst host) charakteryzują się deficytem gazu molekularnego (H_2 ; Hatsukade et al., 2014; Stanway et al., 2015b; Michałowski et al., 2016). Ten deficyt jest niespotykany dla galaktyk o normalnej aktywności gwiazdotwórczej, w odróżnieniu od dużo bardziej aktywnych galaktyk i nie jest spowodowany wysokim czynnikiem przeliczającym jasność linii tlenku węgla (CO) na ilość gazu molekularnego (co występuje na niskich metalicznościach; Bolatto et al., 2013), ponieważ GRBH obserwowane w linii CO mają metaliczność $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \sim 8.7\text{--}9.0$ (Castro-Tirado et al., 2007; Levesque et al., 2010b; Stanway et al., 2015a). Ponadto, optyczna spektroskopia poświat GRB pokazała, że gaz molekularny jest tylko małą częścią gazu otaczającego błyski gamma. (Vreeswijk et al., 2004; Fynbo et al., 2006; Tumlinson et al., 2007; Prochaska et al., 2009; D’Elia et al., 2010, 2014; Krühler et al., 2013; Friis et al., 2015).

Z drugiej strony w Michałowski et al. (2015, H4) przedstawiłem obserwacje teleskopem Australia Telescope Compact Array (ATCA) linii wodoru 21 cm galaktyk, w których wybuchły błyski gamma i one pokazały wysoki poziom gazu atomowego (HI), co sugeruje, że związek gazu atomowego z formowaniem gwiazd jest silniejszy niż wcześniej sądzono. Niska ilość gazu molekularnego, normalny poziom gazu atomowego i wysoka aktywność gwiazdotwórcza sugerują, że GRBH doświadczyły niedawnego wpływu gazu atomowego o niskiej zawartości metali. Ten scenariusz jest też potwierdzany przez istnienie chmury gazu atomowego bez odpowiednika w falach optycznych $\sim 19\text{ kpc}$ od galaktyki, w której wybuchł GRB 060505, która może być strumieniem gazu wpływającego do tej galaktyki (Michałowski et al., 2015, H4). Ponadto, środek rozkładu gazu atomowego galaktyk, w których wybu-

chły GRB 980425 i 060505 nie pokrywa się ze środkiem optycznym tych galaktyk, ale jest przesunięty blisko pozycji gdzie wybuchły te błyski gamma (Michałowski et al., 2015, H4). Koncentracja gazu atomowego blisko pozycji gdzie wybuchł GRB 980425 została potwierdzona przez obserwacje o wysokiej rozdzielczości przez Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT; Arabsalmani et al., 2015).

Ponadto, gaz atomowy może być bezpośrednim paliwem do formowania gwiazd, co zostało teoretycznie pokazane (Glover & Clark, 2012; Krumholz, 2012; Hu et al., 2016) i co jest spójne z istnieniem regionów gwiazdotwórczych w innych galaktykach zdominowanych przez gaz atomowy (Bigiel et al., 2008, 2010; Fumagalli & Gavazzi, 2008; Elmegreen et al., 2016). Ten proces może zachodzić w gazie atomowym, który ma niską zawartość metali i który niedawno wpłynął do galaktyki (nawet jeśli metaliczność w innych częściach galaktyki jest większa) niedługo po rozpoczęciu formowania gwiazd, ponieważ ochładzanie się gazu (warunek formowania gwiazd) jest szybsze niż przekształcanie gazu atomowego w molekularny (Krumholz, 2012). Faktycznie, duża ilość gazu atomowego, mała ilość gazu molekularnego (Hatsukade et al. 2014; Stanway et al. 2015b, Michałowski et al. (2016, H3)) i niskie całkowite masy gwiazd (Perley et al., 2013, 2015; Vergani et al., 2015) oznaczają, że GRBH to galaktyki, które niedawno zaczęły formować gwiazdy. Ten mechanizm implikuje formowanie błysków gamma w regionach o niskiej metaliczności, co zostało pokazane dla większości tych obiektów (Fruchter et al., 2006; Modjaz et al., 2008; Levesque et al., 2010a; Han et al., 2010; Boissier et al., 2013; Schulze et al., 2015; Vergani et al., 2015; Japelj et al., 2016; Perley et al., 2016b). Jest tylko kilka przykładów GRBH charakteryzujących się słoneczną lub ponad słoneczną metalicznością (Prochaska et al., 2009; Levesque et al., 2010b; Krühler et al., 2012; Savaglio et al., 2012; Elliott et al., 2013; Schulze et al., 2014; Hashimoto et al., 2015; Schady et al., 2015; Stanway et al., 2015a).

