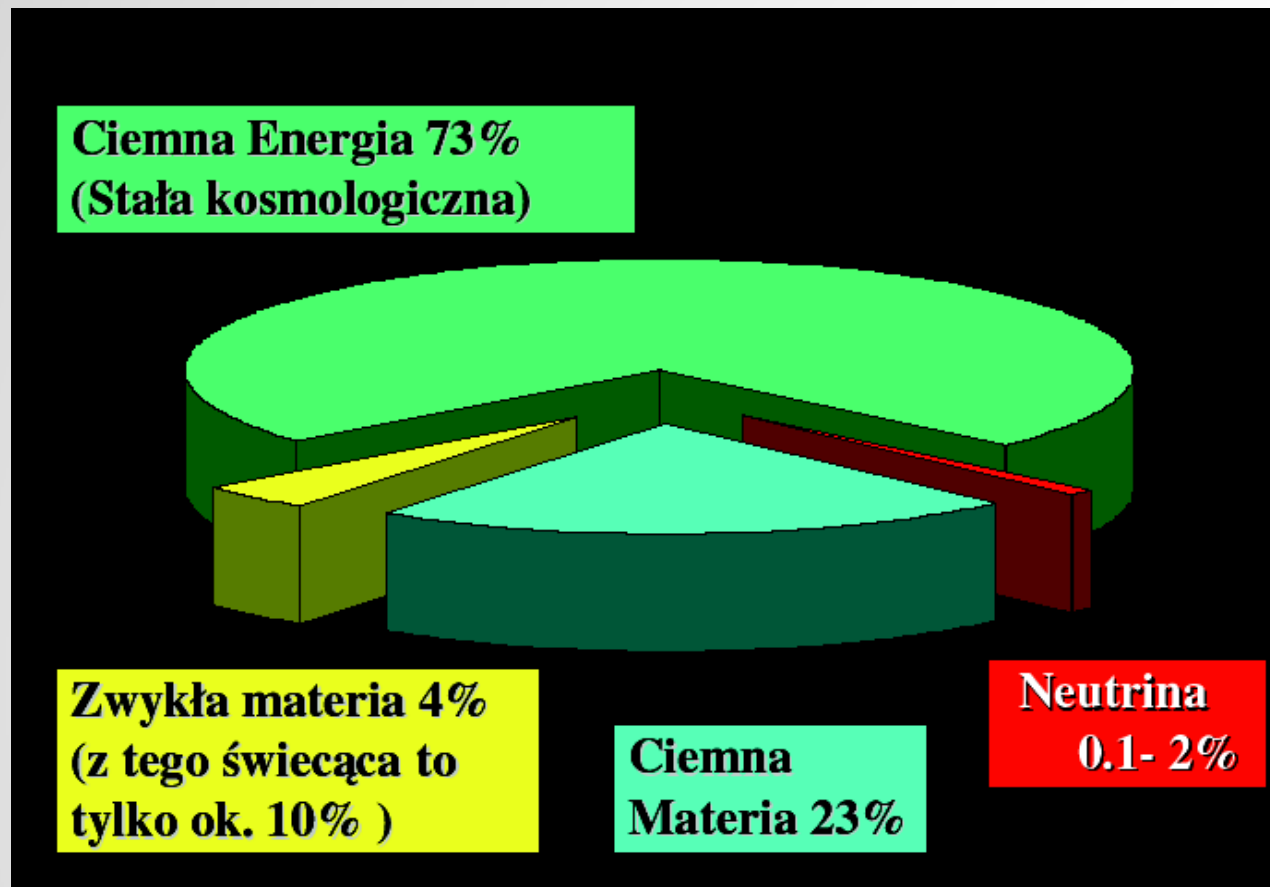


Poszukiwanie Ciemnej Materii w eksperymencie WARP

Model Λ CDM czyli nasz obecny obraz Wszechświata:



Wszechświat jest płaski (w sensie geometrii)
- znamy całkowitą gęstość masy-energii

$$\rho = \rho_{crit} = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

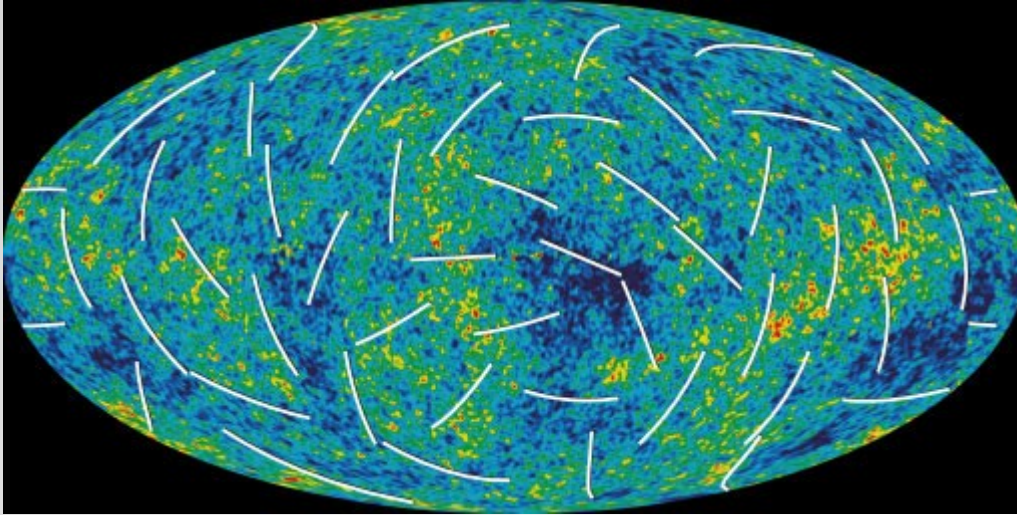
Poszczególne składniki:

$$\Omega_x = \frac{\rho_x}{\rho_{crit}}$$

Nie znamy 95% masy Wszechświata!

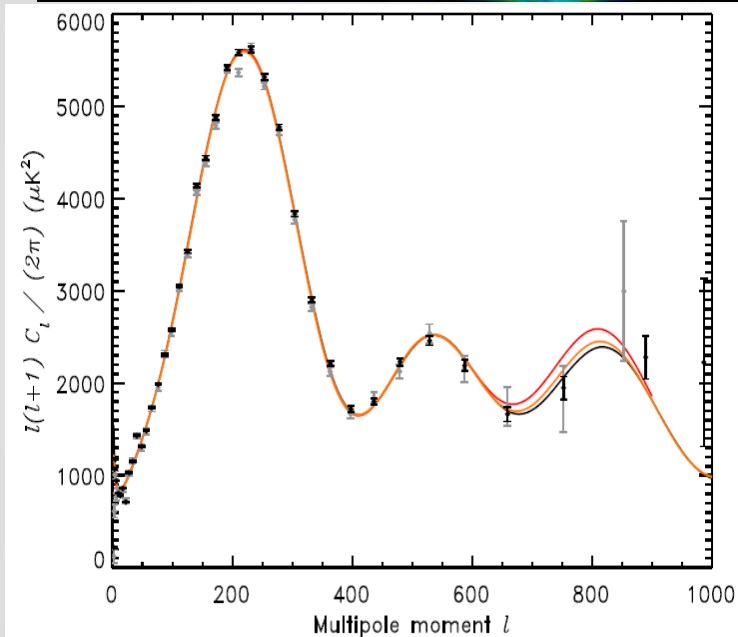
Pomiary kosmologiczne

(Geometria Wszechświata)



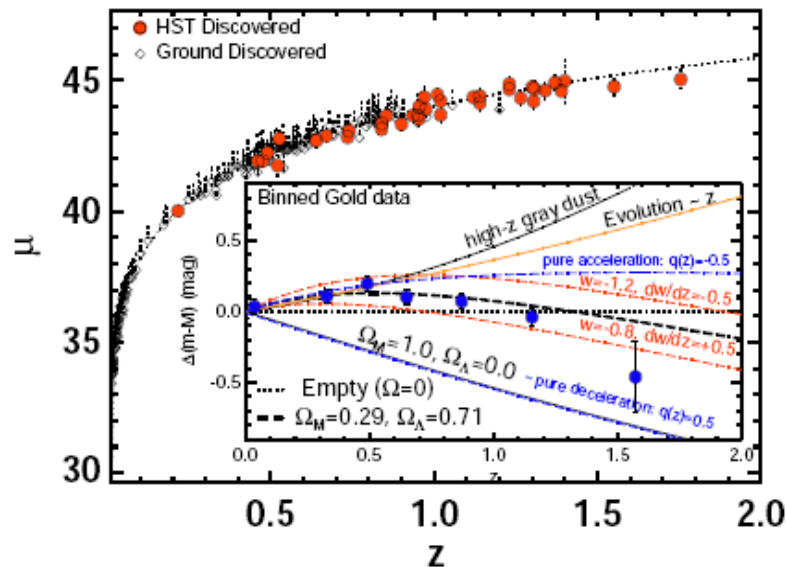
Pomiary kosmologicznego promieniowania tła pozwalają oszacować gęstość masy-energii we Wszechświecie.

