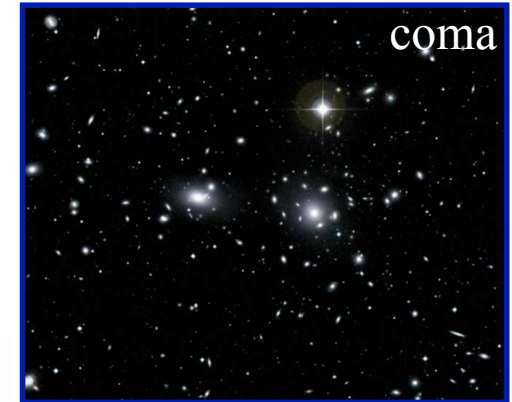


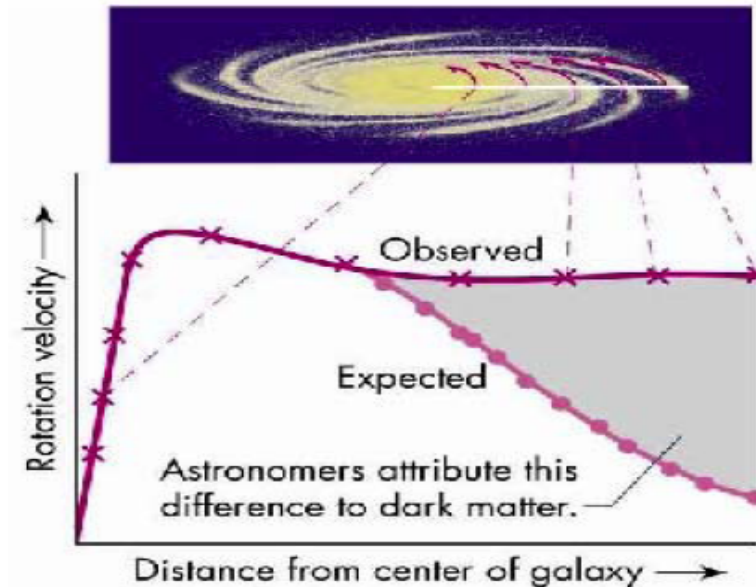
Ciemna Materia



- 1933 r. - Fritz Zwicky, gromada COMA. Prędkość obrotu galaktyk wokół wspólnego środka masy zbyt duża aby mogły one tworzyć układ związany.



- Lata 70,80 - krzywe rotacji galaktyk; halo niewidzialnej materii (?)



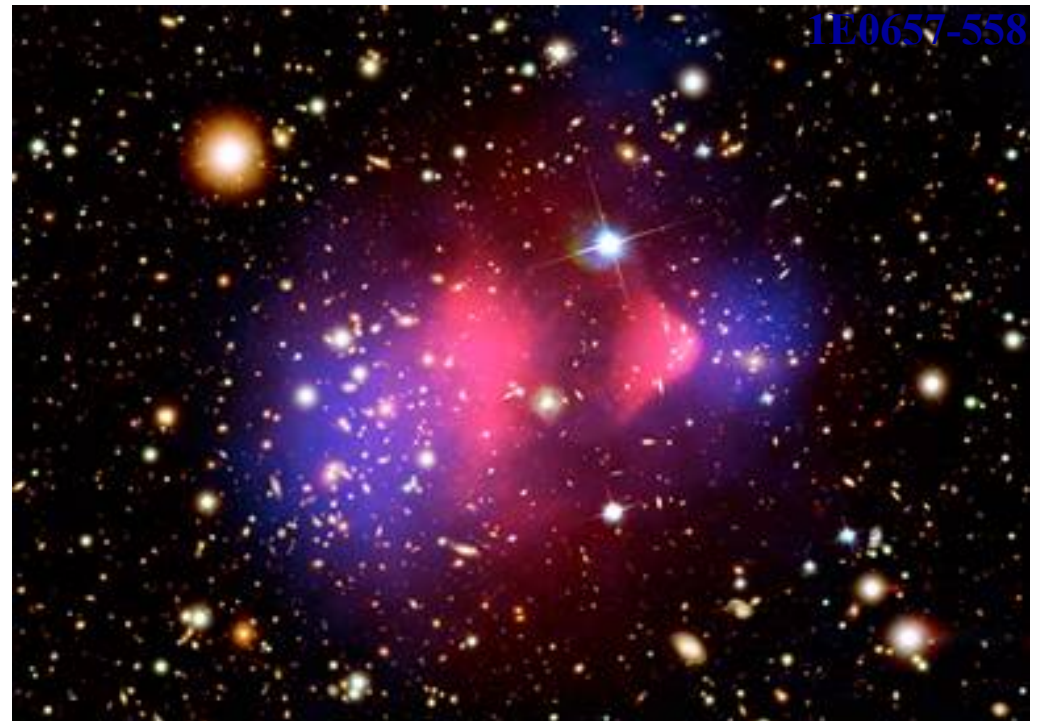
sferyczne halo ciemnej materii otaczające galaktykę



Niewidzialna materia, oddz. tylko grawitacyjnie

Ciemna materia

- 2006 r. analiza rozkładu masy w obszarze przechodzących przez siebie gromad galaktyk (1E0657-558) (*)
- Soczewkowanie grawitacyjne - potencjał grawitacyjny (obrazy z Hubble Space Telescope, European Southern Observatory VLT, Magellan) / **fioletowy**
- Promieniowanie X - Chandra X-ray Observatory (NASA) / **różowy**
- Masa gazu typowo 2x większa od masy materii świecącej w galaktykach
- Wynik: koncentracja masy grawitacyjnej tam gdzie znajdują się galaktyki
- Obszary emisji prom. X: tylko 10% całkowitej masy układu