Podsumowując, moje dane z ATCA potwierdzają scenariusz, w którym błyski gamma są produkowane kiedy nisko-metaliczny gaz wpływa do galaktyki i gwałtownie się wychładza co doprowadza do formowania gwiazd zanim przekształci się on w gaz molekularny albo zmiesza się z gazem o wyższej metaliczności w innych częściach galaktyki. Ten scenariusz w naturalny sposób wyjaśnia preferencje GRBH do niskich metaliczności i niskich zawartości gazu molekularnego. W odróżnieniu, w późniejszych etapach formowania gwiazd gaz molekularny jest dominującym składnikiem materii międzygwiazdowej, ale metale są dobrze wymieszane i gaz został dodatkowo wzbogacony w metale, więc masywne gwiazdy nie kończą swojego życia jako GRB, i takie galaktyki bogate w metale i gaz molekularny nie zostają GRBH.

W dalszych badaniach w Michałowski et al. (2016, H3) analizowałem dane spektroskopowe z satelity *Herschel* linii widmowych [CII] i [OI], oraz dane z teleskopu APEX linii widmowej CO dla GRBH. Po pierwsze potwierdziłem niską zawartość gazu molekularnego. Po drugie, koncentracja [OI] and HI i duże pole promieniowania blisko pozycji GRB są spójne z hipotezą niedawnego (mniej niż kilkadziesiąt milionów lat temu) wpływu gazu atomowego, który wywołał formowanie gwiazd. W tym scenariuszu pył nie miał wystarczająco czasu żeby powstać (co wyjaśnia wysokie stosunki jasności w liniach widmowych do kontinuum). Takie niedawne zwiększenie aktywności gwiazdotwórczej faktycznie manifestowało by się wysokim stosunkiem $SFR_{\text{linia}}/SFR_{\text{kontinuum}}$, ponieważ wskaźniki bazujące na liniach widmowych są czułe tylko na niedawne (mniej niż 10 milionów lat temu) formowanie

gwiazd, a te bazujące na kontinuum mierzą aktywność gwiazdotwórczą uśrednioną w czasie dłuższych okresów (około 100 milionów lat). W próbce 32 GRBH 20 ma $SFR_{\text{linia}}/SFR_{\text{kontinuum}} > 1$ i średnia wartość tego stosunku jest 1.74 ± 0.32 . Jest to spójne z częstym występowaniem niedawnego zwiększeniem aktywności gwiazdotwórczej w GRBH, więc galaktyki, do których niedawno wpłynął gaz mają większą szansę posiadać gwiazdy wybuchające jako GRB. Z tego powodu GRB mogą być użyte do selekcji unikalnej próbki galaktyk umożliwiającej badanie niedawnego wpływu gazu.

Dodatkowo w Michałowski et al. (2014b, H9), jedynej pracy o pyłe w GRBH z danymi o wysokiej rozdzielczości, pokazałem, że region gwiazdotwórczy blisko pozycji GRB ma zwiększoną emisję w dalekiej podczerwieni i w falach radiowych. Te właściwości są spójne z bardzo dużą gęstością w tym regionie, co jest prawdopodobnie konsekwencją niedawnego wpływu gazu w kierunku tej części galaktyki.

