

Uniwersytet Warszawski

Wydział Fizyki

Obserwatorium Astronomiczne

Marcin Nasiłowski

Nr albumu: 258176

Ile nowych i supernowych wykryje misja Gaia?

Praca licencjacka

na kierunku Astronomia

w zakresie Astronomia Obserwacyjna

Praca wykonana pod kierunkiem

Dr hab. Łukasz Wyrzykowski

(Obserwatorium Astronomiczne UW)

Warszawa, grudzień 2016

Oświadczenie kierującego pracą

Potwierdzam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i kwalifikuje się do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie tytułu zawodowego.

Data:

Podpis kierującego pracą:

Oświadczenie autora pracy

Świadom odpowiedzialności prawnej oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa została napisana przeze mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.

Oświadczam również, że przedstawiona praca nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem tytułu zawodowego w wyższej uczelni.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja pracy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Data:

Podpis autora pracy:

Streszczenie

Celem pracy było oszacowanie liczby nowych i supernowych które powinny zostać zaobserwowane przez kosmiczną misję Gaia. Dzięki algorytmowi, stworzonemu przez autora, oszacowano że Gaia powinna obserwować około 970 supernowych rocznie. 89 % z nich powinno być typu Ia. Dzięki analizie krzywych zmian blasku dotychczas obserwowanych nowych oszacowano, że w trakcie jednego roku Gaia powinna zaobserwować około dwudziestu tych zjawisk. W pracy wskazano również przyczyny, dla których liczba dotychczas obserwowanych nowych i supernowych przez Gaię jest mniejsza od przewidywanej.

Słowa kluczowe

Gaia, Supernowe, Nowe

Dziedzina pracy (kody wg programu Socrates-Erasmus)

13.7 Astronomia i Astrofizyka.

Tytuł pracy w języku angielskim

How many novae and supernovae should be detected by Gaia mission.

Spis treści

1. Wstęp	9
1.1. Gaia	9
1.2. Supernowe	10
1.3. Nowe klasyczne	11
2. Liczba obserwowanych supernowych	13
2.1. Założenia	13
2.1.1. Stała Hubble’a	13
2.1.2. Model kosmologiczny	13
2.1.3. Częstotliwość występowania zjawisk we wszechświecie	13
2.1.4. Rozkład jasności absolutnych	14
2.1.5. Dokładność fotometryczna Gaii	15
2.1.6. Częstotliwość obserwacji	15
2.2. Wyznaczenie liczby supernowych	15
2.3. Wyniki	17
2.3.1. Dyskusja wyników	19
3. Liczba Nowych Klasycznych.	21
3.1. Założenia	21
3.1.1. Liczba obserwowalnych nowych	21
3.1.2. Średnie jasności i krzywe blasku nowych	21
3.1.3. Prawdopodobieństwo detekcji nowej	22
3.2. Wyznaczanie liczby Nowych Klasycznych	23
3.2.1. Nowe Klasyczne w Drodze Mlecznej i w Małym i Dużym Obłoku Magellana	23
3.2.2. Nowe Klasyczne w M31, M33	23
3.2.3. Nowe w dalszym wszechświecie	24
3.3. Wnioski	24
4. Podsumowanie	25

Spis rysunków

1.1. Liczba obserwacji danego punktu w ciągu 5 lat trwania misji.	9
1.2. Porównanie widma supernowych w maksimum blasku. Na podstawie danych udostępnionych przez Peter Nugent (Nugent, 2007).	11
1.3. Rozmieszczenie Supernowych na podstawie danych z USC (A Unified Supernova Catalogue). Widoczny pusty obszar w okolicach dysku galaktycznego spowodowany jest ekstynkcją galaktyczną.	11
1.4. Krzywa zmian blasku nowej w gwiazdozbiornie Delfina zaobserwowanej w 2013 roku	12
2.1. Porównanie rozkładu jasności SN obserwowanych z katalogu USC oraz założonego rozkładu jasności absolutnych.	14
2.2. Porównanie widma SN Ia, rzeczywistego i obserwowanego przez sondę Gaia.	16
2.3. Liniami ciągłymi zaznaczono krzywe blasku absolutnego supernowych zastosowane w niniejszej pracy. Przerywanymi - krzywe blasku udostępnione przez Peter Nugent.	16
2.4. Przewidywana liczba obserwowanych supernowych w elemencie objętości o szerokości $\Delta z = 0.001$	18
2.5. Przewidywana skuteczność wykrywania supernowych. W przypadku SN Ia do $z = 0.02$ skuteczność wykrywania obiektów jest większa od 90 %. Dla typów Ibc, IIP, IIL skuteczność spada poniżej 90% przy odpowiednio $z = 0,007$; $z = 0,012$; $z = 0.008$	18
2.6. Przewidywany rozkład jasności absolutnych w maksimum blasku obserwowanych SN typu IIP oraz IIL.	18

2.7. Przewidywany rozkład obserwowanych jasności absolutnych supernowych typu Ia i typu Ibc w maksimum blasku. Widać wyraźną nadreprezentację jasnych obiektów, co biorąc pod uwagę losowe przeszukiwanie nieba nie powinno być zaskoczeniem. Nienaturalne obcięcie rozkładu przewidywanego SN Ibc spowodowane jest założeniem maksymalnej jasności, jaką mogą przyjmować supernowe (nie więcej niż trzy odchylenia standardowe od średniej jasności)	19
3.1. Rozkład jasności nowych w maksimum blasku w funkcji częstości. . . .	21
3.2. Krzywe blasku standardowych nowych (Strope et al., 2010).	22

Spis tablic

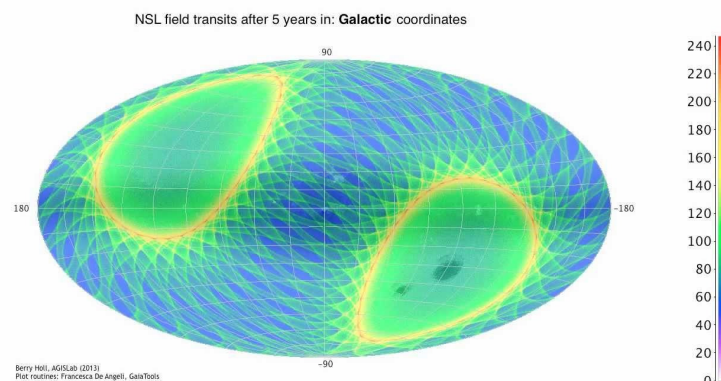
2.1.	Jasność absolutna w maksimum blasku dla supernowych typu Ia, Ibc, IIP oraz IIL (Strolger et al., 2015). W trzecim wierszu znajduje się informacja o tym jaką część CCSN stanowi dany typ. W przypadku SN Ia podana została jasność absolutna z uśrednioną ekstynkcją.	14
2.2.	Liczba obserwowanych supernowych rocznie	17
3.1.	Średnia liczba obserwacji nowych w pobliskich galaktykach i ich jasności.	21
3.2.	rozkład czasu potrzebnego na spadek jasności nowej o 2 mag	22
3.3.	Rozkład jasności obserwowanych nowych w maksimum blasku w galaktykach M31, M33 na podstawie 156 nowych z Optical Nova Catalogue przygotowanego przez High-Energy Group at MPE.	23

1. Wstęp

W grudniu 2013 roku wystartowała kosmiczna sonda Gaia. Przez 3 lata trwania misji zaobserwowano około 800 SN i tylko dwie nowe. Wynik ten jest zdecydowanie mniejszy od przewidywanego. W 2008 r. Altavilla oszacował, że Gaia powinna znajdować około 1200 SN rocznie (Altavilla et al., 2012). Wcześniej w 2003 Belokurov i Evans podali przewidywaną liczbę rocznie obserwowanych SN równą w przybliżeniu 10000 (Belokurov & Evans, 2003). Ze względu na te różnice, w niniejszej pracy, postanowiono ponownie wyznaczyć liczbę przewidywanych zjawisk i znaleźć przyczyny rozbieżności.