Potwierdzenie dla
Ciemnej Materii

D. Kiełczewska, wykład 12

(*) D.Clowe et al. 2006 Ap. J. 648 L109

P. Mijakowski

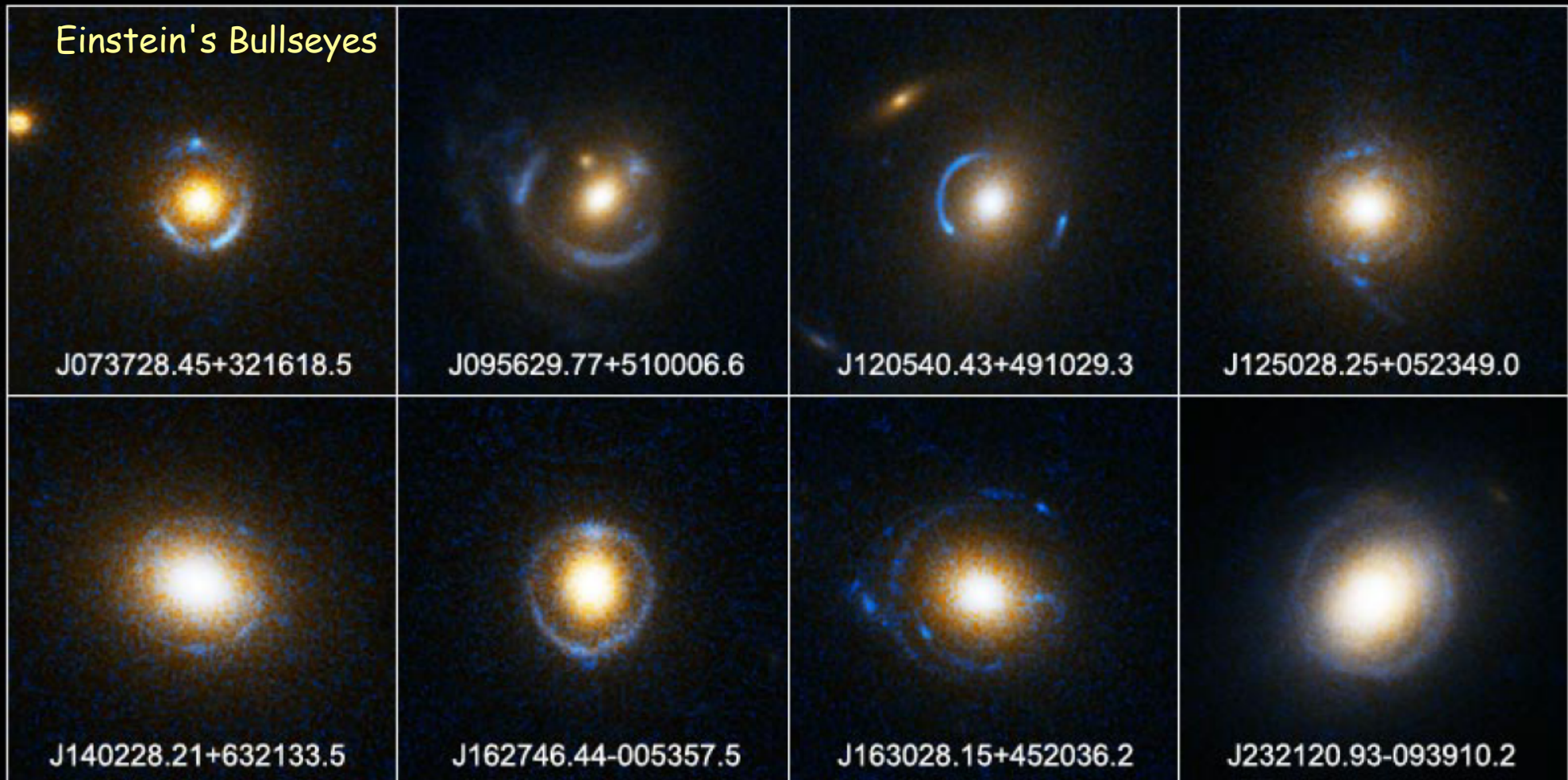
Soczewkowanie grawitacyjne

Pomiary potwierdzają DM w galaktykach - soczewkach

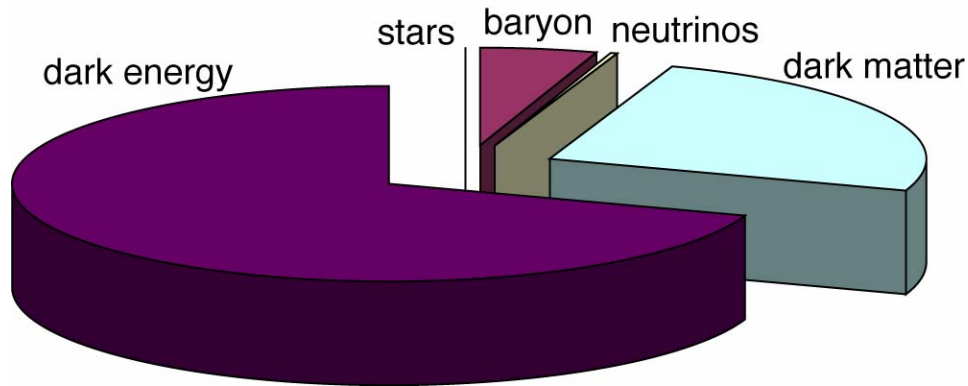
Einstein Ring Gravitational Lenses

Hubble Space Telescope ■ ACS

Einstein's Bullseyes



Co wiemy o $\Omega = \frac{\rho}{\rho_c}$?



„Świecząca” materia a więc gwiazdy, gaz:

$$\Omega_\gamma = (4,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$$

Bariony widoczne lub niewidoczne obliczone z nukleosyntezy

$$\Omega_b = 0,042^{+0,003}_{-0,005}$$

Całkowita materia wydedukowana z grawitacyjnej energii potencjalnej galaktyk itd.

$$\Omega_m = 0,24^{+0,03}_{-0,04}$$

Ciemna materia:

$$\Omega_{DM} = \Omega_m - \Omega_b = 0,20^{+0,02}_{-0,04}$$

Ciemna energia

$$\Omega_\Lambda = 0,76^{+0,04}_{-0,06}$$

$$\Omega_{tot} = 1,02 \pm 0,02$$

„geometria płaska” $k=0$

Ciemna Materia - kandydaci

< 7% masy halo galaktycznego (exp. EROS)

Istniejące cząstki

- ~~MACHO's~~ (Massive Astronomical Compact Halo Objects), np. brązowe karty, gwiazdy neutronowe, czarne dziury
- ~~Neutrino~~ (Hot Dark Matter - HDM)

formacja struktur wymaga
CDM

Postulowane cząstki:

- Aksjony
- **WIMP-y** (Weakly Interacting Massive Particles) - wolne, masywne, neutralne cząstki, słabo oddziałujące z materią (Cold Dark Matter - **CDM**)

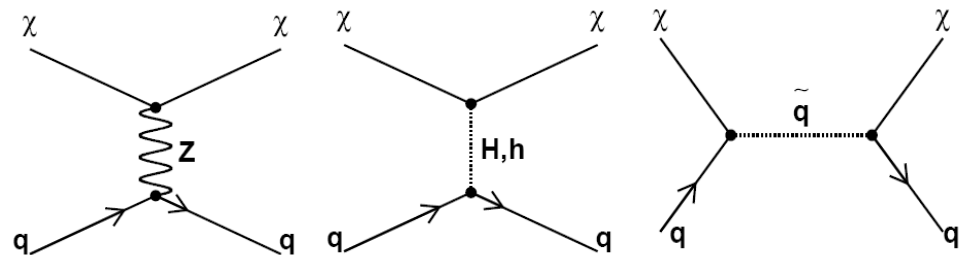
WIMP

Słabo Oddziałująca Masywna Cząstka
(*WIMP - Weakly Interacting Massive Particle*)

Poszukujemy cząstek:

- ◆ Neutralnych
- ◆ Długożyciowych
(z $\tau \sim$ czas życia Wszechświata)
- ◆ Masywnych ($M_\chi \sim 100$ GeV)
- ◆ Słabo oddziałujących z materią
 $\sigma \leq 10^{-40} \text{ cm}^2$

Przykładowe diagramy (neutralino)



dobry kandydat na WIMP-a:

- ◆ neutralino χ (SUSY) - najlżejsza cząstka *supersymetryczna LSP* (Lightest Supersymmetric Particle), jest stabilna (zachowanie parzystości R w SUSY)

neutralino(χ)

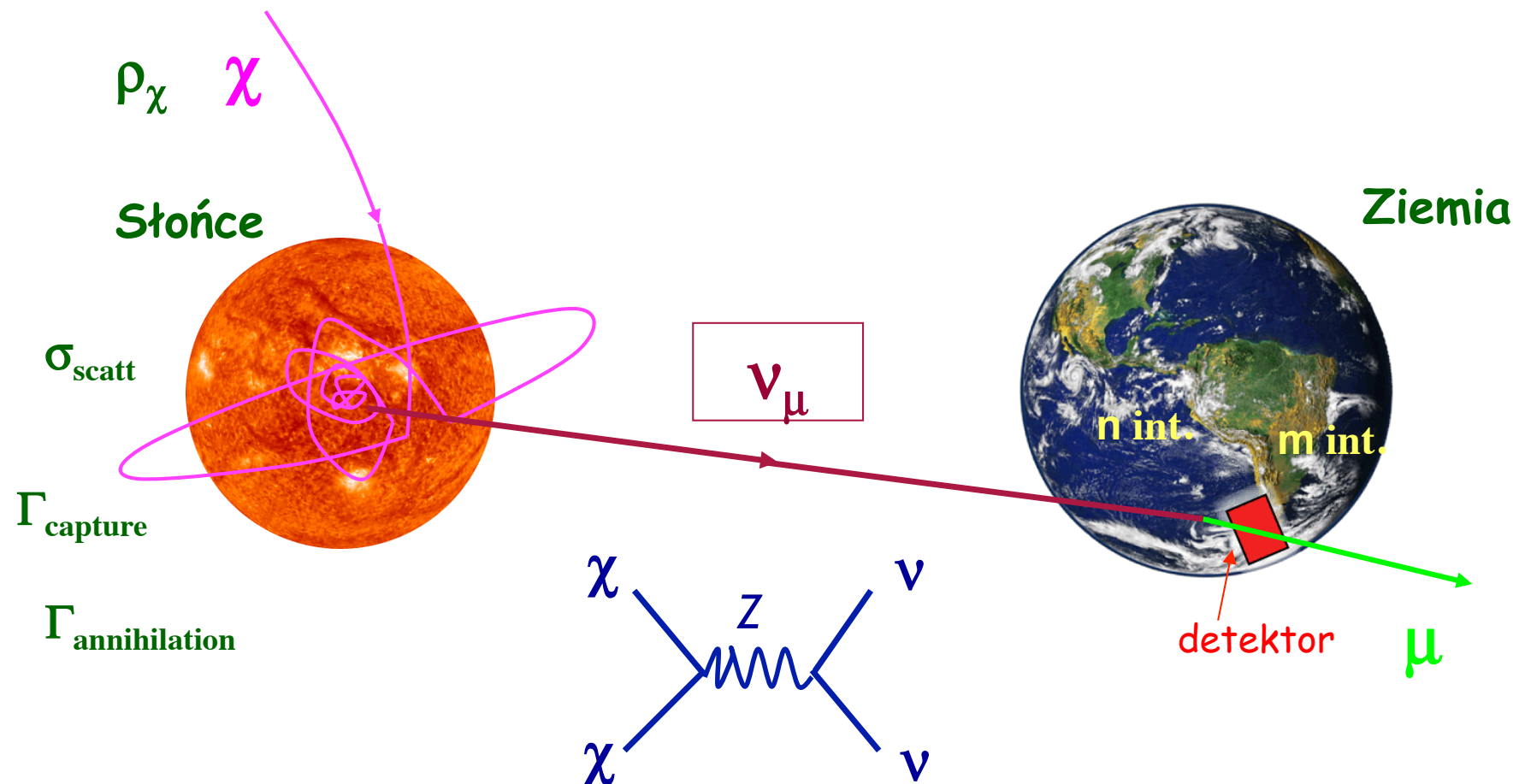
$$18 \text{ GeV} < M_\chi < 7 \text{ TeV}$$

LEP

kosmologia

D. Kiełczewska, wykład 12

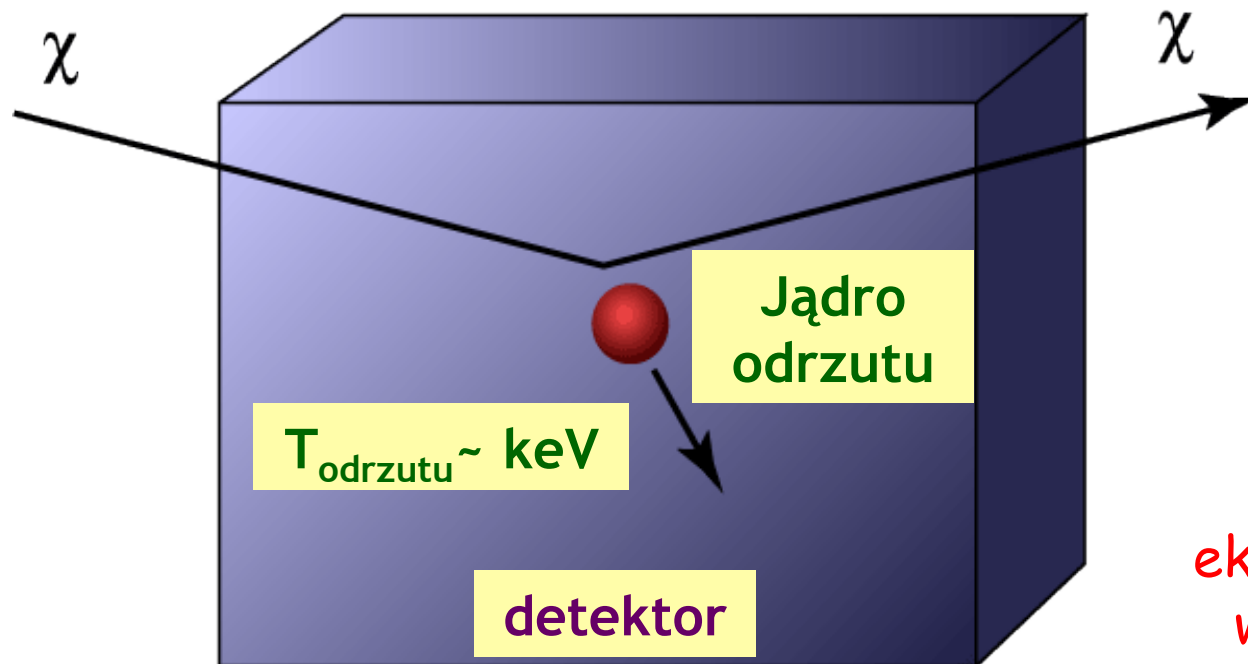
Detekcja pośrednia - neutrino



W teleskopach neutrinowych nie zaobserwowano dotychczas nadwyżki neutrin ze Słońca, centrum Ziemi, centrum Galaktyki w stosunku do oczekiwanego tła