Są również inne przesłanki:
np. argument “flatness-oldness”

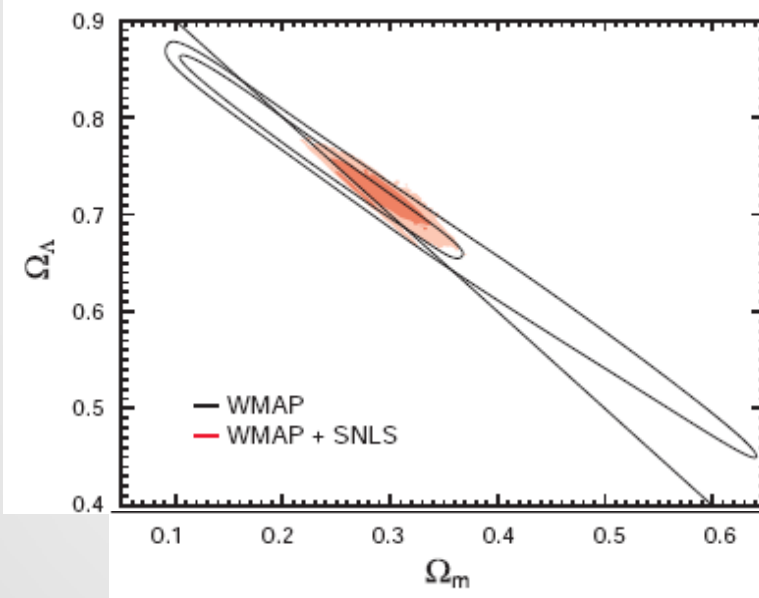


$$\Omega_k = -0.003^{+0.013}_{-0.017}$$

Pomiary kosmologiczne (stała kosmologiczna)



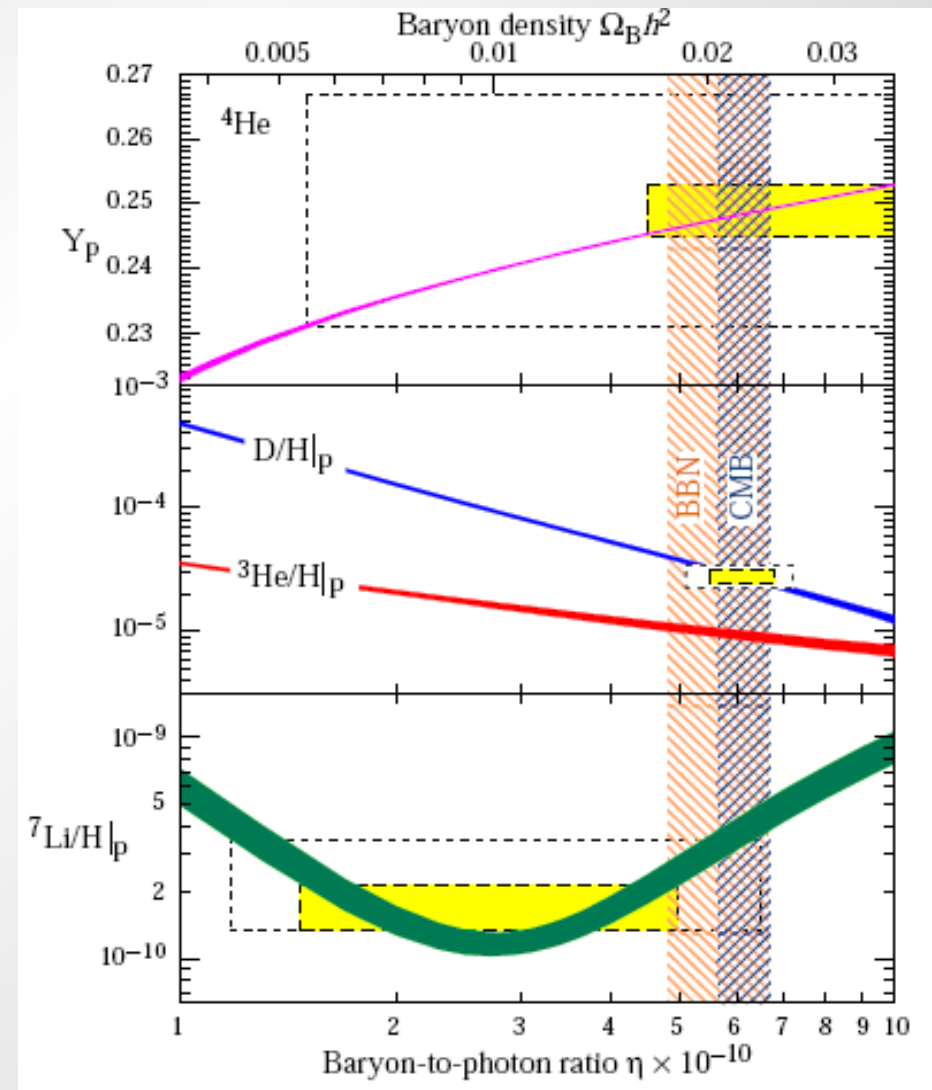
Pomiary zależności jasności i odległości Supernowych Ia sugerują, że ekspansja Wszechświata zamiast zwalniać – przyspiesza.



W połączeniu z wynikami sondy WMAP wymusza to wprowadzenie stałej kosmologicznej Λ stanowiącej ok. 70% gęstości krytycznej.

Pomiary kosmologiczne (materia barionowa)

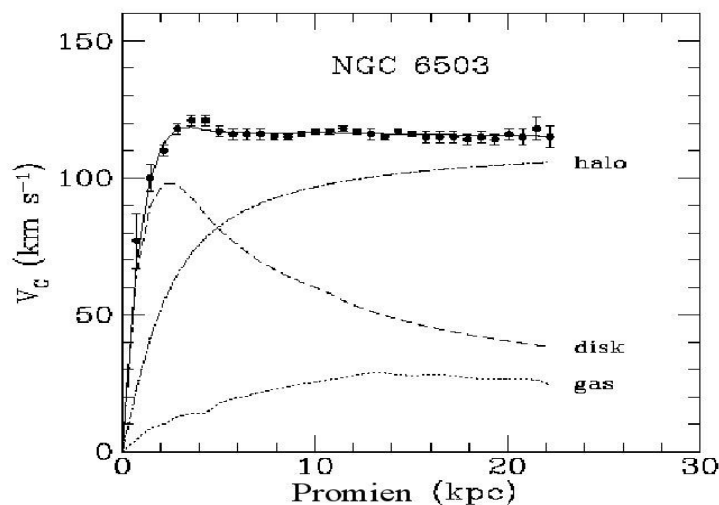
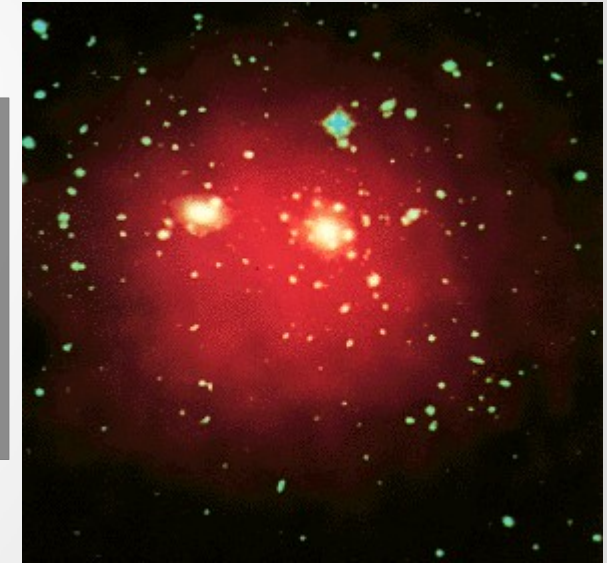
Pomiary zawartości lekkich pierwiastków (H,D,He,Li) w połączeniu z teorią nukleosyntezy ograniczają ilość materii barionowej do ok. 5% gęstości krytycznej.