Wreszcie w Kohn et al. (2015, H7) zbadaliśmy czy można uznać GRBH za reprezentatywną próbkę gwiazdotwórczych galaktyk. Jest to ważne aby można było użyć błysków gamma do badania formowania gwiazd we Wszechświecie, czyli do przeliczenia zmierzonej liczebności GRB na całkowitą aktywność gwiazdotwórczą Wszechświata. Gdy to będzie można zrobić to znacznie poszerzymy naszą wiedzę o Wszechświecie, ponieważ ta metoda obejmuje bardziej reprezentatywną próbkę galaktyk, także tych najslabszych, które nie są zarejestrowane w istniejących danych. Jest to spowodowane tym, że wielkością mierzoną jest liczba GRB, które są bardzo jasne i widoczne nawet jeśli galaktyki, w których występują są za słabe. W tej pracy zaproponowałem metodę analizy reprezentatywnej próbki GRB bazując tylko na ich pozycji w polu obserwowanym przez satelitę *Herschel*. Te dane w dalekiej podczerwieni pozwoliły nam pokazać, że faktycznie GRBH są spójne z ogólną próbką gwiazdotwórczych galaktyk.

4.4.4 Galaktyki submilimetrowe umożliwiające ograniczenie zakresu parametrów modeli ewolucji galaktyk

Trzecim aspektem moich badań były własności odzwierciedlające aktualną i przeszłą aktywność gwiazdotwórczą galaktyk z najbardziej bogatą (najbardziej zapyłoną) materią międzygwiazdową.

Galaktyki submilimetrowe są najbardziej zapyłonymi i najbardziej masywnymi galaktykami we Wszechświecie, więc mogą być użyte do ograniczenia zakresu parametrów kosmologicznych modeli (n.p. Hayward et al., 2013). Umożliwia to fakt, że ich liczba i fizyczne własności są bardzo czułe na wartość niektórych parametrów tych modeli.

W Michałowski et al. (2012b, H10) analizowałem próbkę galaktyk submilimetrowych z dwóch pól i wykazałem, że prawdopodobnie wyznaczają one położenie struktur wielkoskalowych, co otwiera możliwość użycia ich do badania rozkładu masy we Wszechświecie. Ponadto, duża różnica pomiędzy tymi polami oznacza, że większe pola (większe niż stopień kwadratowy) są potrzebne aby uzyskać reprezentatywną próbkę tych galaktyk. Zaproponowałem także metodę szukania optycznych odpowiedników galaktyk submilimetrowych bazującą na czerwonych kolorach tych odpowiedników. Ta metoda została dodatkowo ulepszona i zastosowana w programie SCUBA-2 Cosmology Legacy Survey w Chen et al. (2016).

W Michałowski et al. (2012a, H11) otrzymałem pierwszy dowód, że galaktyki submilimetrowe nie są galaktykami niepasującymi do innych ze względu na ich ak-

tywność gwiazdotwórczą, to znaczy, że nie odstają od innych galaktyk na wykresie aktywności gwiazdotwórczej w funkcji całkowitej masy gwiazd, czyli, że galaktyki submilimetrowe tworzą najbardziej masywny koniec “ciągu głównego” na tym wykresie. Ten wniosek zaprzecza wcześniejszemu obrazowi, że galaktyki submilimetrowe są nietypowymi i rzadkimi zderzeniami galaktyk. To rozróżnienie jest ważne aby odpowiednio używać tych galaktyk do porównania z kosmologicznymi modelami.

W Michałowski et al. (2012a, H11) i Michałowski et al. (2014a, H8) przedstawiłem do tej pory jedyny test wiarygodności pomiaru całkowitych mas gwiazd galaktyk submilimetrowych. Dzięki temu mogłem zasugerować obserwatorom która parametryzacja historii formowania gwiazd powinna być zastosowana w modelowaniu ich jasności. Prawdopodobnie podwójna historia (z dwoma niezależnymi komponentami) jest najbardziej odpowiednia. Otrzymanie poprawnych mas galaktyk submilimetrowych jest ważne dla zrozumienia ich natury (na przykład ich położenie na diagramie ciągu głównego galaktyk zależy od ich mas) i jest ważnym aspektem zastosowania ich do ograniczenia zakresu parametrów modeli kosmologicznych.