Detekcja bezpośrednia

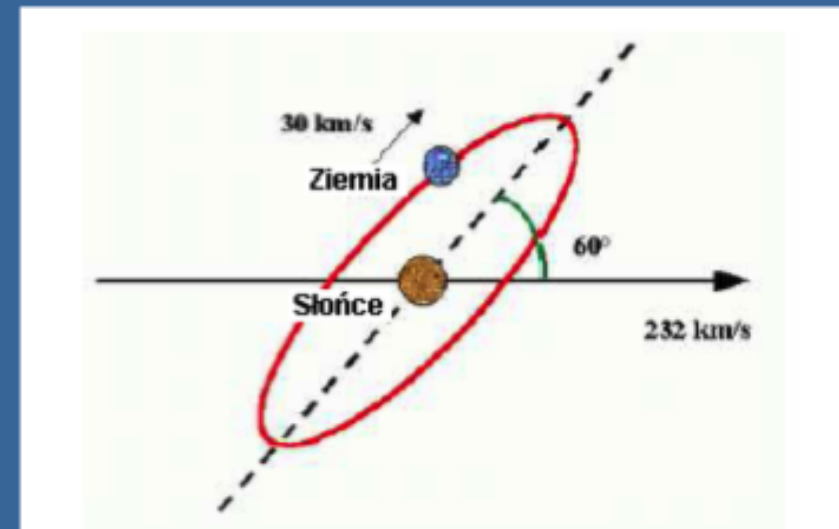
- mierzymy energię jąder odrzutu z elastycznego rozpraszania WIMP-ów



Wiele
eksperymentów,
wiele nowych
projektów....
Stay tuned.

Efekt modulacji sezonowej

- » V – średnia prędkość cząstki WIMP względem nukleonu (tarczy) – **ZALEŻY OD PORY ROKU!**



Sumaryczna prędkość Ziemi i Słońca
względem centrum Galaktyki:

Maksimum - **2 czerwiec** - $V \approx 248$ km/h

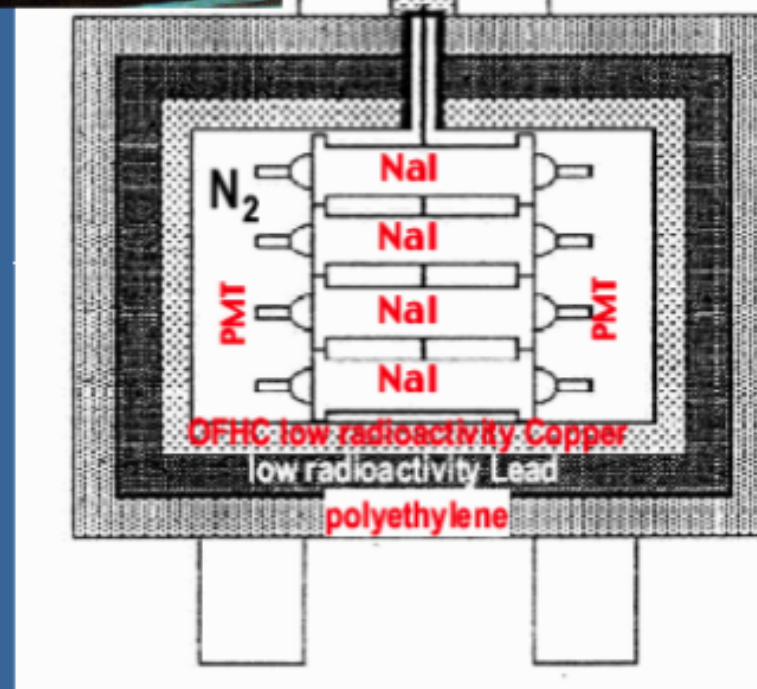
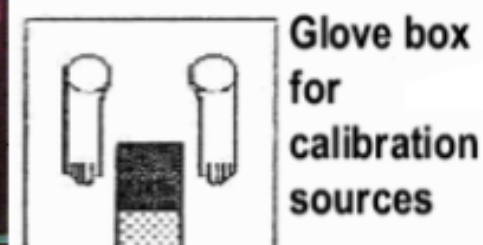
Minimum - **2 grudzień** - $V \approx 219$ km/h

DAMA/LIBRA (~250kg NaI)

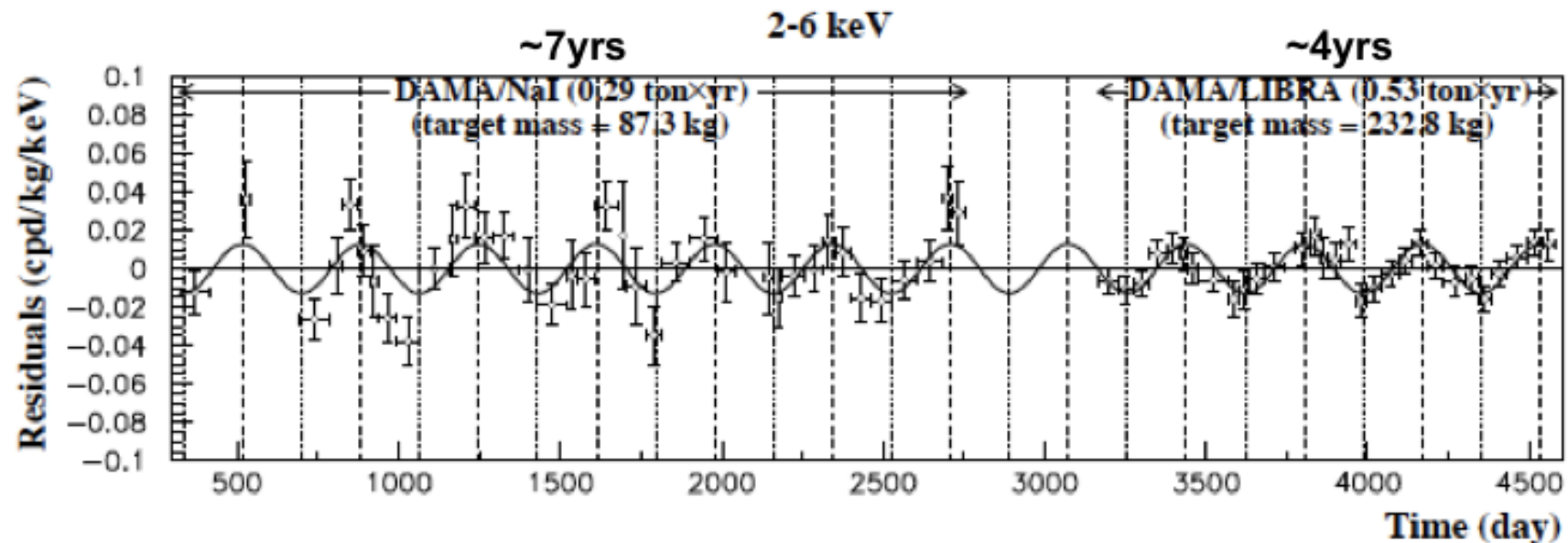
DArk Matter/Large sodium Iodide Bulk for RAre processes