1.1. Gaia

Gaia jest astrometryczną misją, która została zaprojektowana, aby rozwiązać jedno z istotniejszych wyzwań współczesnej astronomii: stworzenie wyjątkowo precyzyjnej, trójwymiarowej mapy dla około miliarda gwiazd z naszej galaktyki. Przegląd ten osiągnie granice jasności 20 mag i astrometryczną dokładność na poziomie $10\mu s$ dla $V = 15$ mag. W trakcie trwania misji zarejestrowane zostaną ruchy gwiazd oraz ich obserwowalne własności fizyczne, takie jak jasność, temperatura, pole grawitacyjne i skład chemiczny. Dodatkowo sonda umożliwi wykrycie i klasyfikację orbitalną tysięcy pozasłonecznych układów planetarnych, a także wykona przegląd około miliona małych ciał naszego układu słonecznego, galaktyk w bliskim wszechświecie oraz odległych kwazarów. Sonda wyposażona jest w dwa zwierciadła o wymiarach 1,5 na 0,5 metra obrócone względem siebie o 106,5 stopnia. Przy rotacji równej jednemu stopniowi na minutę dają one dwie obserwacje, co niecałe dwie godziny. Zestaw takich pomiarów dla jednego punktu jest powtarzany średnio, co 42 dni. Rozkład liczby obserwacji danego punktu przedstawia rysunek 1.1.



Rysunek 1.1: Liczba obserwacji danego punktu w ciągu 5 lat trwania misji.

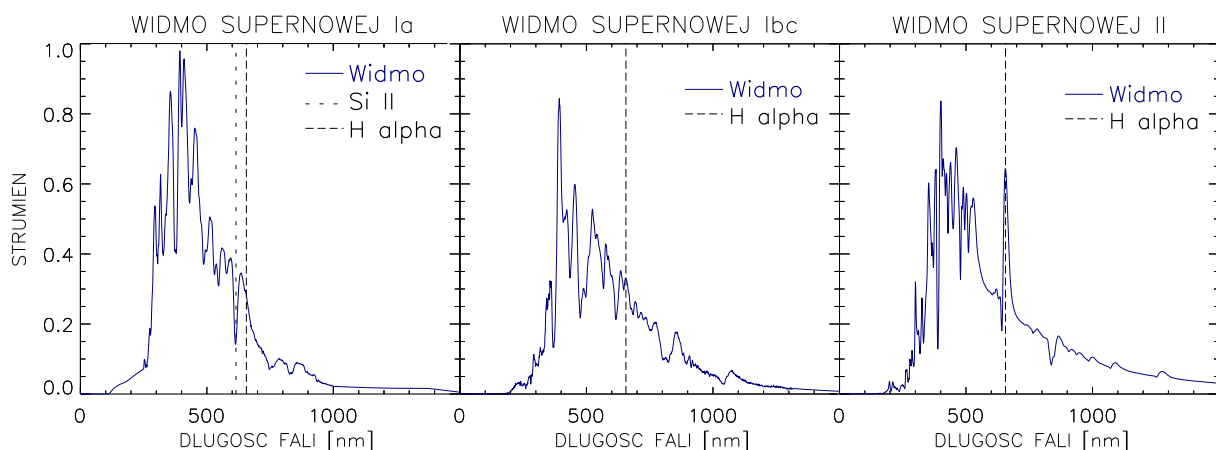
Każda obserwacja będzie automatycznie porównywana z poprzednimi. Jeżeli Gaia wykaże istotną różnicę między starymi i nowymi danymi, obiekt będzie poddawany dalszej analizie. Wykorzystywane przy tym będą dane z innych przeglądów nieba oraz informacje zebrane przez sieci obserwatoriów naziemnych np. z obserwatorium w Ostrowiku. Wśród obserwowanych zjawisk znajdują się również te gwałtowne z bardzo krótkim czasem charakterystycznym, czyli zjawiska przejściowe.

1.2. Supernowe

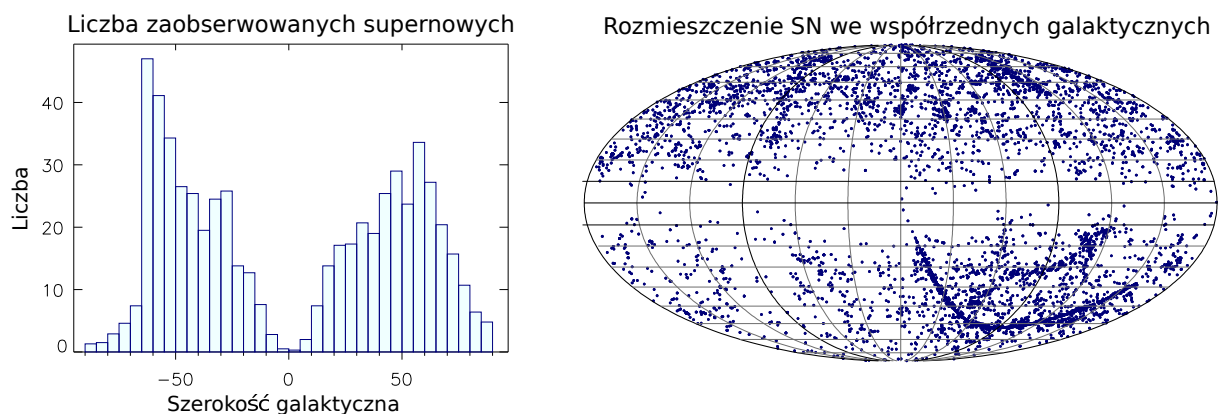
Jednym ze zjawisk przejściowych obserwowanych przez Gaię, są supernowe, czyli kilka rodzajów bardzo mocnych kosmicznych eksplozji. Ze względu na linie widoczne w ich widmie, zostały one podzielone na kilka typów (rysunek 1.2).