Pozostałe 25% - Ciemna Materia?

Przesłanki sugerujące istnienie materii nieświecącej pojawiały się już wcześniej:

Dynamika gromad galaktyk
- F. Zwicky, 1933



Obserwacje krzywych rotacji galaktyk

Typowi podejrzani:

Istniejący:

- MACHO
- Neutrino

Dobrze umotywowani:

- Aksjony
- WIMP'y
- KK Dark Matter

Inni:

WIMPzilla, LIMP'y, sterylne neutrino i inne.



Cornelia Parker, Cold Dark Matter:
An Exploded View.

Weakly Interacting Massive Particles

Ciężkie cząstki, które oddzieliły się wcześniej podczas ewolucji Wszechświata i były już zimne podczas rekombinacji.

Supersymetria może dostarczyć kandydata na WIMP'a

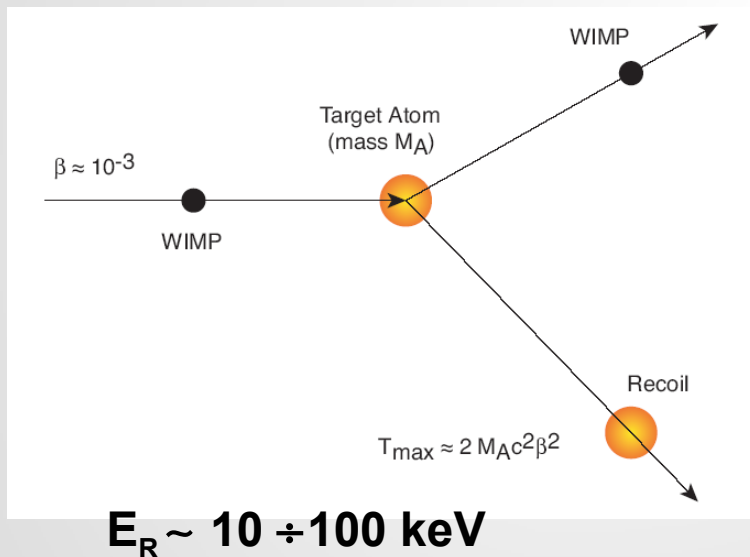
Dla wielu wariantów, w tym $mS\bar{S}M$, najlżejszą cząstką może być neutralino χ .

Jeśli zachowana R-parzystość - neutralino jest stabilne.

Jak szukać WIMP'ów?

Bezpośrednio:
oddziaływanie WIMP-jądro.

Pośrednio:
Poszukiwanie efektów rozpadu



LHC

Co wiemy o WIMP'ach?

Masa $> 50 \text{ GeV}$
przekrój czynny na oddziaływanie
 $10^{-2} \text{ pb} - 10^{-32} \text{ pb} \quad !!!$

Gdzie ich szukać?

Halo Ciemnej Materii Podstawowy model to izotermiczna kula z Maxwellowskim rozkładem prędkości.

Zwarte obiekty, które więżą WIMP'y
- Ziemia, Słońce, Centrum Galaktyki.

Detekcja bezpośrednia:

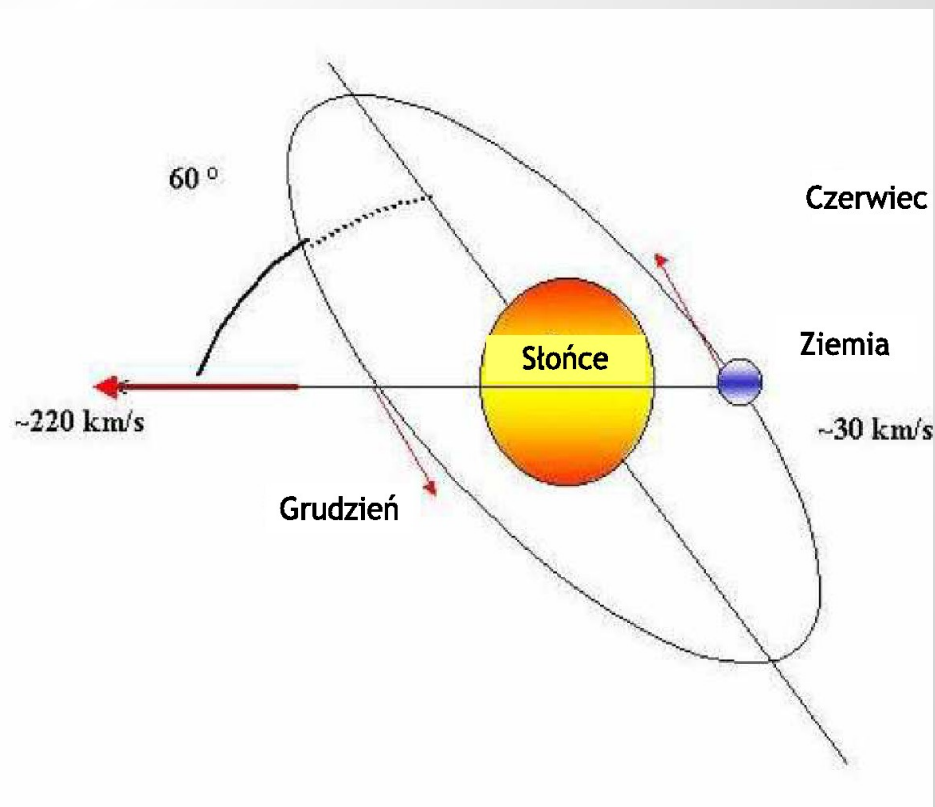
WIMP'y oddziałują z jądrami atomowymi przekazując energię odrzutu

Przewidywania: ilość zdarzeń < 1 /kg/dzień
Energia odrzutu $\sim 10 - 80$ keV

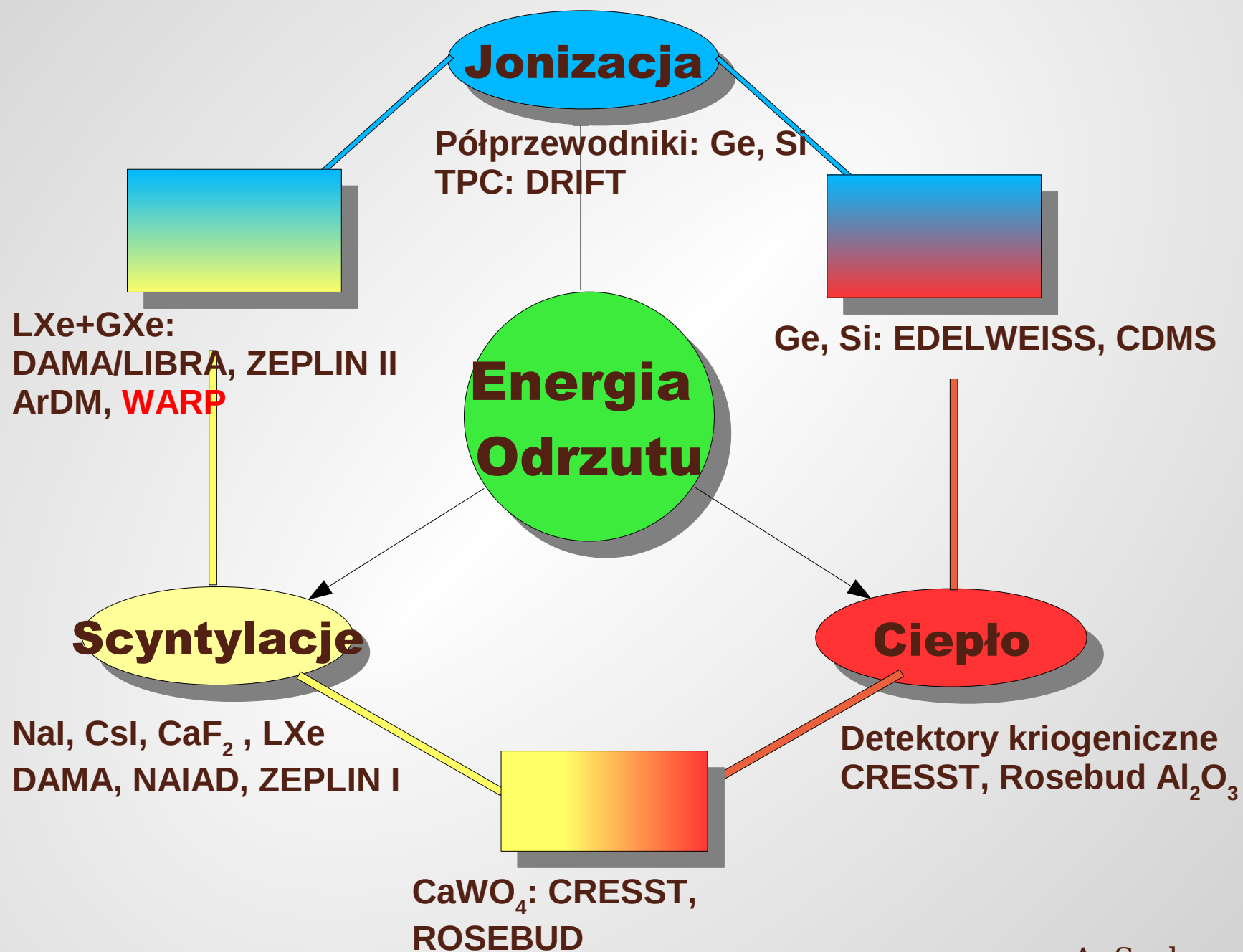
Potrzebne:

- maksymalne obniżenie tła
- Świetna zdolność rozdzielcza
- Cierpliwość lub odpowiednio duży detektor

Możliwa sygnatura:
roczna modulacja sygnału



Metody detekcji bezpośredniej:



Eksperyment WARP

P.Benetti, E.Calligarich, M.Cambiaghi,
L.Grandi, C.Montanari, G.L.Raselli, M.Roncadelli,
M.Rossella, C.Rubbia*, C.Vignoli

INFN and Department of Physics at University of Pavia (Italy)

F.Carbonara, A.G.Cocco, G.Fiorillo, G.Mangano

INFN and Department of Physics at University of Napoli (Italy)

R.Acciarri, F.Cavanna, F.Di Pompeo, N.Ferrari,
A.Ianni, O.Palamara, L.Pandola

Laboratori Nazionali del Gran Sasso, INFN (Italy)

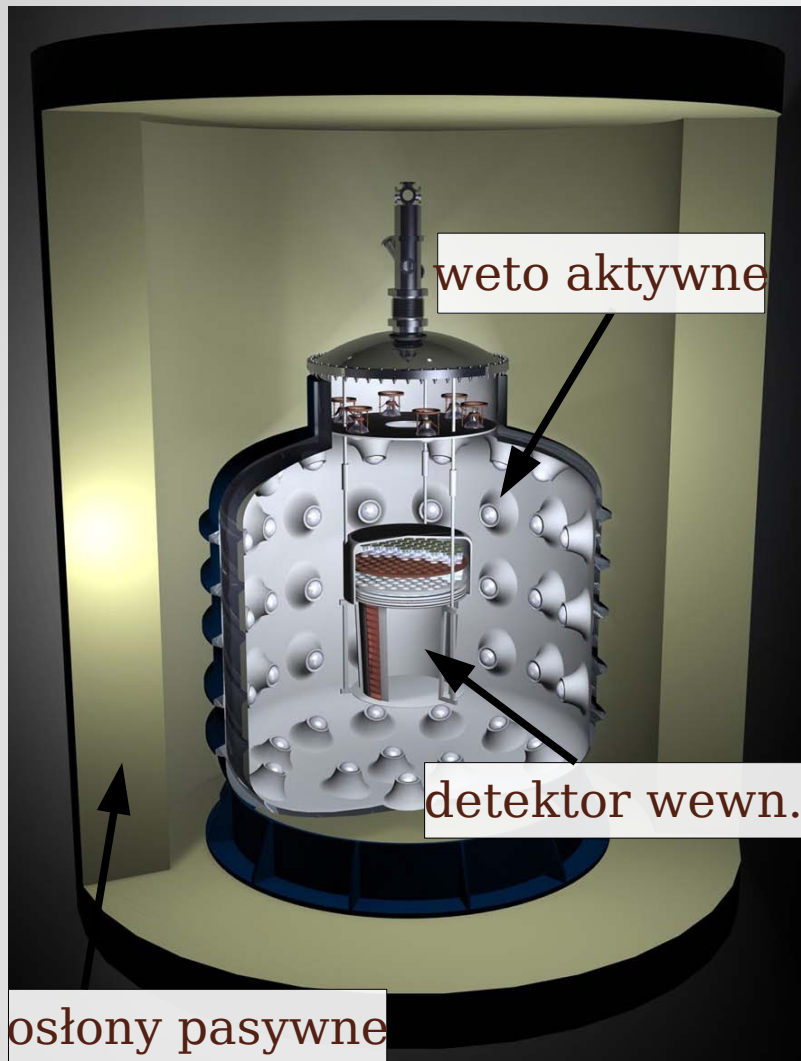
F.Calaprice, C.Galbiati

Department of Physics, Princeton University, New Jersey (USA)

A.M.Szelc

Instytut Fizyki Jadrowej PAN, Krakow (Poland)

detektor WARP



Docelowy detektor WARP powinien zacząć zbierać dane w drugiej połowie 2007 roku.

- 100 litrów argonu dające 140 kg masy detektora
- Detektor z aktywnym weto
- Osłony przeciw neutronom i promieniowaniu gamma
- trójwymiarowa lokalizacja zdarzeń

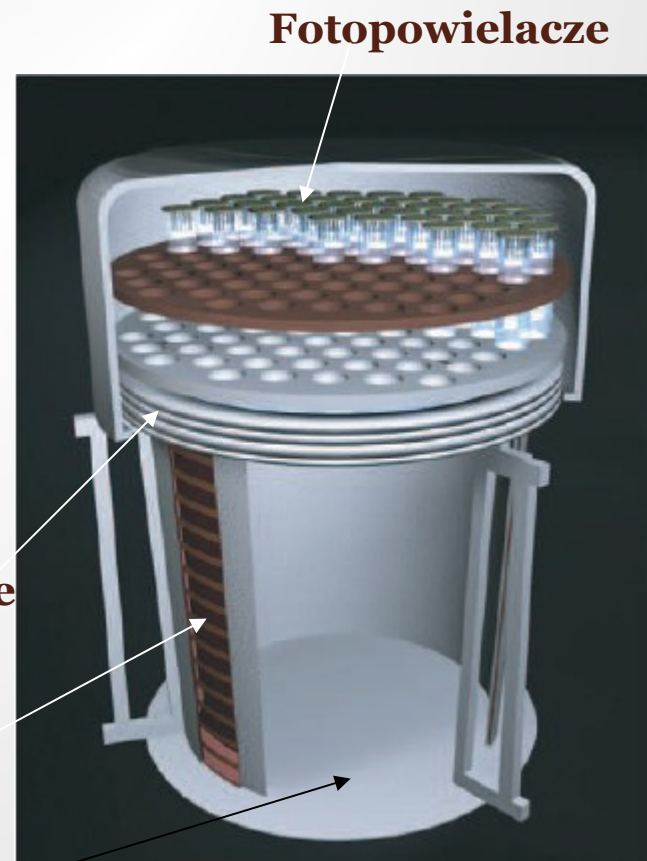
Detektor wewnętrzny

- masa = 140 kg
- Wysokość = 60 cm, Promień = 25 cm
- Układ fotopowielaczy umieszczonych w gazie czułym na promieniowanie ultrafioletowe daje pokrycie ok. 10% powierzchni.
- Pole dryfu = 1 kV/cm

“gridy” ekstrahujące i przyspieszające

elektrody kształtujące
pole elektryczne

Katoda



2.3 litrowy detektor testowy



Prototyp detektora o pojemności 2.3 litra zbiera dane w Gran Sasso od kwietnia 2004.

- wyposażony w 7 2" fotopowielaczy (ETL)
- zasada działania identyczna jak w detektorze głównym.
- maksymalny czas dryfu elektronów: $40 \mu\text{s}$ (wysokość komory 10 cm)
- czystość argonu utrzymywana dzięki recyrkulacji i filtrowaniu.