W Michałowski et al. (2017, H2) przedstawiłem fizyczne własności największej próbki galaktyk submilimetrowych (~ 2000) z przeglądu nieba o polu $\sim 2 \text{ deg}^2$. W ten sposób wariacja kosmiczna (mierzona niejednorodność wszechświata w przypadku zbyt małych pól widzenia) została przewyżczona po raz pierwszy. Potwierdziłem, że galaktyki submilimetrowe tworzą najbardziej masywny koniec “ciągu głównego” galaktyk i że znaczna liczba odległych masywnych galaktyk jest w istocie galaktykami submilimetrowymi. Udowodniłem to porównując populację galaktyk submilimetrowych z ewoluującym rozkładem masy galaktyk biorąc pod uwagę rozrzut i błędy pomiarowe.

Wreszcie w Zavala et al. (2015, H6) zbadaliśmy fascynującą możliwość odkrycia pyłu w galaktyce o przesunięciu ku czerwieni $z \sim 9.6$ (Dwek et al., 2014), które bazowało na obserwacjach z niską zdolnością rozdzielczą na 2 mm. Otrzymaliśmy dane z Large Millimeter Telescope z dużo lepszą zdolnością rozdzielczą i pokazaliśmy, że pył znajduje się jednak w galaktyce o przesunięciu ku czerwieni $z \sim 1$, wykluczając ważność tego odkrycia. Z naszych głębszych obserwacji na pozycji galaktyki o przesunięciu ku czerwieni $z \sim 9.6$ stwierdziliśmy, że nie jest ona mocno zapyłona.

4.4.5 Jak może tworzyć się pył w odległym Wszechświecie

W końcu badałem odwrotny problem, czyli jak formowanie gwiazd (a dokładniej młode gwiazdy) wpływają na materię międzygwiazdową. Konkretnie, testowałem czy gwiazdowe źródła pyłu są wystarczająco liczne i efektywne żeby wyjaśnić istnienie pyłu obserwowanego w odległym Wszechświecie.

Nie jest jeszcze do końca zbadane jak powstał pył w odległym Wszechświecie, ponieważ formowanie pyłu wymaga szczególnych warunków czyli niskiej temperatury i wysokiej gęstości. Te warunki są spełnione w atmosferach gwiazd asymptotycznej gałęzi olbrzymów (AGB od angielskiego asymptotic giant branch) i w odrzuconych powłokach pozostałościach po supernowych (SN; Gall et al. 2011). Inną możliwością jest to, że te gwiazdowe źródła produkują tylko załączki pyłu, a większość akumulacji masy pyłu dokonuje się w przestrzeni międzygwiazdowej (Draine & Salpeter, 1979).

Zaprojektowałem i zastosowałem metodę zbadania tego aspektu. Bazując na całkowitej masie gwiazd w odległych galaktykach oszacowałem liczbę gwiazd produkujących pył (gwiazdy AGB i SN) i podzieliłem zmierzoną masę pyłu w tych galaktykach przez tę liczbę otrzymując wydajność produkcji pyłu przez jedną gwiazdę. Potem porównałem te wydajności z wydajnościami otrzymanymi teoretycznie i z obserwacji pojedynczych gwiazd. Jeśli obliczone wydajności są większe niż wydajności teoretyczne lub obserwacyjne, to można wysnuć wniosek, że te gwiazdy nie są wystarczająco efektywne i liczne żeby wyjaśnić pył w odległych galaktykach.

W Michałowski et al. (2010b, H12) zbadalem kwazary o przesunięciu ku czerwieni $5 < z < 6.5$, w których pył został dostrzeżony. Emisja kwazarów dominuje w falach optycznych i bliskiej podczerwieni nad emisją gwiazd, więc oszacowanie całkowitej masy gwiazd galaktyk, w których są kwazary jest trudniejsze niż dla innych galaktyk. Z tego powodu oszacowałem te masy na podstawie mas dynamicznych (całkowitych) i mas gazu z obserwacji spektroskopowych linii CO. Otrzymałem bardzo duże wymagane wydajności, więc przedstawiłem konkluzje, że gwiazdy AGB nie są wystarczająco efektywne żeby stworzyć pył w większości tych kwazarów, a supernowe mogłyby wyjaśnić zaobserwowane masy pyłu w niektórych kwazarach. Jednakże musiałyby mieć bardzo dużą efektywność (bliską maksimum). To sugeruje istnienie dodatkowego nie-gwiazdowego mechanizmu formowania pyłu, na przykład jego przyrostu w przestrzeni międzygwiazdowej.