- Supernowe typu Ia charakteryzują się brakiem obecności wodoru i helu oraz absorpcyjną linią krzemu na długości 614.0 nm. Powstają, gdy biały karzeł przekroczy masę Chandrasekhara, co doprowadza do wybuchu termojądrowego. Dzięki swej wyjątkowej jednorodności i wysokiej jasności absolutnej, często są wykorzystywane jako świece standardowe.
- Supernowe typu Ibc powstają w wyniku zapaści jądra masywnych gwiazd, które odrzuciły otoczkę wodorową, typ Ib lub otoczkę Helową, typ Ic. W ich widmach nie ma widocznych śladów wodoru oraz nie występują linie krzemu.
- Supernowe typu II powstają w wyniku zapaści jądra gwiazd, które nie odrzuciły zewnętrznej warstwy wodoru. W związku z tym w ich widmach linie tego pierwiastka są widoczne. Typ drugi również można podzielić na podtypy, tym razem ze względu na kształty krzywej zmian blasku.
 - Typ IIL. Widoczne wąskie linie emisyjne oraz spadek jasności, który jest w przybliżeniu liniowy.
 - Typ IIP. Spadek jasności zatrzymuje się na pewien czas. W maksimum są trochę ciemniejsze od wspomnianych wyżej.

Ze względu na swą dużą jasność supernowe są widoczne przez Gaię nawet z odległości 800 Mpc. Przy takich dystansach można je traktować, jako anizotropowo rozłożone w przestrzeni i tylko dysk Drogi Mlecznej sprawia, że do ± 10 stopnia szerokości galaktycznej zjawisk tych praktycznie się nie obserwuje (rysunek 1.3).



Rysunek 1.2: Porównanie widma supernowych w maksimum blasku. Na podstawie danych udostępnionych przez Peter Nugent (Nugent, 2007).

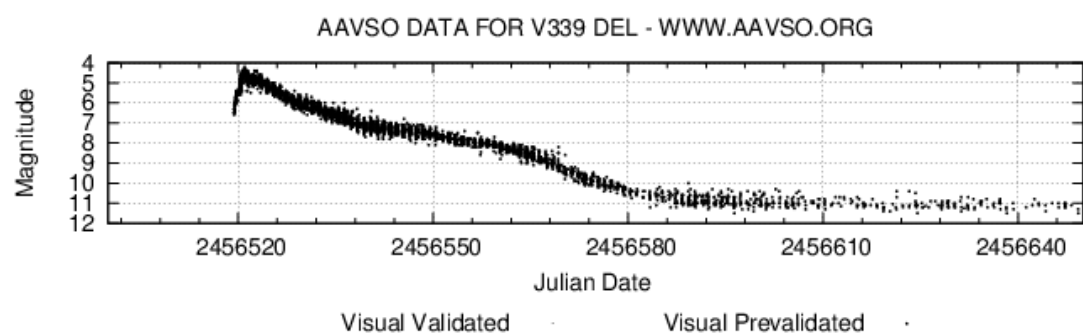


Rysunek 1.3: Rozmieszczenie Supernowych na podstawie danych z USC (A Unified Supernova Catalogue). Widoczny pusty obszar w okolicach dysku galaktycznego spowodowany jest ekstynkcją galaktyczną.

1.3. Nowe klasyczne

Drugim typem zjawisk przejściowych omawianych w tej pracy są nowe. Powstają one w układach podwójnych złożonych z białego karła i gwiazdy ciągu głównego. Wodór i hel opadający na białego karła tworzy warstwę gazu pod wysokim ciśnieniem i o wysokiej temperaturze. Gdy wewnątrz tej warstwy powstaną warunki sprzyjające zapłonowi wodoru na całej powierzchni następuje gwałtowny wybuch termojądrowy. W jego wyniku część masy jest odrzucana, a na białym karle gromadzi się kolejna warstwa wodorowo helowa.

Ze względu na kształt krzywej zmian blasku nowe można podzielić na 7 typów (Strope et al., 2010). Dla celów poniższej pracy założono, że wszystkie z nich są zbliżone do krzywej blasku nowej zaobserwowanej w gwiazdozbiornie Delfina w 2013 roku (rysunek 1.4).



Rysunek 1.4: Krzywa zmian blasku nowej w gwiazdozbiornie Delfina zaobserwowanej w 2013 roku

2. Liczba obserwowanych supernowych

2.1. Założenia

W pierwszym etapie badań należy przyjąć założenia dotyczące obiektu obserwowanego, przyrządów pomiarowych i środowiska w którym dokonuje się obserwacji. Następnie na podstawie wyznaczonych wytycznych można w sposób standaryzowany wyznaczyć liczbę supernowych.

2.1.1. Stała Hubble’a

Stała Hubble’a jest jedną z fundamentalnych stałych fizycznych. Określa ona tempo rozszerzania się wszechświata. W niniejszej pracy przyjęto jej wartość zgodną z wielkością opartą na obserwacji mikrofalowego promieniowania tła wykonanego przez WMAP $H_0 = 70.4(km/s)/Mpc$ (Jarosik et al., 2011). Inne misje z ostatnich pięciu lat podawały jej wartość w granicach od $H_0 = 67,6^{+0.7}_{-0.06}(km/s)/Mpc$ na podstawie danych z SDSS-III (Grieb et al., 2016) do $H_0 = 73,0 \pm 1,75(km/s)/Mpc$ na podstawie danych z teleskopu Hubble’a (Riess et al., 2016).

2.1.2. Model kosmologiczny

Kolejne założenia to model kosmologiczny i zależność między jasnością obserwowaną a odległością. Kształt przestrzeni ma wpływ na sposób rozchodzenia się światła, zmniejszenia się strumienia wraz z odległością i zależność rozmiarów kątowy obiektów od odległości. W powyższej pracy przyjęto, że wszechświat jest płaski i opisują go następujące parametry kosmologiczne: $\Omega_M = 0,286$ i $\Omega_V = 0,714$ (Bennett et al., 2014). Opierając się na kalkulatorze kosmologicznym¹ (Wright, 2006) zastosowano następujące przybliżenie:

$$R(z) = \frac{zC}{H_0} \quad D_L(z) = \frac{zC}{H_0}(1 + 0.8z) \quad (2.1)$$

2.1.3. Częstotliwość występowania zjawisk we wszechświecie

Na podstawie (Dilday et al., 2010) dla SN Ia częstotliwość występowania przyjęto,

$$\rho_{SNIa} = 0.343 * ((1 + z)/1.21)^{2.04} \times 10^{-4}/rok/Mpc^3 \quad (2.2)$$

Dla pozostałych

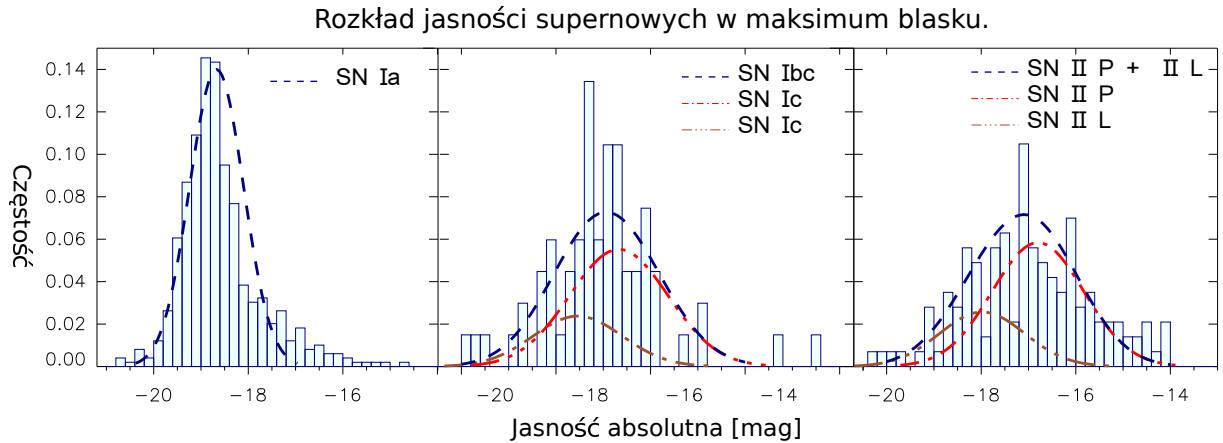
$$\rho_{CCSN} = 0,72 * (1 + z)^{4.3} \times 10^{-4}/rok/Mpc^3 \quad (2.3)$$

Przy czym 52.4% jest typu IIP 23.1% IIL oraz 24,5 % Ib.c.(Strolger et al., 2015).