χ scatter on Na/I \rightarrow scintillation

- » Gran Sasso in Italy (4000 m w.e.)
- » DAMA/NaI in operation since 1996
- » NaI(Tl) scintillation crystals – 25 x 9.7 kg \approx 250 kg; signal detected by two PMTs
- » No active electron/gamma bkg determination technique
- » Energy > 2 keV
- » Exposition – 0.82 tonne-years
- » Latest results: May 2008



DAMA – annual signal modulation



$A \cos[\omega(t-t_0)]$: $A = (0.0129 \pm 0.0016)$ counts per day/kg/keV, $t_0 = (144 \pm 8)$ day, $T = (0.998 \pm 0.003)$ year @ 8.2σ CL

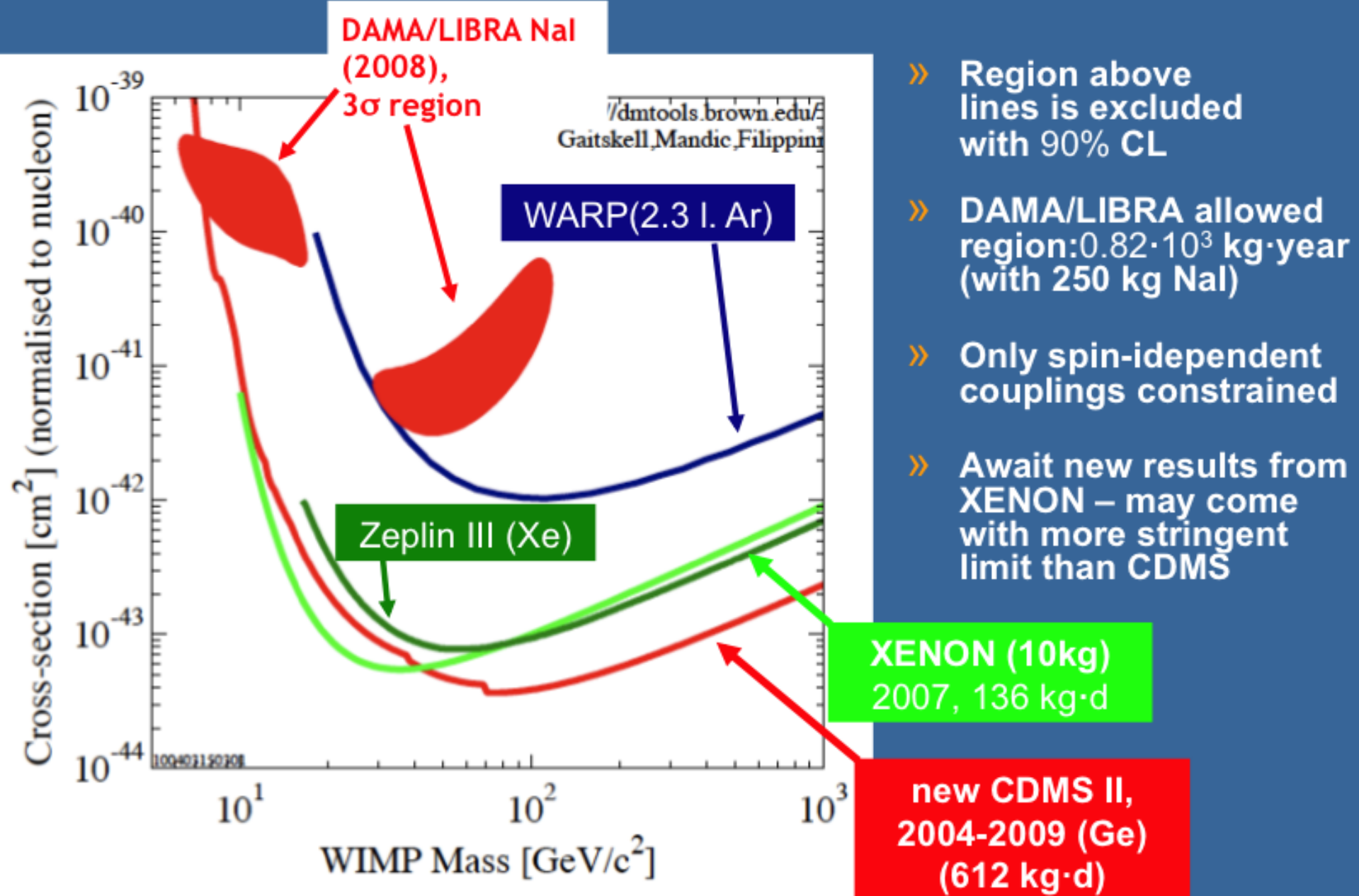
Characteristics

- ◆ $\cos(t)$
- ◆ 1 year period ($T=2\pi/\omega$)
- ◆ phase (t_0) – summer/winter
- ◆ low energy signal
- ◆ single detector hit

„What other physical effect could satisfy all these criteria?”

- » model independent evidence
- » no signal modulation > 6 keV and in „multiple hits events”

Limits – direct detection (spin-independent)

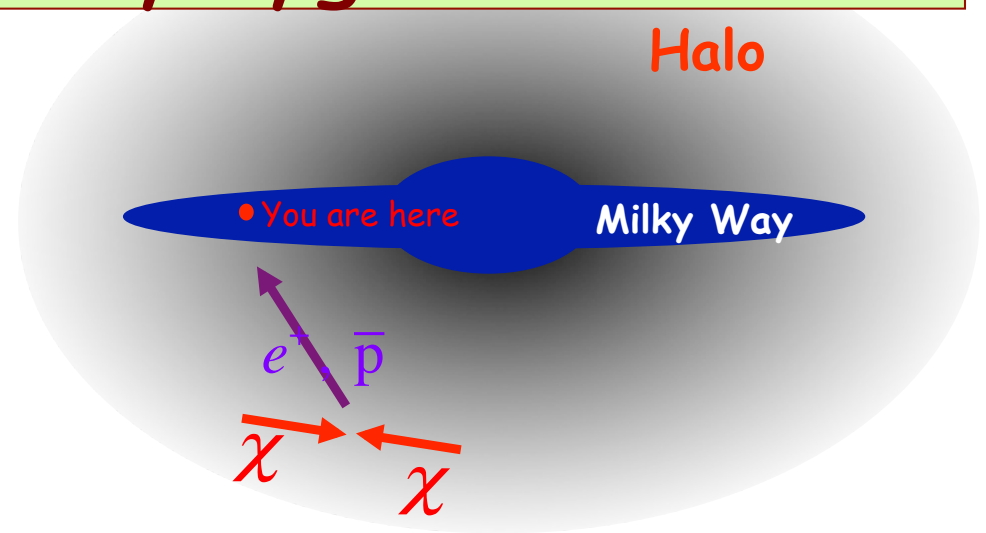


Niektóre ostatnie obserwacje,
które mogą wskazywać na cząstki
Ciemnej Materii we Wszechświecie.