W Michałowski (2015, H5) zastosowałem tę metodę do najdalszych galaktyk ($z = 6.3-7.5$), których emisja pyłu została dostrzeżona: HFLS3, czerwona galaktyka submilimetrowa zaobserwowana przez satelitę *Herschel* o przesunięciu ku czerwieni $z = 6.34$ (Riechers et al., 2013); ULAS J1120+0641, kwazar wybrany przez czerwony kolor o przesunięciu ku czerwieni $z = 7.085$ (Mortlock et al., 2011; Venemans et al., 2012); i A1689-zD1, soczewkowana galaktyka wybrana na podstawie spadku jasności blisko limitu Lymana o przesunięciu ku czerwieni $z = 7.5$ (Watson et al., 2015). Podobnie, otrzymałem bardzo wysokie wymagane efektywności produkcji pyłu, co oznacza, że gwiazdy AGB nie mogły mieć znacznego wkładu w produkcję pyłu na tych przesunięciach ku czerwieni i że supernowe mogłyby wyjaśnić zaobserwowane masy pyłu, ale tylko jeśli nie niszczą większości pyłu który produkują (co jest mało prawdopodobne biorąc pod uwagę limity efektywności produkcji pyłu przez supernowe otrzymane dla galaktyk, których emisja pyłu nie została zarejestrowana). To sugeruje, że przyrost pyłu w przestrzeni międzygwiazdowej jest prawdopodobnie potrzebny w tych wczesnych epokach.

4.4.6 Podsumowanie

Podsumowując, otrzymałem poniższe główne rezultaty. Przedstawiłem pierwszy pomiar tempa wpływania gazu do galaktyk i pokazałem, że jest ono stałe, więc zmniejszająca się ilość gazu nie może być powodem znacznego spadku aktywności gwiazdotwórczej Wszechświata od przesunięcia ku czerwieni $z \sim 1.5$ do $z \sim 0$. To otwiera możliwość badania innych mechanizmów tego spadku, na przykład zmieniającej się gęstości gazu.

Zaproponowałem efektywną metodę wybierania galaktyk, które doświadczyły niedawnego wpływu gazu z przestrzeni międzygalaktycznej (galaktyki, w których wystąpiły błyski gamma). Z tego powodu mogą być one użyte do szczegółowych badań tego kluczowego procesu. Ponadto, przedstawiłem pierwsze obserwacyjne

dowody na to, że w niektórych warunkach gwiazdy mogą się tworzyć z gazu atomowego, a nie z molekularnego. Ten nowy sposób formowania gwiazd faktycznie został przewidziany przez badania teoretyczne.

Przedstawiłem mocne dowody na to, że galaktyki submilimetrowe tworzą najbardziej masywny koniec ciągu głównego galaktyk. To pozwoliło mi na rzucenie światła na ich naturę, ponieważ jest mało prawdopodobne, że aktywność galaktyk ciągu głównego bierze się z gwałtownych procesów, n.p. zderzeń galaktyk, które by przesunęły te galaktyki powyżej ciągu głównego. To umożliwia używanie galaktyk submilimetrowych do ograniczenia parametrów modeli kosmologicznych. Ponadto, przedstawiłem praktyczne sugestie jak obliczyć masy tych galaktyk, co jest ważne dla naukowców zajmujących się i obserwacjami i symulacjami.