¹<http://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html>

2.1.4. Rozkład jasności absolutnych

Nawet supernowe Ia stosowane często jako świece standardowe nie mają zawsze takiej samej jasności. Co więcej Gaia nie będzie obserwowała tych obiektów w pustej przestrzeni tylko we wszechświecie wypełnionym pyłem, który sprawia, że gwiazdy wydają się słabsze i bardziej czerwone niż w rzeczywistości. W związku z tym, jako jasność absolutną z uśrednioną ekstynkcją przyjęto średnią jasność absolutną supernowych Ia wyznaczoną na podstawie danych z katalogu USC. W obliczeniach uwzględniono tylko supernowe z wyznaczonym przesunięciem ku czerwieni i te obserwowane w filtrze V lub g. Porównując otrzymaną jasność z jasnością absolutną SN Ia w filtrze G (Belokurov & Evans, 2003) otrzymano uśrednioną ekstynkcję równą 0.32 mag. Dla pozostałych typów, przyjęto rozkład zgodny z (Strolger et al., 2015), a uśrednioną ekstynkcję taką samą jak w przypadku SN Ia. Otrzymane wartości umieszczono w tablicy 2.1. Porównanie rozkładu jasności SN obserwowanych z katalogu USC oraz założonego rozkładu jasności absolutnych przedstawia rysunek 2.1.



Rysunek 2.1: Porównanie rozkładu jasności SN obserwowanych z katalogu USC oraz założonego rozkładu jasności absolutnych.

Tablica 2.1: Jasność absolutna w maksimum blasku dla supernowych typu Ia, Ibc, IIP oraz IIL (Strolger et al., 2015). W trzecim wierszu znajduje się informacja o tym jaką część CCSN stanowi dany typ. W przypadku SN Ia podana została jasność absolutna z uśrednioną ekstynkcją.

Typ	Ia	Ibc	IIL	IIP
Średnia jasność [mag]	-18,67(0,55)	-16,67(1.04)	-17,98(0,90)	-16,80(0.97)
Częstotliwość		24,5%	23,1%	52,4%

2.1.5. Dokładność fotometryczna Gaii

Aby było możliwe odkrycie supernowej, Gaia musi ją zaobserwować, co najmniej dwa razy i różnica jasności obiektu w tych dwóch obserwacjach musi być większa od dokładności fotometrycznej Gaii. Na podstawie Gaia Science Performance², dokładność ta wynosi:

$$\sigma_G[mag] = 10^{-3} \cdot (0,04895 \cdot x^2 + 1.8633 \cdot x + 0.0001985)^{1/2} \quad (2.4)$$

gdzie

$$x = MAX[10^{0.4 \cdot (12-15)}, 10^{0.4 \cdot (G-15)}] \quad (2.5)$$

Dla obiektów o jasności $G = 12$ mag, $\sigma_{G=12} = 3 \cdot 10^{-4} mag$. Dla $G = 20$ mag $\sigma_{G=20} = 7 \cdot 10^{-2} mag$.

2.1.6. Częstotliwość obserwacji

W niniejszej pracy przyjęto następujący rozkład czasu pomiędzy obserwacjami danego punktu na niebie: 0,2% co 81 dni, 15,4% co 52 dni, 56,6% co 44 dni, 20,1% co 36 dni, 5,7% co 28 dni, 2% co 22 dni.

2.2. Wyznaczenie liczby supernowych

Pierwszym krokiem jest uwzględnienie wpływu przesunięcia ku czerwieni oraz filtru zastosowanego w sondzie $G(\lambda)$ na obserwowane widmo obiektu.

$$f_G(\lambda, t, z) = f\left(\frac{\lambda}{z+1}, t\right) \cdot G(\lambda) \quad (2.6)$$

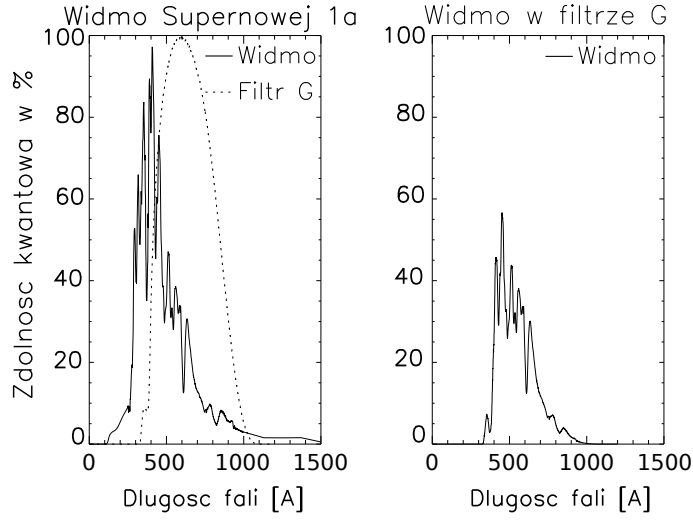
Efekt zastosowanego filtru na obserwowane widmo przedstawia rysunek 2.2 Następnie wyznaczono strumień bolometryczny.

$$F_G(t, z) = \int f(\lambda, z, t) d\lambda \quad (2.7)$$

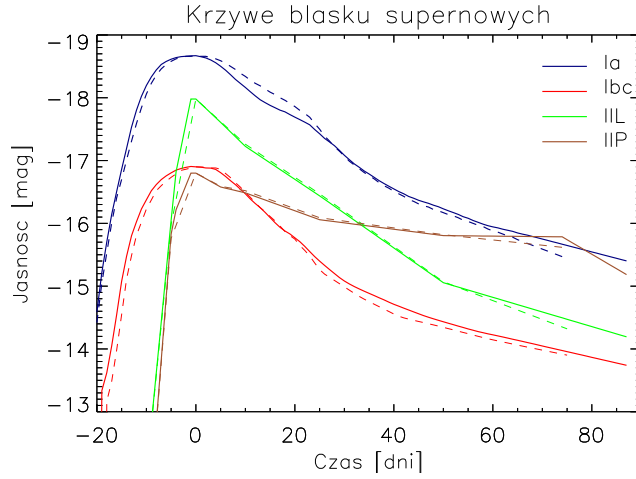
Uwzględniając strumień bolometryczny w maksimum blasku F_{max} oraz jasność absolutną w tym momencie M_{max} można wyznaczyć krzywą zmian blasku supernowych obserwowanych przez Gaię z dowolnej odległości (rysunek 2.3).

$$m_G(t, z) = -2.5 \log\left(\frac{10pc \cdot F_G(t, z)}{F_{max} \cdot DL(z)}\right) + M_{max} \quad (2.8)$$

²<http://www.cosmos.esa.int/web/gaia/science-performance>



Rysunek 2.2: Porównanie widma SN Ia, rzeczywistego i obserwowanego przez sondę Gaia.