Antycząstki w promieniowaniu kosmicznym - możliwy sygnał z DM

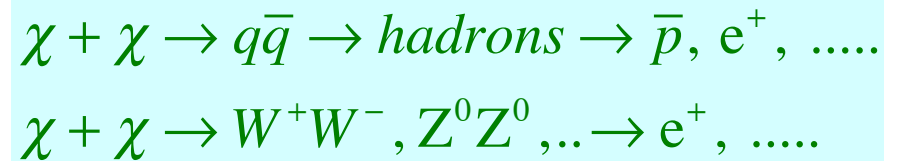
Antycząstki e^+ , \bar{p}
moga pochodzić z:

- wtórnych oddziaływań pierwotnego promieniowania kosmicznego
- anihilacja cząstek WIMP w halo galaktycznym



Możliwy kandydat na WIMPa to **neutralino χ** ,
najlżejsza cząstka SUSY

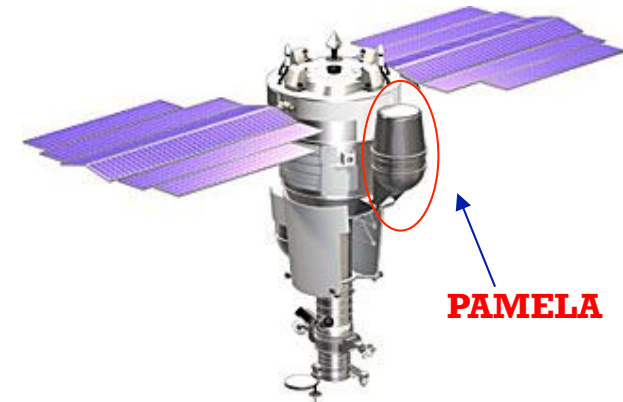
Najbardziej prawdopodobne procesy:



PAMELA

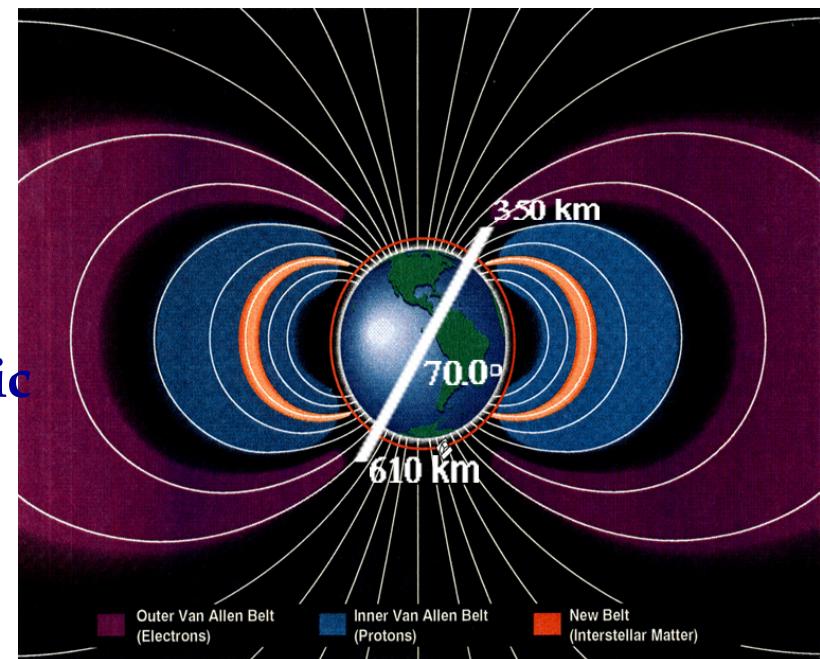
a Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics

- PAMELA is mounted on satellite Resurs-DK1, inside a pressurized container
- launched June 2006
- minimum lifetime 3 years
- data transmitted via Very high-speed Radio Link (VRL)