Wreszcie, pokazałem, że pył w bardzo odległym Wszechświecie nie mógł być wytworzony przez gwiazdy z asymptotycznej gałęzi olbrzymów. Supernowe mogłyby wytworzyć ten pył, ale tylko jeśli były maksymalnie efektywne, co jest mało prawdopodobne. Z tego powodu wysnułem konkluzję, że pył powstał głównie dzięki innemu nie-gwiazdowemu mechanizmowi, na przykład jego przyrostu w przestrzeni międzygwiazdowej. Jest to ważne, ponieważ pierwszy pył był katalizatorem w formowaniu gazu molekularnego, a więc pomógł w dalszym formowaniu się gwiazd.

5 Pozostałe osiągnięcia naukowe

5.1 Inne kierunki badań

Moją niezależną karierę naukową zacząłem już w czasie studiów doktoranckich kiedy zaproponowałem projekty o galaktykach submilimetrowych, mimo że w Kopenhadze nie było ekspertów w tej dziedzinie (Michałowski et al., 2010a,c, 172 i 110 cytowań). Od tamtego czasu kierowałem dwoma dużymi radiowymi projektami obserwacyjnymi pracując z grupą naukowców, którzy mieli za zadanie częściową redukcję i analizę danych (Michałowski et al., 2012c, 2015). Kierowałem też interdyscyplinarnym (obserwacje+symulacje) projektem mającym na celu scharakteryzowanie ograniczeń w mierzeniu całkowitych mas gwiazd w galaktykach submilimetrowych (Michałowski et al., 2012a, 2014a). Teraz kieruję kampaniami obserwacyjnymi galaktyk w których wybuchły błyski gamma i galaktyk nieprodukujących aktualnie gwiazd. Troje z moich studentów licencjackich napisało pierwszo-autorskie publikacje bazując na projektach kierowanych przeze mnie (Kohn et al., 2015; Spring & Michałowski, 2017, Okalidis, Michałowski, in prep.). Doktorant, którego byłem promotorem pomocniczym (promotorem głównym był J. Dunlop) opublikował dwa artykuły (Koprowski et al., 2014, 2016). Doktorant z INAOE w Meksyku opublikował artykuł bazujący na moim pomysłe i na wniosku obserwacyjnym, który napisałem (Zavala et al., 2015). Zdobyłem grant Carnegie Trust Research Incentive na zatrudnienie postdoka. Aktualnie przeprowadzam rekrutację postdoka z kierowanego przeze mnie grantu NCN Marie Skłodowska-Curie POLONEZ.

Prowadzę badania nad kilkoma innymi tematami, które nie wpisują się w temat przedstawionego habilitacyjnego osiągnięcia naukowego. Badałem radiowe własności galaktyk, w których wybuchły błyski gamma, stwierdzając, że są one spójne z innymi gwiazdotwórczymi galaktykami (Michałowski et al., 2012c; Greiner et al.,

2016). To oznacza, że błyski gamma mogą być używane jako narzędzie do badań procesów gwiazdotwórczych we Wszechświecie.

Miałem też znaczny wkład w pracę nad krótkimi błyskami gamma (o długości trwania mniej niż 2s, które uważa się za zderzenia czarnych dziur lub gwiazd neutronowych). W Nicuesa Guelbenzu et al. (2014) i Nicuesa Guelbenzu et al. (2015) pokazaliśmy bardzo aktywne gwiazdotwórczo galaktyki, w których wybuchły krótkie błyski gamma. To sugeruje, że część gwiazd wybuchających jako krótkie błyski gamma w tak aktywnych galaktykach mogą być powiązane z niedawną aktywnością gwiazdotwórczą, co oznacza, że zderzenie następuje po względnie krótkim czasie.

Jestem też członkiem konsorcjum H-ATLAS, w ramach którego miałem wkład w około 40 publikacji, łącznie z Negrello et al. (2010) opublikowaną w *Science* i mającą ponad 200 cytowań. Nasze główne cele to wyczerpujące badania pyłu w lokalnych galaktykach, a także umożliwienie otrzymania znaczącej próbki rzadkich bardzo zapylnych galaktyk w odległym Wszechświecie, których większość jest soczewkowana.