Rysunek 2.3: Liniami ciągłymi zaznaczono krzywe blasku absolutnego supernowych zastosowane w niniejszej pracy. Przerywanymi - krzywe blasku udostępnione przez Peter Nugent.

Kolejnym krokiem jest wyznaczenie czasu, przez jaki Gaia będzie mogła zaobserwować daną SN: $T(z)$. Jeżeli jasność obiektu zmienia się dostatecznie szybko, to do detekcji obiektu wystarczy para obserwacji w odstępie dwóch godzin.

$$P(A)(z) = \frac{T(z)}{\Delta T} \quad (2.9)$$

Do odkrycia może dojść również jeżeli uda się dokonać dwóch par obserwacji.

$$P(B)(z) = \frac{T(z) - \Delta T}{\Delta T} \quad (2.10)$$

ΔT : to czas potrzebny na powtórzenie pary obserwacji. Łącznie prawdopodobieństwo

detekcji wynosi:

$$P(z) = P(A \cup B)(z) \quad (2.11)$$

Ostatecznie ilość obserwowanych supernowych opisywana jest wzorem:

$$N = \int P(z) \rho dV(z) \quad (2.12)$$

Gdzie dV jest elementem objętości wszechświata, a ρ częstotliwością występowania SN we wszechświecie. Przy szacowaniu ostatecznej liczby SN przyjęto, że w odległości do 10 stopni od płaszczyzny galaktyki supernowe nie będą obserwowane.

2.3. Wyniki

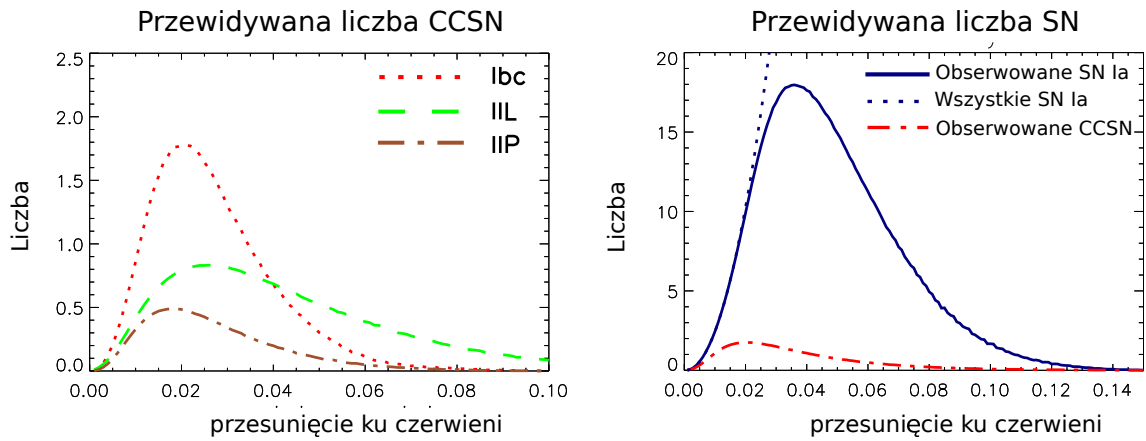
Stosując powyższy algorytm dla czterech typów supernowych oszacowano, że Gaia powinna obserwować 860 SN Ia i 110 CCSN. (tablica 2.2) W tablicy 2.2 umieszczono rów-

Tablica 2.2: Liczba obserwowanych supernowych rocznie

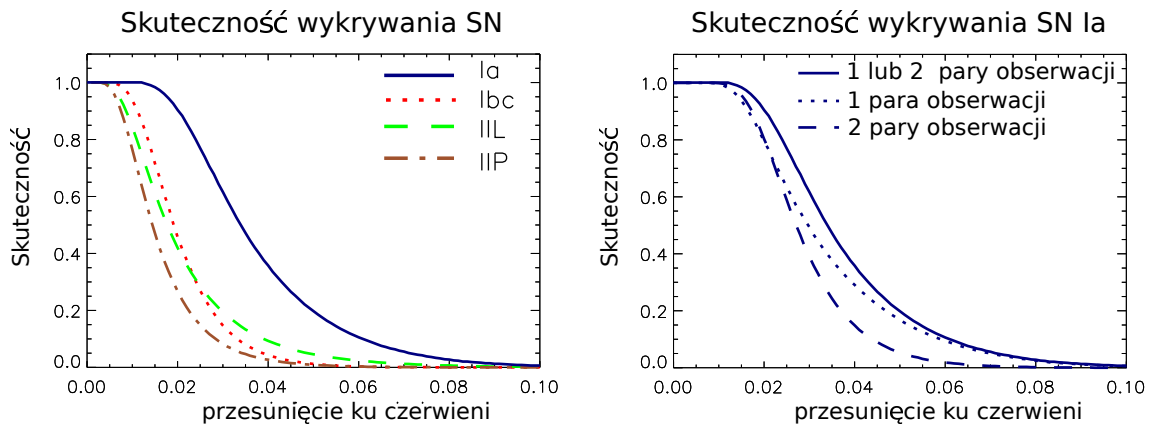
Autor oszacowania	SN Ia	pozostałe SN
Nasilowski 2016 (19 Mag)	860	110 (14 Ib, 52 IIL, 44 IIP)
Nasilowski 2016 (20 Mag)	2200	410 (30 Ib, 160 IIL, 220 IIP)
Belokurov and Evans 2003 (20 Mag)	9600	4810
Altavilla 2012 (19 Mag)	1071	189

nież wyniki otrzymane przez (Belokurov & Evans, 2003) oraz (Altavilla et al., 2012). Różnica między wynikami otrzymanymi przez Altavilla, a otrzymanymi w powyższej pracy może być spowodowana założeniami różnego odstępu czasu między parami obserwacji. Altavilla przyjął 30 dni, w niniejszej pracy założono zaś średnio 42 (Gaia Collaboration et al., 2016). Zastosowanie takiego samego odstępu daje wyniki zbliżone tzn. 1030 SN Ia na rok. W tabeli przedstawiono również przewidywaną liczbę supernowych przy założeniu zasięgu Gaii równego 20 mag. Otrzymany wynik pokazuje jak bardzo zmieniły się oczekiwania w stosunku do Gaii od 2003 roku, czyli z okresu między zaakceptowaniem projektu a jego wdrażaniem.