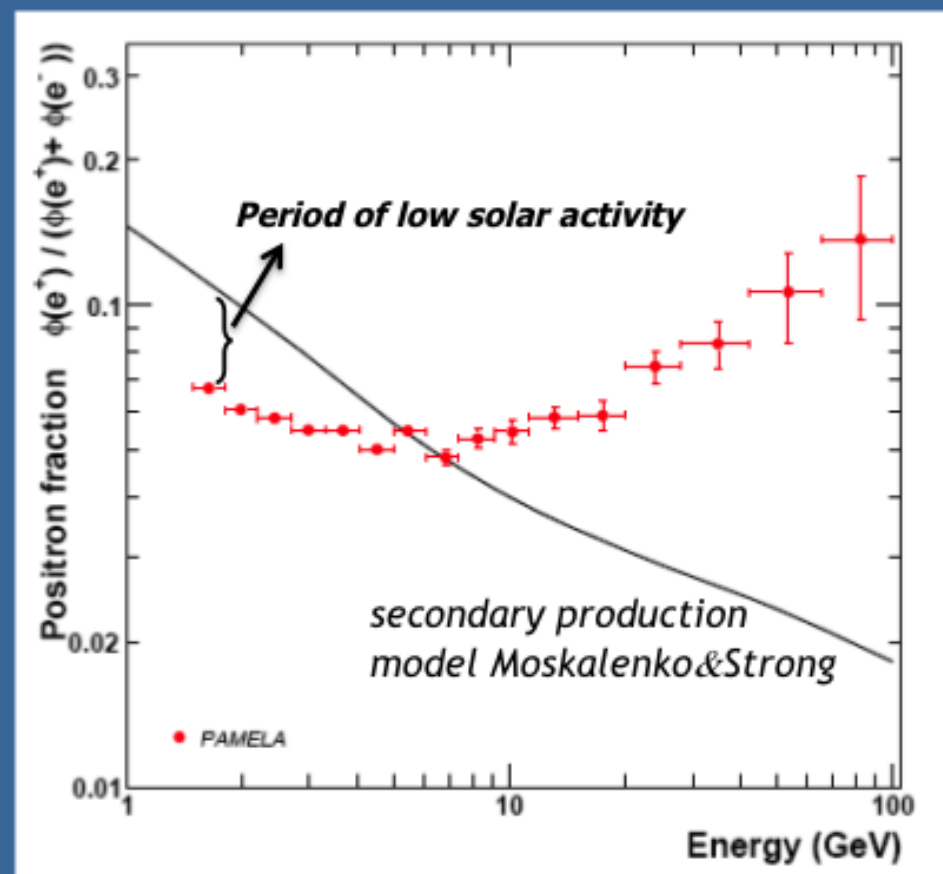
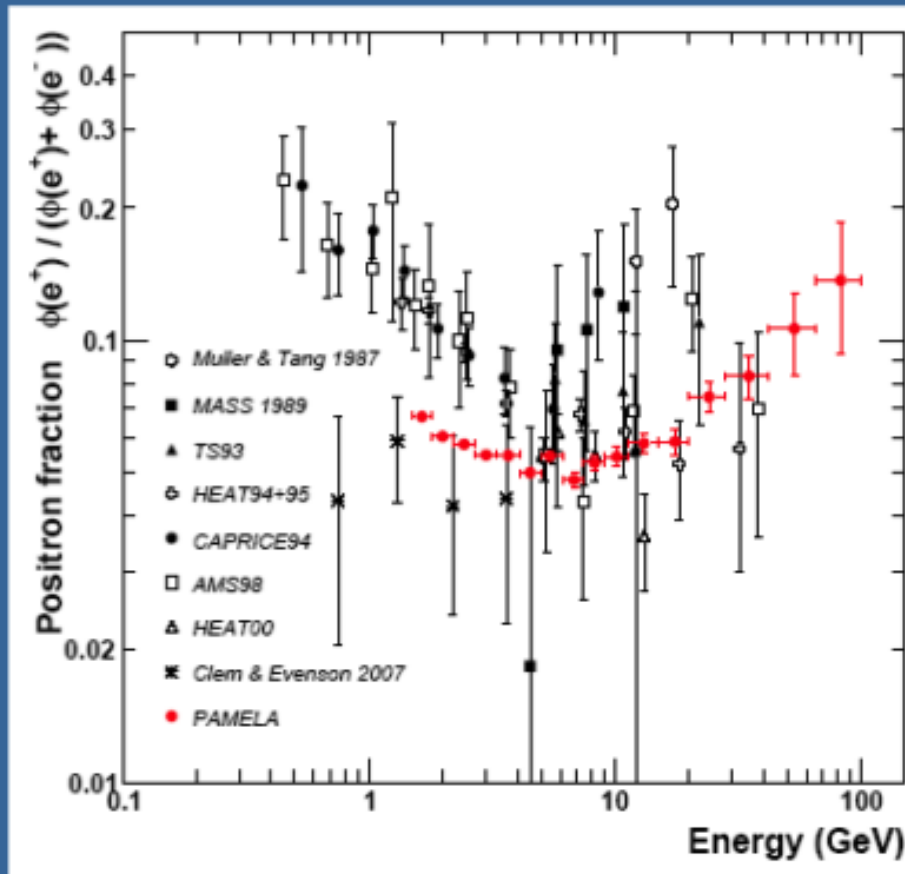
scientific objectives:

- » Search for dark matter annihilation (e^+ and p-bar spectra)
- » Search for anti-He (primordial antimatter)
- » Study composition and spectra of cosmic rays (including light nuclei)
- » Study solar physics and solar modulation
- » Study terrestrial magnetosphere and radiation belts



PAMELA results (positrons)

O. Adriani et al. [PAMELA Collaboration], Nature, 458, 607-609 (2009)



positrons from secondary production

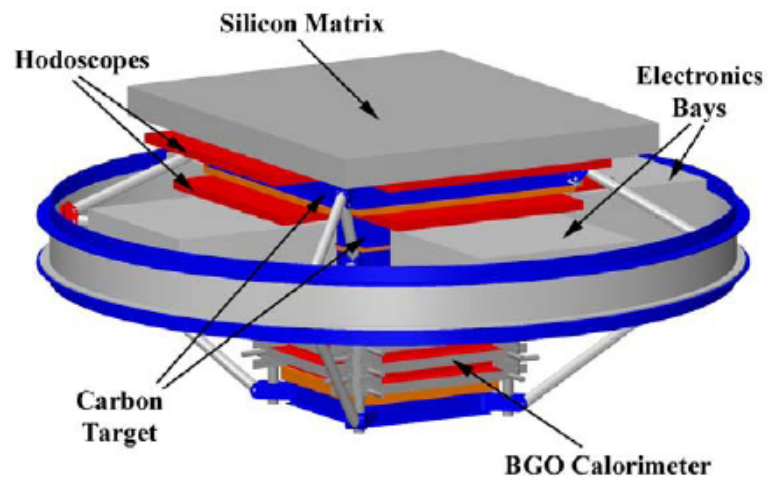


- » Cosmic-ray positrons are a sensitive probe of the local astrophysical environment (few kpc) → energy loss due to Inverse Compton and Synchrotron Radiation

ATIC

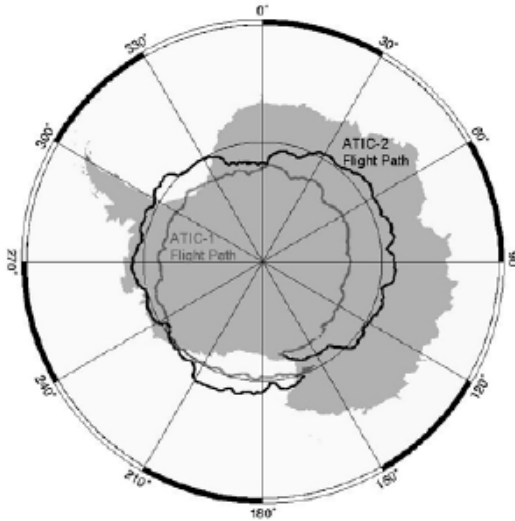
Advanced Thin Ionization Calorimeter

- Balloon born experiment for C.R measurement
- Operated from McMurdo, Antarctica
- ATIC-1 15 days (2000/2001)
- ATIC-2 17 days (2002/2003)
- flights @ 36km



D. Kiętczewska, wykład 12

Flight and Recovery



Flight path for ATIC-1 (2000)
and ATIC-2 (2002)



The good ATIC-1 landing on 1/13/01 (left) and the not so good landing of ATIC-2 on 1/18/03 (right)