Jako członek konsorcjum SCUBA-2 Cosmology Legacy Survey kierowałem publikacją omówioną powyżej (H2) i miałem wkład w około 20 innych. Osiągnęliśmy lepsze zrozumienie najbardziej aktywnych gwiazdotwórczo galaktyk, łącznie z aktywnymi jądrami galaktyk.

Mam istotny wkład w badanie błysków gamma i galaktyk, w których one wystąpiły. Miałem kluczową rolę w pierwszym przeglądzie tych galaktyk w dalekiej podczerwieni za pomocą satelity *Herschel*, w którym byłem odpowiedzialny za modelowanie jasności galaktyk (Hunt et al., 2014). Ponadto, jestem członkiem programów mających na celu badanie reprezentatywnych próbek galaktyk, w których wybuchły błyski gamma: TOUGH (Hjorth et al., 2012) i SHOALS (Perley et al., 2016a,b).

Miałem wkład w wiele badań na temat pyłu kosmicznego. Jednym z przykładów jest pierwszy przegląd nieba teleskopem ALMA (Dunlop et al., 2017, cytowany już ponad 50 razy). Byłem odpowiedzialny za wszystkie techniczne szczegóły wniosku obserwacyjnego i za analizę emisji w dalekiej podczerwieni. Mój wkład w inny projekt o emisji pyłu w galaktyce o przesunięciu ku czerwieni $z \sim 7.5$, opublikowany w *Nature* (Watson et al., 2015, cytowany ponad 80 razy) polegał na modelowaniu jasności tej galaktyki.

5.2 Statystyka wszystkich publikacji

Całkowita liczba publikacji	143	(132 po doktoracie)
Całkowita liczba cytowań (16.08.2017, ADS)	4396	
H-index	40	
Sumaryczny impact factor	827.55	
Liczba publikacji pierwszo-autorskich	15	(11 po doktoracie)
Liczba cytowań do pierwszo-autorskich publikacji	801	
H-index (tylko pierwszo-autorskie publikacje)	12	
Sumaryczny impact factor	85.113	

Literatura

- Arabsalmani M., et al., 2015, MNRAS, 454, L51
Bigiel F., et al., 2008, AJ, 136, 2846
Bigiel F., et al., 2010, AJ, 140, 1194
Boissier S., et al., 2013, A&A, 557, A34
Bolatto A.D., et al., 2013, ARA&A, 51, 207
Carilli C.L., Walter F., 2013, ARA&A, 51, 105
Castro-Tirado A.J., et al., 2007, A&A, 475, 101
Chen C.C., et al., 2016, ApJ, 820, 82
D’Elia V., et al., 2010, A&A, 523, A36
D’Elia V., et al., 2014, A&A, 564, A38
Draine B.T., 2009, ASPC, 414, 453
Draine B.T., Salpeter E.E., 1979, ApJ, 231, 438
Dunlop J.S., et al., 2017, MNRAS, 466, 861
Dwek E., et al., 2014, ApJ, 788, L30
Elliott J., et al., 2013, A&A, 556, A23
Elmegreen B.G., et al., 2016, ApJ, 823, 26
Friis M., et al., 2015, MNRAS, 451, 4686
Fruchter A.S., et al., 2006, Nat, 441, 463
Fumagalli M., Gavazzi G., 2008, A&A, 490, 571
Fynbo J.P.U., et al., 2006, A&A, 451, L47
Gall C., et al., 2011, A&AR, 19, 43
Glover S.C.O., Clark P.C., 2012, MNRAS, 421, 9
Greiner J., et al., 2016, A&A, 593, A17
Han X.H., et al., 2010, A&A, 514, A24
Hashimoto T., et al., 2015, ApJ, 806, 250
Hatsukade B., et al., 2014, Nat, 510, 247
Hauser M.G., Dwek E., 2001, ARA&A, 39, 249
Hayward C.C., et al., 2013, MNRAS, 428, 2529
Hjorth J., Bloom J.S., 2012, Cambridge University Press, 169
Hjorth J., et al., 2003, Nat, 423, 847
Hjorth J., et al., 2012, ApJ, 756, 187
Hu C.Y., et al., 2016, MNRAS, 458, 3528
Hunt L.K., et al., 2014, A&A, 565, A112
Japelj J., et al., 2016, A&A, 590, A129
Kohn S.A., et al., 2015, MNRAS, 448, 1494
Koprowski M.P., et al., 2014, MNRAS, 444, 117
Koprowski M.P., et al., 2016, MNRAS, 458, 4321
Krühler T., et al., 2012, A&A, 546, A8
Krühler T., et al., 2013, A&A, 557, A18
Krumholz M.R., 2012, ApJ, 759, 9
Levesque E.M., et al., 2010a, AJ, 139, 694
Levesque E.M., et al., 2010b, ApJ, 712, L26
Martin D.C., et al., 2014, ApJ, 786, 106
Michałowski M.J., 2015, A&A, 577, A80
Michałowski M.J., et al., 2010a, A&A, 514, A67
Michałowski M.J., et al., 2010b, A&A, 522, A15
Michałowski M.J., et al., 2010c, ApJ, 712, 942