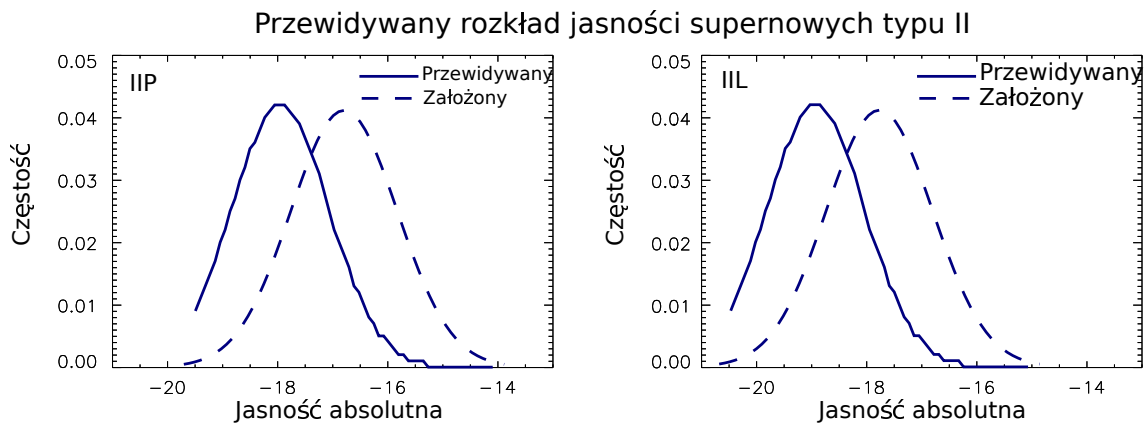
Algorytm zastosowany w pracy pozwolił również wyznaczyć: przewidywaną liczbę obserwacji w zależności od przesunięcia ku czerwieni (rysunek 2.4), skuteczność wykrywania zjawisk w zależności od odległości (rysunek 2.5) oraz przewidywany rozkład jasności absolutnych obserwowanych nowych (rysunek 2.6) i (rysunek 2.7). Po zakończeniu trwania misji wykresy te pozwolą zweryfikować skuteczność i poprawność zastosowanego algorytmu.



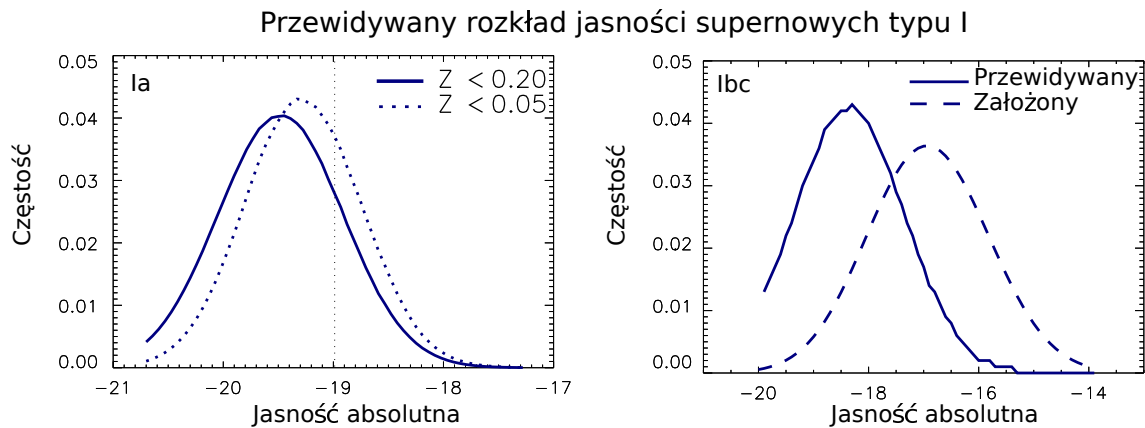
Rysunek 2.4: Przewidywana liczba obserwowanych supernowych w elemencie objętości o szerokości $\Delta z = 0.001$.



Rysunek 2.5: Przewidywana skuteczność wykrywania supernowych. W przypadku SN Ia do $z = 0.02$ skuteczność wykrywania obiektów jest większa od 90 %. Dla typów Ibc, IIP, IIL skuteczność spada poniżej 90% przy odpowiednio $z = 0.007$; $z = 0.012$; $z = 0.008$.



Rysunek 2.6: Przewidywany rozkład jasności absolutnych w maksimum blasku obserwowanych SN typu IIP oraz IIL.



Rysunek 2.7: Przewidywany rozkład obserwowanych jasności absolutnych supernowych typu Ia i typu Ibc w maksimum blasku. Widać wyraźną nadreprezentację jasnych obiektów, co biorąc pod uwagę losowe przeszukiwanie nieba nie powinno być zaskoczeniem. Nienaturalne obcięcie rozkładu przewidywanego SN Ibc spowodowane jest założeniem maksymalnej jasności, jaką mogą przyjmować supernowe (nie więcej niż trzy odchylenia standardowe od średniej jasności)

2.3.1. Dyskusja wyników

W ciągu pierwszych trzech lat sonda Gaia zaobserwowała około 1700 zjawisk przejściowych w tym około 200 supernowych i około 600 zjawisk będących kandydatami na SN (Index to Gaia Photometric Alerts) ³. Liczba 800 SN w ciągu trzech lat trwania misji jest wynikiem zdecydowanie mniejszym od tego otrzymanego w powyższej pracy. Powodem tej różnicy może być:

- Całkowity czas obserwacji nieba. Od startu do grudnia 2016 Gaia obserwowała niebo tylko przez 20 miesięcy.
- Skuteczność wykrywania zjawisk przez Gaię. W pracy założono, że skuteczność ta jest niezmienna w czasie, jednak w rzeczywistości skuteczność ta cały czas się poprawia, np. z marca 2015 roku pochodzi 46 alertów natomiast z marca 2016 -80.
- Dokładność fotometryczna założona w niniejszej pracy jest dokładnością z jaką wyznaczona zostanie jasność danego obiektu. Dokładność robocza jest mniejsza.
- Rozkład jasności absolutnych. Przy wyznaczaniu rozkładu jasności absolutnych SN Ia pominięto, że ze względu na efekty obserwacyjne, w próbce prawdopodobnie znajduje się nadmiar jasnych SN. W związku z powyższym uśredniona ekstynkcja ma zaniżoną wartość.

³<http://gsaweb.ast.cam.ac.uk/alerts/alertsindex>

- Ze względu na złożoność analizy oraz proporcjonalność liczby obserwowanych supernowych do częstotliwości ich występowania, w pracy pominięto niepewność tego drugiego czynnika. W przypadku SN Ia niepewność względna częstotliwości występowania wynosi z góry 15% z dołu 11% (Dilday et al., 2010). W przypadku CCSN jest to około 10% (Strolger et al., 2015). ponieważ szacowana liczba obserwowanych supernowych jest proporcjonalna do częstotliwości występowania SN, to otrzymany wynik również obarczony jest przynajmniej taką samą niepewnością względną.

Biorąc pod uwagę powyższe punkty, można stwierdzić, że otrzymany wynik można zinterpretować jako górne ograniczenie na liczbę obserwowanych supernowych. Wzrost skuteczności wykrywania zjawisk, pozwala sądzić, że w kolejnych latach trwania misji ten limit zostanie osiągnięty.