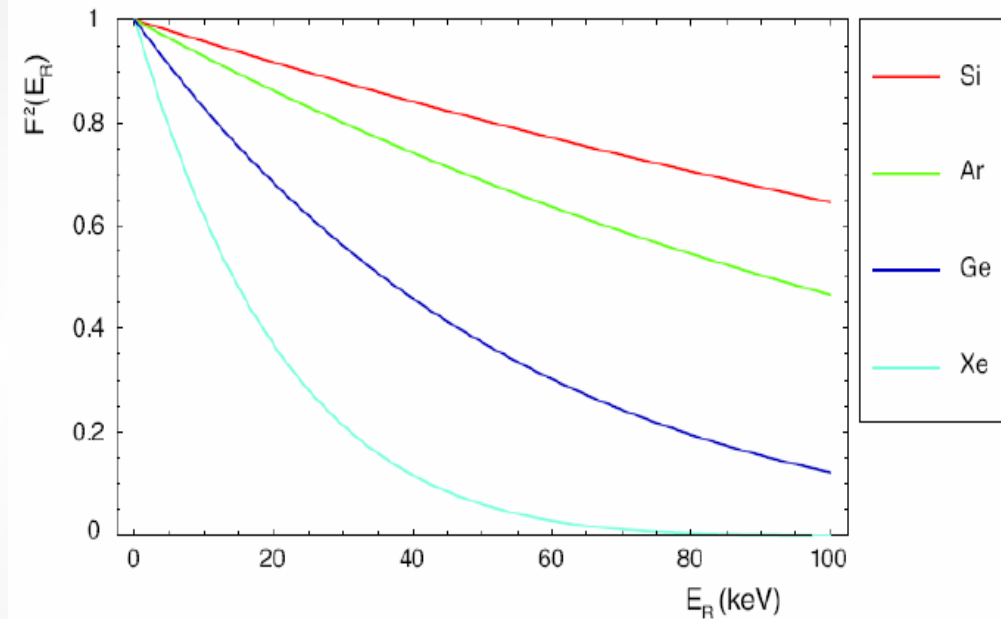
Argon jako tworzywo detektora

$$R(E_1, E_2) = \int_{E_1}^{E_2} c_1 \frac{R_0}{E_0 r} e^{-c_2 \frac{E_R}{E_0 r}} F_A^2(E_R) dE_R$$

Energia odrzutu w przedziale
 $E_r \sim 10 \sim 100$ keV

Koherentny przekrój czynny
zachowuje się jak A^2 (40 dla
argonu)

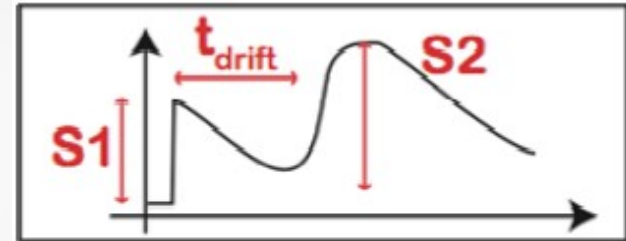
Form-faktor nie zależy od
spinu, ponieważ naturalny
argon składa się z izotopów o
spinie 0.



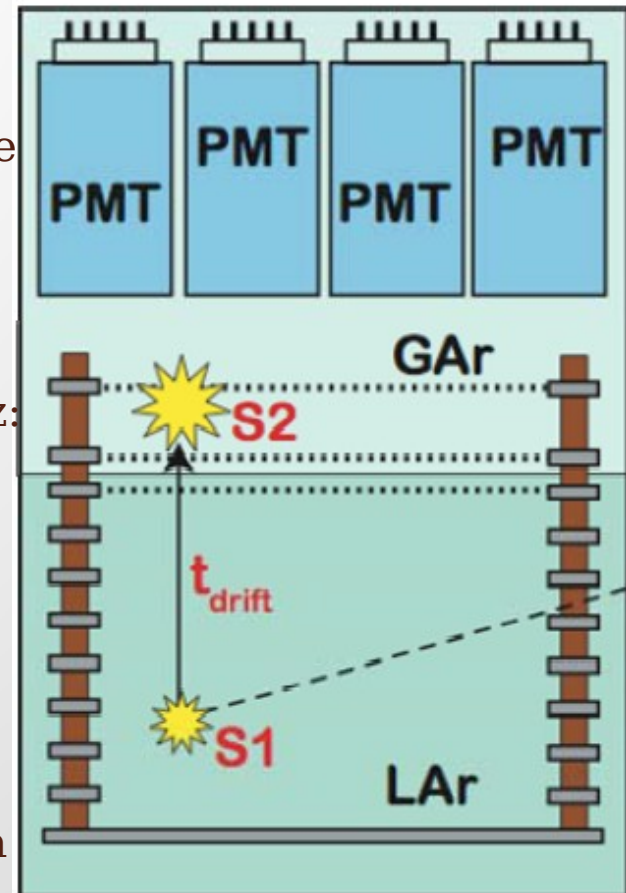
Metoda detekcji

- WIMP oddziałując z atomem argonu przekazuje energię odrzutu. Można ją obserwować jako scyntylacje **S1** lub elektrony jonizacji.
- Elektrony dryfują w silnym polu elektrycznym i są ekstrahowane do fazy gazowej. Tam przyspieszane do energii wystarczającej do zaistnienia scyntylacji wtórnych **S2**.
- Właściwości **S1** i **S2** pozwalają na bardzo dobrą dyskryminację przypadków tła.