Michałowski M.J., et al., 2012a, A&A, 541, A85
Michałowski M.J., et al., 2012b, MNRAS, 426, 1845
Michałowski M.J., et al., 2012c, ApJ, 755, 85
Michałowski M.J., et al., 2014a, A&A, 571, A75
Michałowski M.J., et al., 2014b, A&A, 562, A70
Michałowski M.J., et al., 2015, A&A, 582, A78
Michałowski M.J., et al., 2016, A&A, 595, A72
Michałowski M.J., et al., 2017, MNRAS, 469, 492
Modjaz M., et al., 2008, AJ, 135, 1136
Mortlock D.J., et al., 2011, Nat, 474, 616
Negrello M., et al., 2010, Science, 330, 800
Nicuesa Guelbenzu A., et al., 2014, ApJ, 789, 45
Nicuesa Guelbenzu A., et al., 2015, A&A, 583, A88
Perley D.A., et al., 2013, ApJ, 778, 128
Perley D.A., et al., 2015, ApJ, 801, 102
Perley D.A., et al., 2016a, ApJ, 817, 7
Perley D.A., et al., 2016b, ApJ, 817, 8
Prochaska J.X., et al., 2009, ApJ, 691, L27
Rafelski M., et al., 2016, ApJ, 825, 87
Rauch M., et al., 2016, MNRAS, 455, 3991
Ribaldo J., et al., 2011, ApJ, 743, 207
Riechers D.A., et al., 2013, Nat, 496, 329
Sánchez Almeida J., et al., 2013, ApJ, 767, 74
Sánchez Almeida J., et al., 2014a, A&AR, 22, 71
Sánchez Almeida J., et al., 2014b, ApJ, 783, 45
Sancisi R., et al., 2008, A&AR, 15, 189
Savaglio S., et al., 2012, MNRAS, 420, 627
Schady P., et al., 2015, A&A, 579, A126
Schaye J., et al., 2010, MNRAS, 402, 1536
Schulze S., et al., 2014, A&A, 566, A102
Schulze S., et al., 2015, ApJ, 808, 73
Spring E.F., Michałowski M.J., 2017, MNRAS, 471, L101
Stanek K.Z., et al., 2003, ApJ, 591, L17
Stanway E.R., et al., 2015a, MNRAS, 446, 3911
Stanway E.R., et al., 2015b, ApJ, 798, L7
Stott J.P., et al., 2013, MNRAS, 436, 1130
Tumlinson J., et al., 2007, ApJ, 668, 667
Turner J.L., et al., 2015, Nat, 519, 331
Venemans B.P., et al., 2012, ApJ, 751, L25
Vergani S.D., et al., 2015, A&A, 581, A102
Vreeswijk P.M., et al., 2004, A&A, 419, 927
Wang J., et al., 2015, MNRAS, 453, 2399
Watson D., et al., 2015, Nat, 519, 327
Zavala J.A., et al., 2015, MNRAS, 453, L88