3. Liczba Nowych Klasycznych.

3.1. Założenia

3.1.1. Liczba obserwowalnych nowych

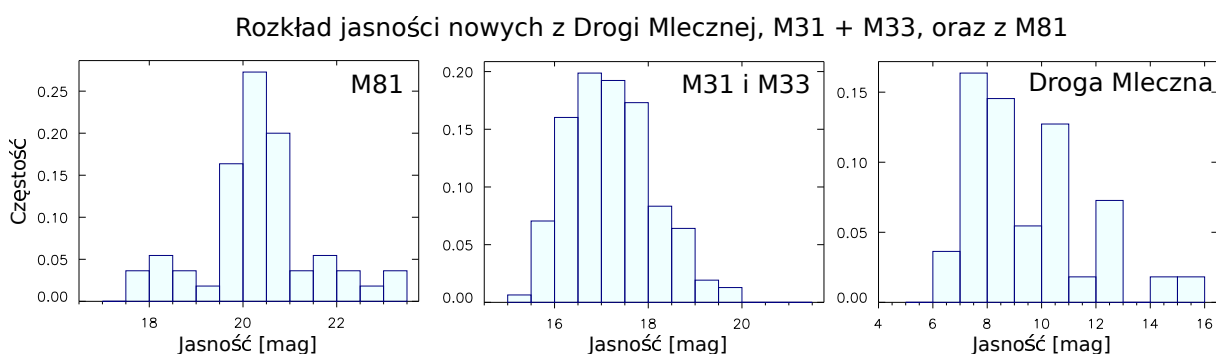
Średnią liczbę obserwowalnych nowych w pobliskich galaktykach oszacowano na podstawie Optical Nova Catalogue¹ (ONC) oraz listy nowych z Central Bureau for Astronomical Telegrams² (CBAT).

Tablica 3.1: Średnia liczba obserwacji nowych w pobliskich galaktykach i ich jasności.

Galaktyka	Nowe rocznie	Średnia jasność obserwowana [mag]
M81	10	20,35(1,15)
M31 i M33	28	17,20(0,99)
SMC	0.75	12,19(1,47)
LMC	1	11,44(1,48)
Droga Mleczna	9	9,29(1,52)

3.1.2. Średnie jasności i krzywe blasku nowych

Na podstawie ONC i CBAT wyznaczono również średnie jasności nowych w maksimum blasku (Tablica 3.1). Przy obliczeniach uwzględniono tylko nowe obserwowane w filtrach g, V i w. Wyjątkiem jest Droga Mleczna, w której rozkład jasności został wyznaczony na podstawie wszystkich obserwacji z lat 1990 - 2010. Rozkład jasności nowych w maksimum blasku przedstawia rysunek 3.1.

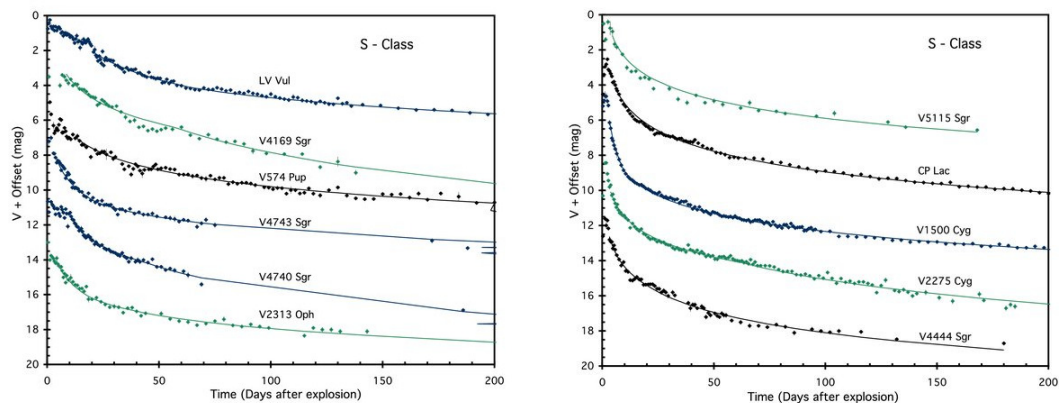


Rysunek 3.1: Rozkład jasności nowych w maksimum blasku w funkcji częstości.

¹<http://www.mpe.mpg.de/~m31novae/opt/index.php?lang=en>

²<http://www.cbat.eps.harvard.edu/novalist.html>

W niniejszej pracy przyjęto, że wszystkie krzywe blasku nowych wyglądają podobnie do tych przedstawionych na rysunku 3.2.



Rysunek 3.2: Krzywe blasku standardowych nowych (Strope et al., 2010).

Przyjęto również, że spadek jasności o 2 magnitudo po maksimum jest liniowy a jego tempo wyznaczono na podstawie analizy 93 krzywych blasku nowych wykonanej przez R.J. Strope (Strope et al., 2010).

Tablica 3.2: rozkład czasu potrzebnego na spadek jasności nowej o 2 mag

T2 [dni]	częstość
1 - 10	0,37
11 - 20	0,18
21 - 30	0,11
31 - 40	0,09
40+	0,25

3.1.3. Prawdopodobieństwo detekcji nowej

Aby Gaia mogła zaobserwować nową, jej jasność musi być mniejsza od 19 mag. Prawdopodobieństwo detekcji wynosi:

$$P = \frac{T}{\Delta T} \quad (3.1)$$

T oznacza czas przez jaki Gaia może odkryć daną nową. $\Delta T = 40dni$ oznacza odstęp między dwiema parami obserwacji.

3.2. Wyznaczanie liczby Nowych Klasycznych

3.2.1. Nowe Klasyczne w Drodze Mlecznej i w Małym i Dużym Obłoku Magellana

Najbliższe i najjaśniejsze obiekty, w których Gaia może znaleźć nowe to Droga Mleczna oraz galaktyki karłowate: Mały i Duży Obłok Magellana. Szacowana ilość nowych w Drodze Mlecznej rocznie wynosi około 50 (Shafter, 2016). Ze względu jednak na materię międzygwiazdową obserwuje się ich zaledwie 9. W Dużym Obłoku Magellana znajduje się średnio 1, a w Małym 0,75 nowych. Średnie jasności odkrywanych nowych w Drodze Mlecznej z lat 2001 - 2010 wynoszą 9,29(1,52) mag. z LMC 11,44(1,48) mag oraz 12,19(1,47) mag w SMC. W nawiasach podano odchylenie standardowe próbki, z której wyznaczono średnią. W związku z tym, że jasności te, znajdują się w zasięgu Gaii (19 mag), to sonda w tych trzech obiektach powinna zobaczyć wszystkie obserwowalne nowe, to znaczy około 11 rocznie.

3.2.2. Nowe Klasyczne w M31, M33

Tablica 3.3: Rozkład jasności obserwowanych nowych w maksimum blasku w galaktykach M31, M33 na podstawie 156 nowych z Optical Nova Catalogue przygotowanego przez High-Energy Group at MPE.