scalaowany
sygnał



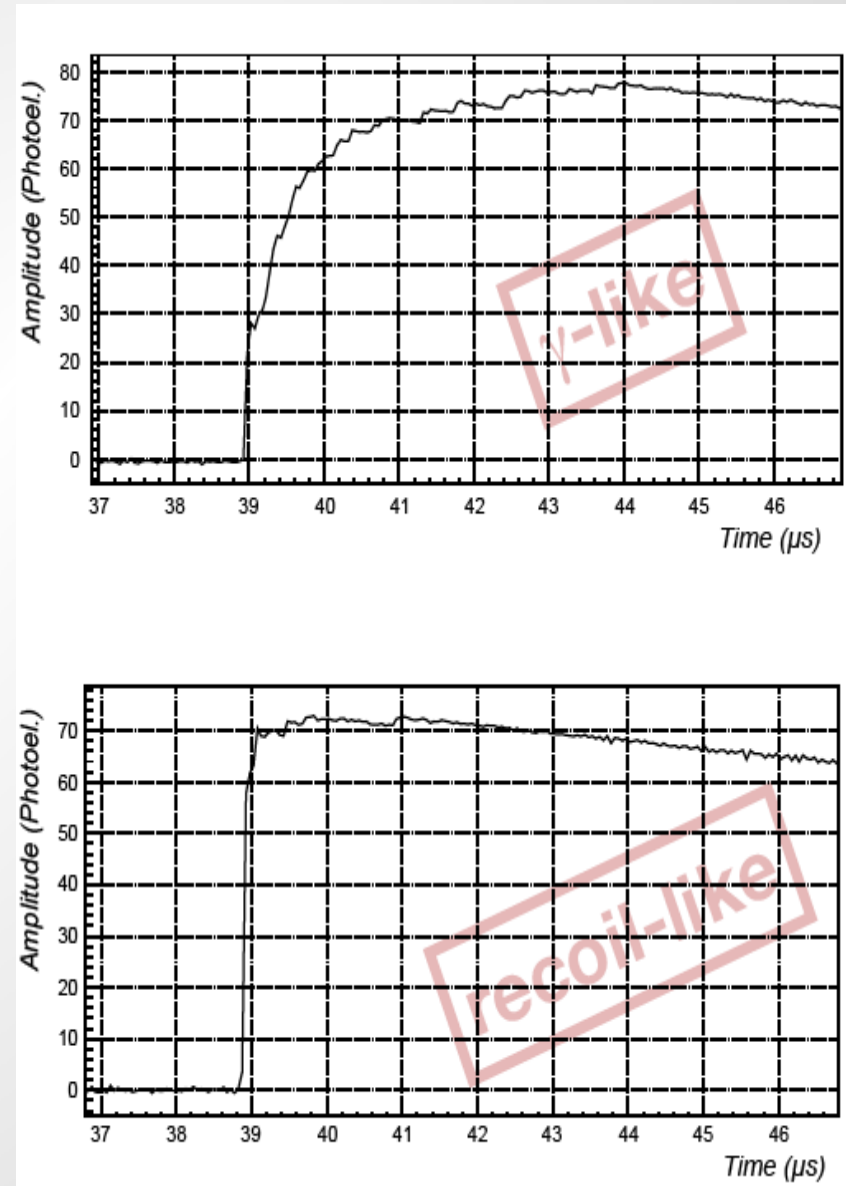
fotopowielacze



katoda

Selekcja przypadków

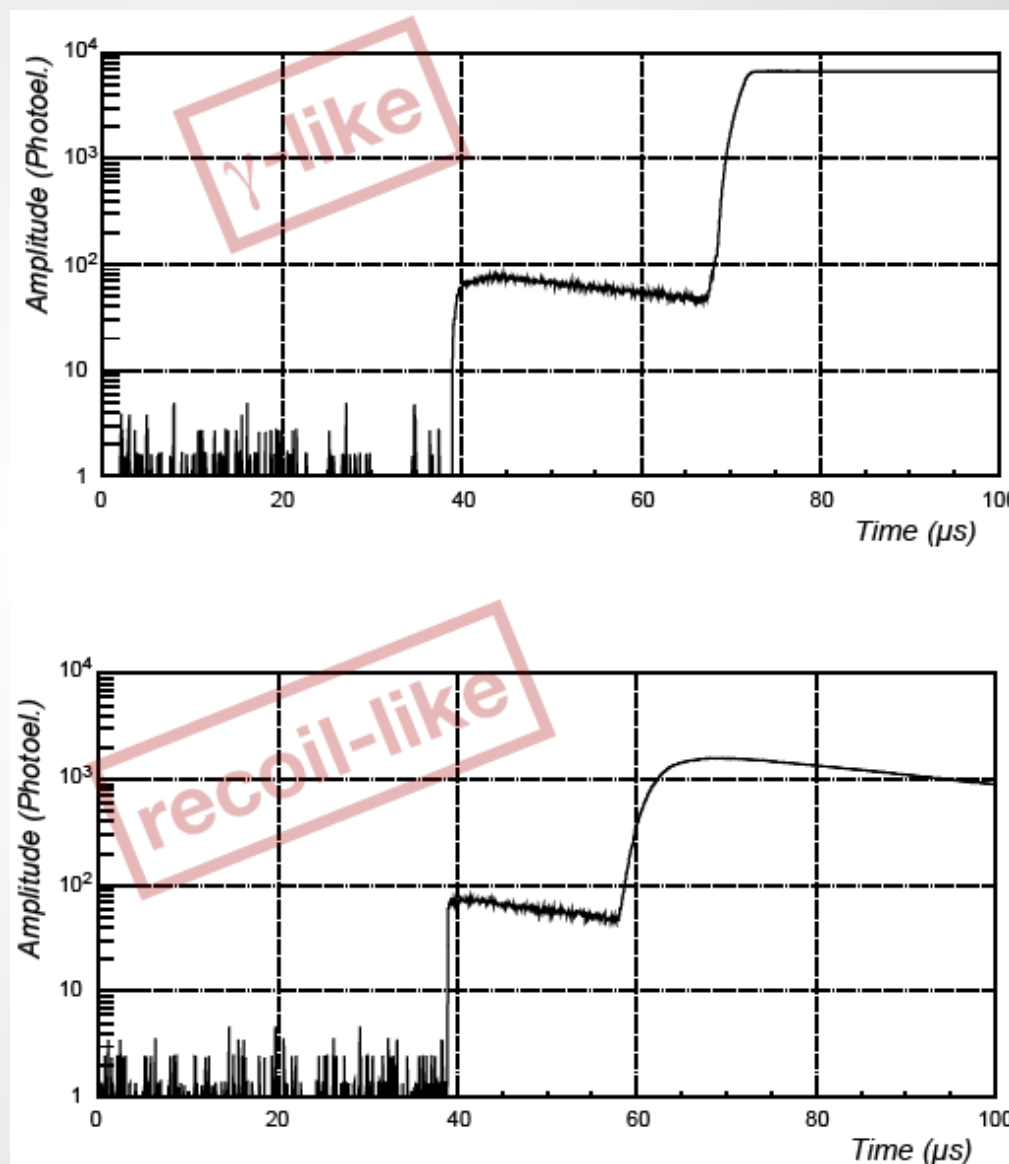
- Mechanizm scyntylacji w ciekłym argonie jest oparty na de-ekscytacji stanów molekularnych: singletu ($t \sim 7\text{ns}$) i trypletu ($t \sim 1.5\text{ }\mu\text{s}$).
- Rozkład tych komponentów jest diametralnie różny dla różnych cząstek jonizujących.
A. Hitachi et al., Phys. Rev. B 27 (1983).



dane z detektora 2.3l

Selekcja przypadków (2)

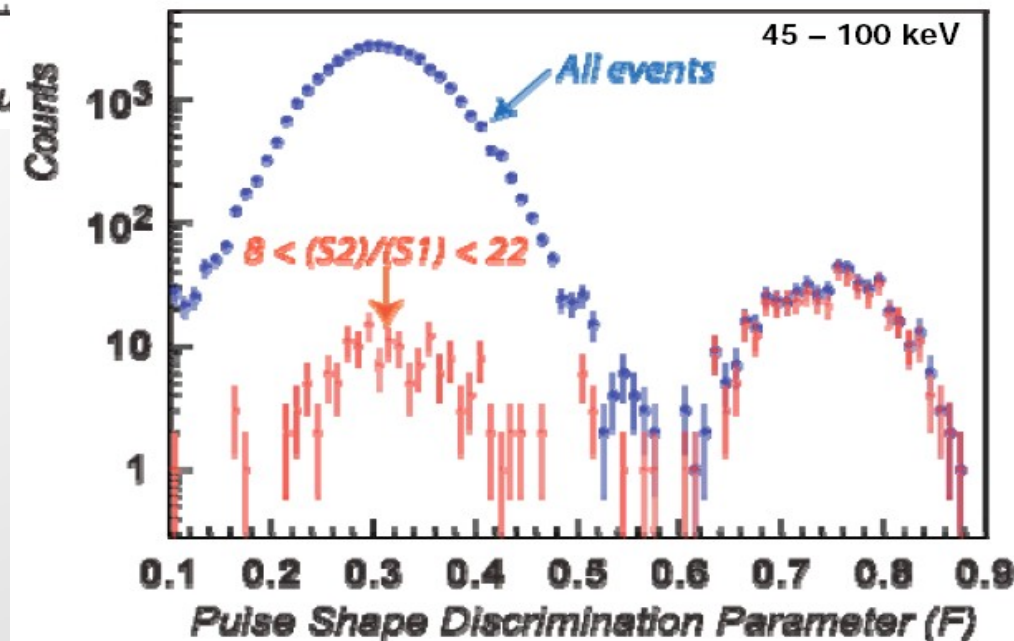
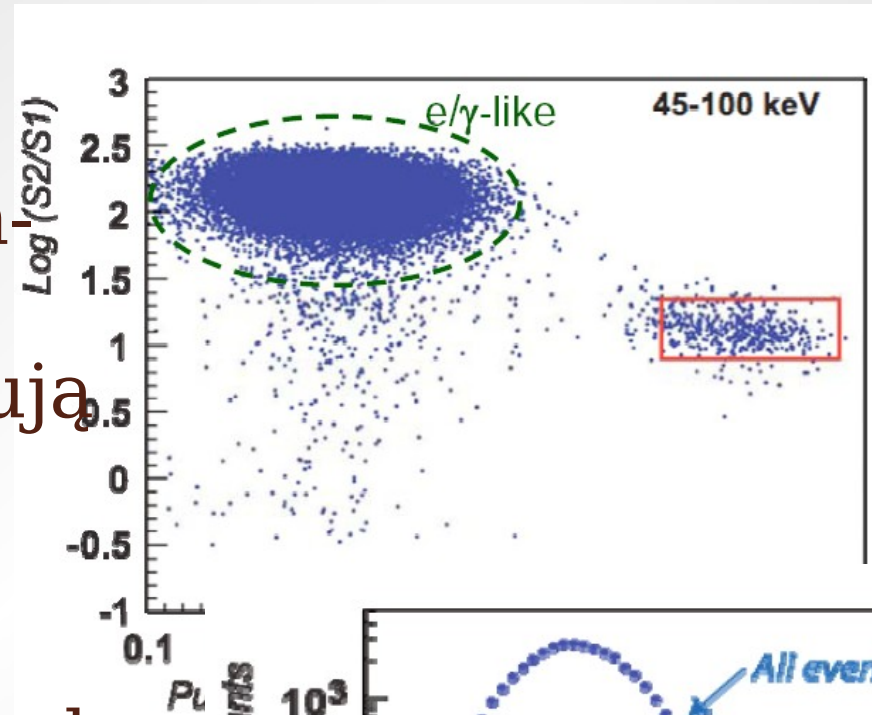
- Ilość energii emitowanej jako scyntylacji jest różna dla różnych cząstek.
T. Doke et al., NIM A 269 (1988)
- To samo można powiedzieć o energii zamienionej na jonizację. -> stosunek **S2/S1** będzie różny dla e/γ i WIMP'ów.
- np. dla e lub γ : $S2/S1 \sim 150$
dla α : $S2/S1 \sim 3$



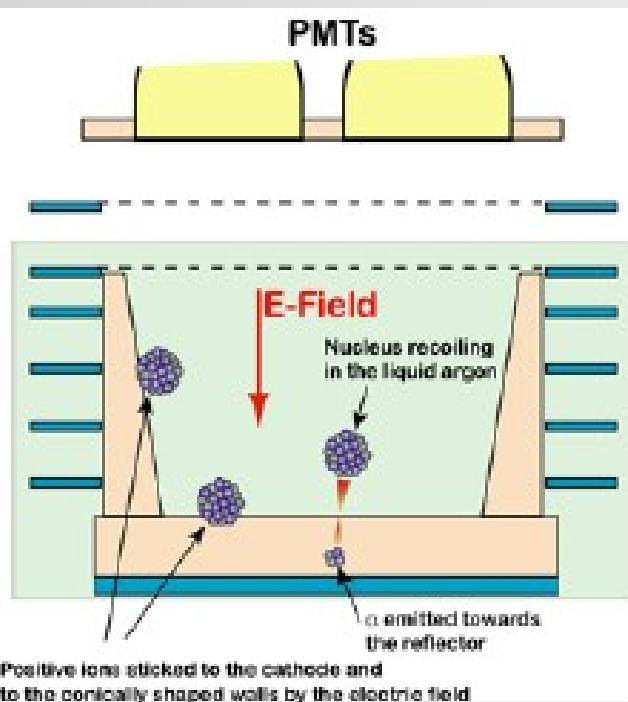
dane z detektora 2.3l

Kalibracja neutronowa

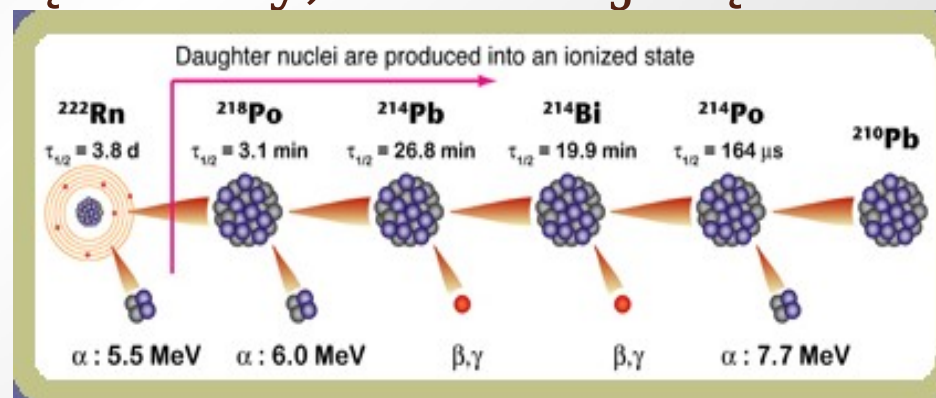
- Kalibracja źródłem Am-Be.
- Neutrony charakteryzują się:
 - $0.68 \leq F \leq 0.87$
 - $8 \leq S2/S1(E) \leq 30$
- Zastosowanie obu metod dyskryminacji pozwala na bardzo dobre oddzielenie szukanego sygnału od tła.



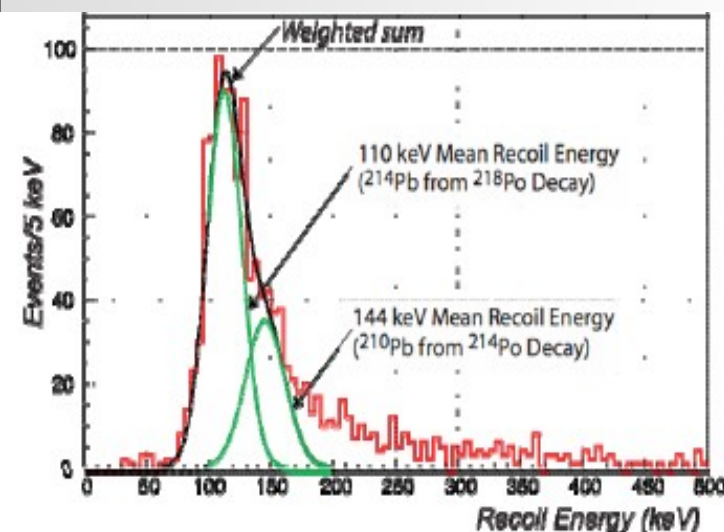
Zanieczyszczenie Radonem.



- Podczas napełniania komory do środka dostaje się ^{222}Rn o czasie życia ok. 3.8 dnia.
- Atomy powstałe w wyniku rozpadu Radonu są zjonizowane i dryfują w stronę katody, na której się osadzają.



- w przypadku emiterów α , w ok. 50% to jądro atomowe jest wyrzucane w stronę detektora (at. ^{214}Pb i ^{210}Pb o energiach 110 i 144 keV).



Uzysk światła dla odrzutów jądrowych

Wartości uzyskane trzema różnymi metodami są zgodne.

Metoda

Wynik

^{222}Rn i pochodne

$$Y_{\text{Pb}} = (1.70 \pm 0.03) \text{ phe/keV}$$

źródło neutronowe
Am-Be

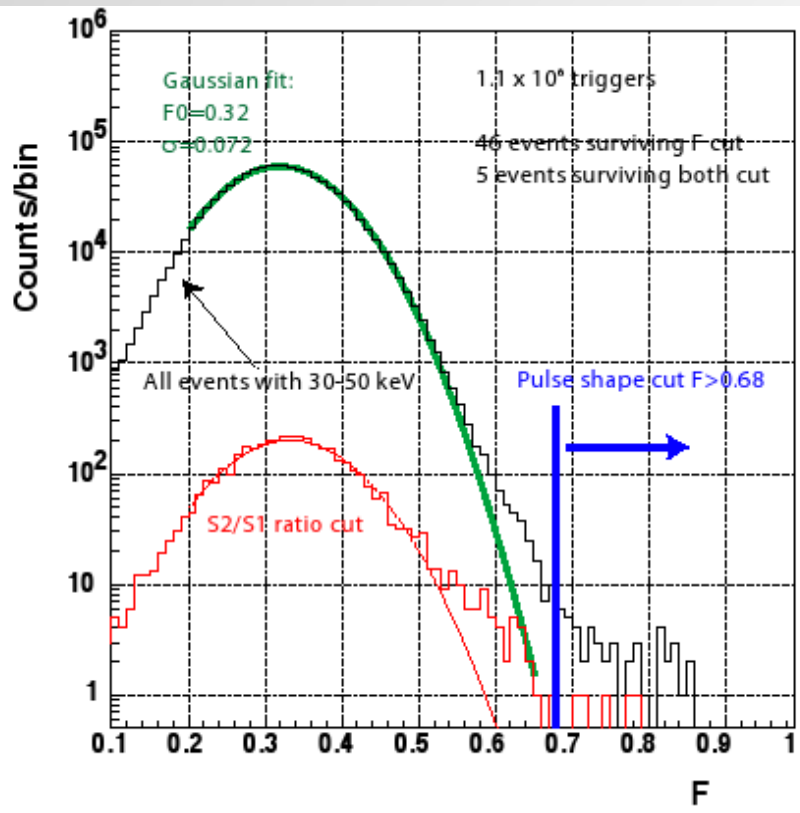
$$Y_{\text{Ar}} = (1.65 \pm 0.25) \text{ phe/keV}$$

Dane zbierane bez
osłony neutronowej

$$Y_{\text{Ar}} = (1.6 \pm 0.4) \text{ phe/keV}$$

Zbieranie danych

Przy pomocy prototypu o pojemności 2.3 litra zebrano 96.5 kg*dni danych (mar – lip 06).