Zakres jasności [mag]	Odsetek	Skuteczność wykrywania
do 16.5	20%	63%
od 16.6 do 17.5	37%	52%
od 17.6 do 18.5	29%	35%
od 18.6 do 19.5	12%	14%
od 19.5	2%	0

Wpływ na detekcję nowej ma jej jasność w maksimum blasku oraz tempo w jakim ta jasność spada. Przykład: nowa o jasności maksymalnej wynoszącej 16 mag i potrzebująca 30 dni by jej jasność spadła do 18 mag. Nowa ta w zasięgu gaii będzie przez 45 dni, w związku z tym prawdopodobieństwo jej odkrycia wyniesie 1.

$$P = \frac{T}{\Delta T} = \frac{45dnia}{40dni} = 1.125 \quad (3.2)$$

Korzystając z rozkładu jasności nowych w M31 i M32, oraz tempa z jakim ta jasność spada, oszacowano, że całkowite prawdopodobieństwo wykrycia nowej przez Gaię w galaktykach M31 i M33 wynosi 46%. Odpowiada to mniej więcej 13 nowym na rok.

3.2.3. Nowe w dalszym wszechświecie

Poza Grupą Lokalną Drogi Mlecznej, również obserwuje się nowe jaśniejsze niż 19 mag. Na przykład w lutym 2014 roku w M81 znaleziono nową o obserwowanej jasności w maksimum wynoszącą 18.2 mag. Oznacza to, że Gaia, teoretycznie będzie w stanie odkryć nowe w galaktykach znajdujących się w odległości mniejszej niż M81 od Drogi Mlecznej, np. NGC 4945, Maffei 2 czy IC 342. Na przykład prawdopodobieństwo wykrycia nowej w M81 wynosi około 2%.

3.3. Wnioski

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki, Gaia powinna obserwować około 13 nowych rocznie z czego większość w Drodze Mlecznej. Do tej pory (grudzień, 2016 r.) Gaia odkryła tylko jedną nową w M31 i jedną nową w Drodze Mlecznej. Jednym z powodów dla którego nowych znajduje się mniej niż przewidziano w powyższej pracy może być fakt, że zjawiska te występują głównie w gęstych polach, w płaszczyźnie Drogi Mlecznej, czy też w innych galaktykach. W miejscach tych oprócz dużej ekstynkcji, występuje również spadek zasięgu Gaii. W bardzo gęstych polach, około 400000 gwiazd na stopień kwadratowy, efektywny zasięg sondy spada o kilka wielkości gwiazdowych, powodując, że nowe z sąsiednich galaktyk będą praktycznie niewidoczne. Zastanawiający jest brak obserwacji nowych w Drodze Mlecznej. Nawet jeżeli zasięg Gaii w gęstych polach będzie wynosił 15 mag, to nadal wszystkie obserwowane do tej pory nowe w Drodze Mlecznej powinny znaleźć się w jej zasięgu. Wiedząc, że 80 % nowych potrzebuje ponad 80 dni by ich jasność spadła o 6 mag, można stwierdzić, że większość obserwowalnych nowych przynajmniej 4 razy znalazła się w polu widzenia sondy. To, że do tej pory w Drodze Mlecznej zaobserwowano tylko jedną nową, może spowodowane być tym, że zjawisk przejściowych, w płaszczyźnie galaktyki, Gaia szuka dopiero od lipca 2016 roku.

4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę przerwy w obserwacjach, w ciągu 5 lat trwania misji, Gaia powinna odkryć nawet 4000 supernowych zwiększając o ponad połowę liczbę znanych obiektów tego typu. Informacje uzyskane dzięki nim pozwolą lepiej poznać ich naturę i pozwolą zweryfikować, czy rzeczywiście są dobrymi świecami standardowymi. Dzięki temu poprawi się dokładność pomiarów odległości we wszechświecie oraz wzrośnie dokładność z jaką znana jest częstotliwość występowania tych zjawisk. Dodatkowe informacje o SN przydadzą się również przy oszacowaniu wartości stałych kluczowych dla kosmologii: stałej Hubble’a, gęstości energii i gęstości materii. Dzięki kilkudziesięciu odkrytym nowym, możliwa będzie lepsza kalibracja obserwacji. Dodatkowo, całościowy przegląd nieba umożliwi znalezienie nowych na całej sferze niebieskiej, a nie tylko w obiektach, w których zazwyczaj szuka się tych zjawisk.

Bibliografia

Altavilla, G., Botticella, M. T., Cappellaro, E., & Turatto, M. 2012, , 341, 163

Belokurov, V. A. & Evans, N. W. 2003, , 341, 569

Dilday, B., Smith, M., Bassett, B., Becker, A., Bender, R., Castander, F., Cinabro, D., Filippenko, A. V., Frieman, J. A., Galbany, L., Garnavich, P. M., Goobar, A., Hopp, U., Ihara, Y., Jha, S. W., Kessler, R., Lampeitl, H., Marriner, J., Miquel, R., Mollá, M., Nichol, R. C., Nordin, J., Riess, A. G., Sako, M., Schneider, D. P., Sollerman, J., Wheeler, J. C., Östman, L., Bizyaev, D., Brewington, H., Malanushenko, E., Malanushenko, V., Oravetz, D., Pan, K., Simmons, A., & Snedden, S. 2010, , 713, 1026

Gaia Collaboration, Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Brown, A. G. A., Vallenari, A., Babusiaux, C., Bailer-Jones, C. A. L., Bastian, U., Biermann, M., Evans, D. W., & et al. 2016, , 595, A1

Grieb, J. N., Sánchez, A. G., Salazar-Albornoz, S., Scoccimarro, R., Croce, M., Dalla Vecchia, C., Montesano, F., Gil-Marín, H., Ross, A. J., Beutler, F., Rodríguez-Torres, S., Chuang, C.-H., Prada, F., Kitaura, F.-S., Cuesta, A. J., Eisenstein, D. J., Percival, W. J., Vargas-Magana, M., Tinker, J. L., Tojeiro, R., Brownstein, J. R., Maraston, C., Nichol, R. C., Olmstead, M. D., Samushia, L., Seo, H.-J., Streblyanska, A., & Zhao, G.-b. 2016, ArXiv e-prints

Jarosik, N., Bennett, C. L., Dunkley, J., Gold, B., Greason, M. R., Halpern, M., Hill, R. S., Hinshaw, G., Kogut, A., Komatsu, E., Larson, D., Limon, M., Meyer, S. S., Nolta, M. R., Odegard, N., Page, L., Smith, K. M., Spergel, D. N., Tucker, G. S., Weiland, J. L., Wollack, E., & Wright, E. L. 2011, , 192, 14

Nugent, P. 2007, Peter Nugent's Spectral Templates

Riess, A. G., Macri, L. M., Hoffmann, S. L., Scolnic, D., Casertano, S., Filippenko, A. V., Tucker, B. E., Reid, M. J., Jones, D. O., Silverman, J. M., Chornock, R., Challis, P., Yuan, W., Brown, P. J., & Foley, R. J. 2016, , 826, 56

- Shafter, A. W. 2016, Accepted for publication in The Astrophysical Journal
- Strolger, L.-G., Dahlen, T., Rodney, S. A., Graur, O., Riess, A. G., McCully, C., Ravindranath, S., Mobasher, B., & Shahady, A. K. 2015, , 813, 93
- Strope, R. J., Schaefer, B. E., & Henden, A. A. 2010, The Astronomical Journal, 140, 34
- Wright, E. L. 2006, The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 118, 1711