Tło jest wyższe niż oczekiwane dla “ogona” pochodzącego od elektronów i fotonów, pochodzenie jest niejasne.

Możemy oszacować skuteczność dyskryminacji, tylko na podstawie S1 $F > 0.68$:

$$30-50 \text{ keV}_{\text{ion}} = 3.7 \times 10^{-5}$$

$$50-100 \text{ keV}_{\text{ion}} = 1 \times 10^{-6}$$

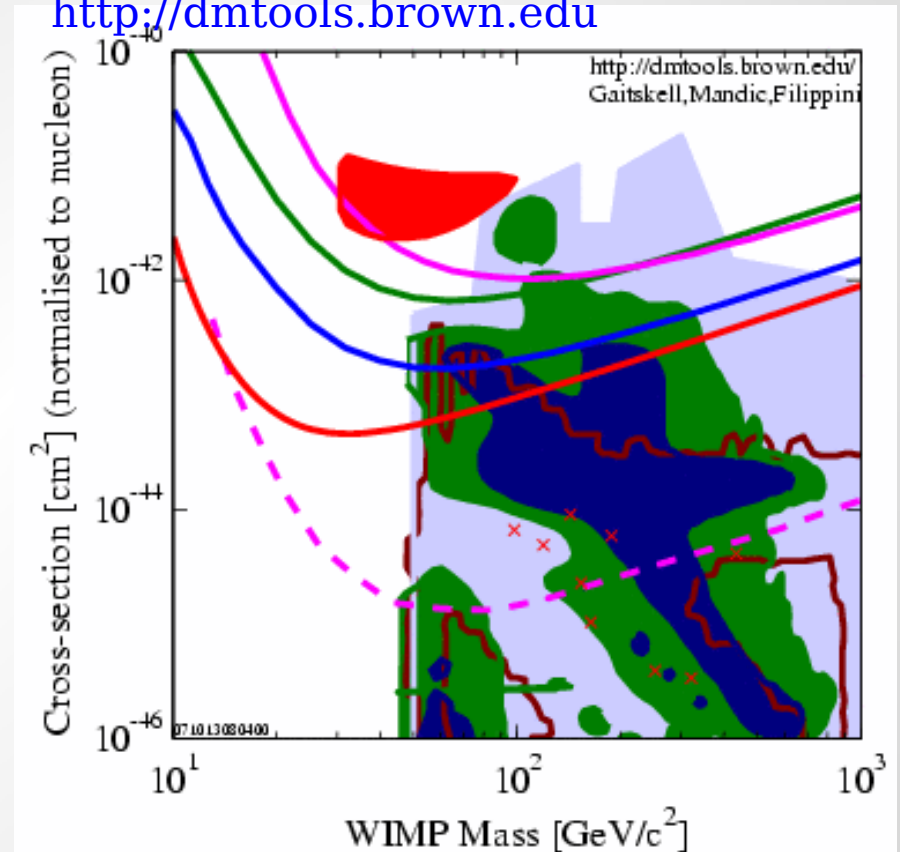
wyniki

Nie zaobserwowano żadnych przypadków powyżej 42 keV_{ion} dla ekspozycji 96.5 kg*dni (2.8×10^7 przypadków)

Pozwala to oszacować dozwolony przedział dla oddziaływań typu S-I dla standardowych parametrów (na poz. ufn. 90%).

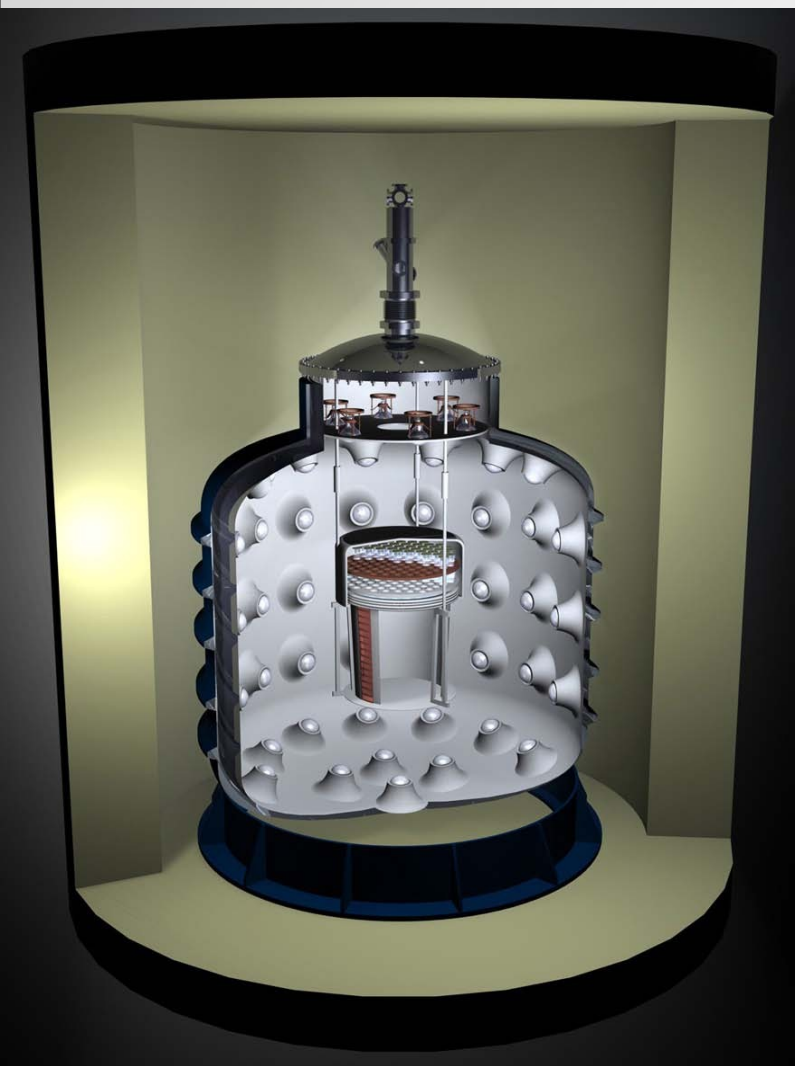
Dominującym wkładem do błędu systematycznego są niepewności w oszacowaniu ilości scyntylacji (15% w $Y_{ar} \rightarrow 20\%$ dla $M_W = 100 \text{ GeV}/c^2$, lub 30% dla $M_W = 50 \text{ GeV}/c^2$)

wykres wygenerowany na stronie:
<http://dmttools.brown.edu>



DATA listed top to bottom on plot
DAMA 2000 58 kg-days NaI Ann. Mod. 3-sigma, w/o DAMA 1996 limit
WARP 2.3L, 96.5 kg-days 55 keV threshold
ZEPLIN II (Jan 2007) result
CDMS (Soudan) 2004 + 2005 Ge (7 keV threshold)
XENON10 2007 (Net 136 kg-d)
WARP 140kg (proj)
Ruiz de Austri/Trotta/Roszkowski 2007, CMSSM Markov Chain Monte Carlo
Ruiz de Austri/Trotta/Roszkowski 2007, CMSSM Markov Chain Monte Carlo
Ellis et. al Theory region post-LEP benchmark points
Baltz and Gondolo 2003
Baltz and Gondolo, 2004, Markov Chain Monte Carlo
07.10.13.08.04.00

Detektor 100 l.



Budowa detektora głównego
właśnie rusza.

- 100 razy większa masa (ekspozycja uzyskana przez 2.3l w ciągu jednego dnia)
- Zastosowanie niskotłowych materiałów do konstrukcji.
- aktywne weto pozwoli wyeliminować tło neutronowe.

Podsumowanie

- Budowa 100l detektora obecnie głównym zadaniem kolaboracji
- Już prototyp o pojemności 2.3 l jest w stanie konkurować z czołówką eksperymentów poszukujących Ciemnej Materii

Dziękuję za uwagę.