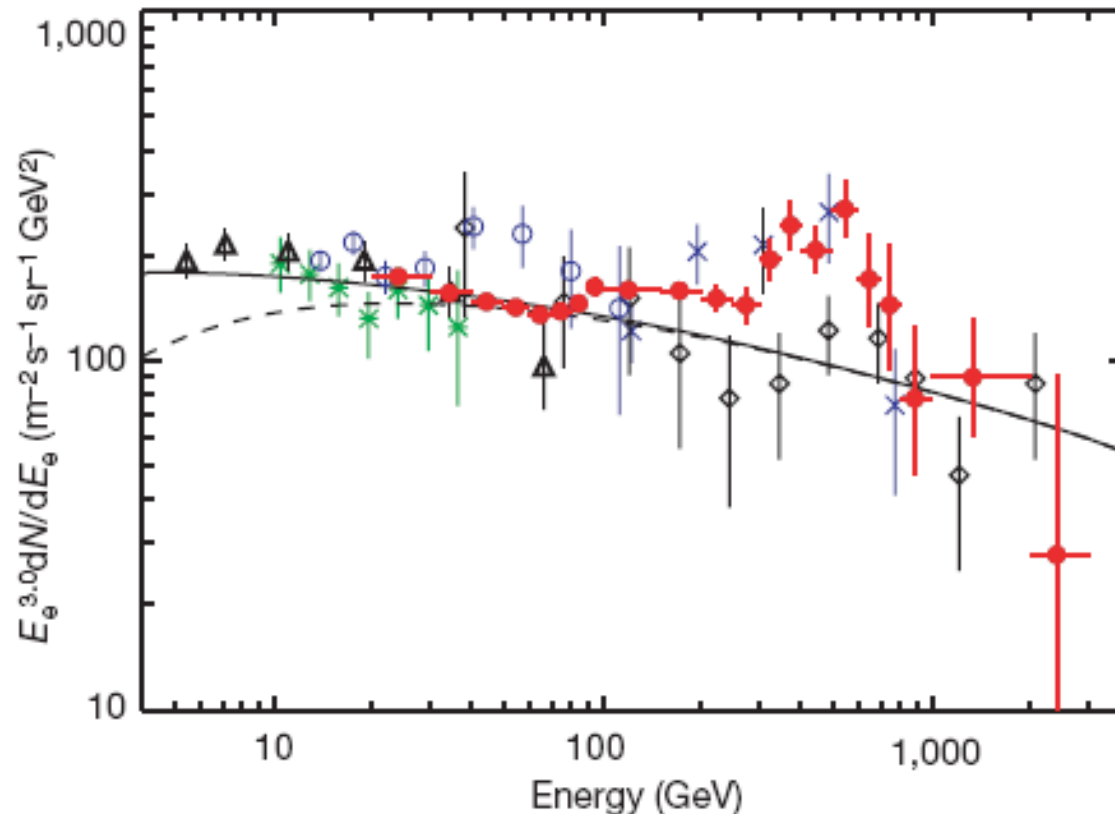


ATIC is designed to be disassembled in the field and recovered with Twin Otters. Two recovery flights are necessary to return all the ATIC components. Pictures show 1st recovery flight of ATIC-1



Wyniki eksperymentu ATIC

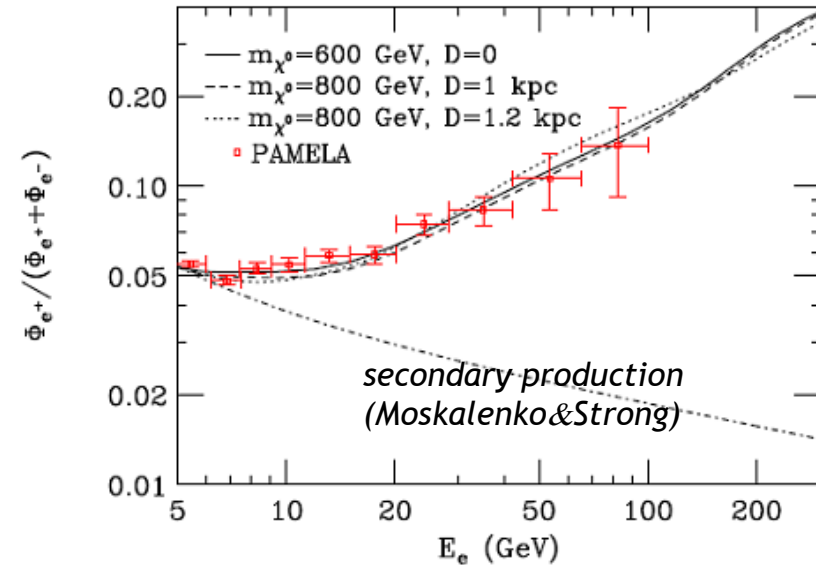
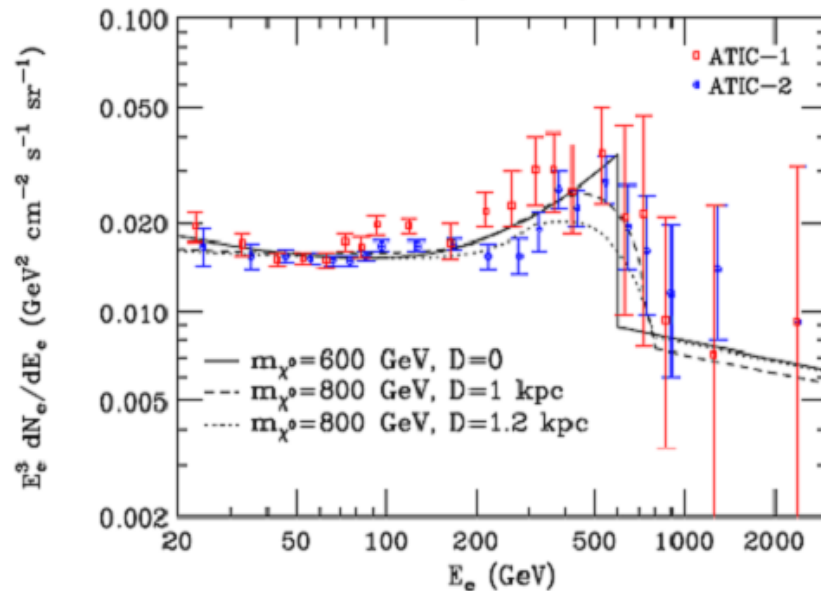
(*) J. Chang, et al. [ATIC Collaboration], Nature, 456, 362 (2008)



ATIC (red points); AMS (green stars); HEAT (open black triangles);
BETS (open blue circles), PPB-BETS (blue crosses); emulsion
chambers (black open diamonds); solid curve - galactic spectrum
(GALPROP); dashed curve - solar modulated electron spectrum;

Fit anihilacji neutralin do danych PAMELI & ATIC

D.Hooper, A.Stebbins, K.Zurek,
arxiv.0812.3202 (Dec 2008)



ASSUMPTIONS

- » WIMPs annihilation only to W^+W^-
- » Annihilation in nearby clump (could be a point source like)

- To normalize ATIC & PAMELA data a very large or dense clump of DM is required
- -> annihilation rates (per second):

$$\begin{array}{ll}
 7 \times 10^{35} & \text{--- } m_{\chi^0} = 600 \text{ GeV, } D=0 \\
 1.7 \times 10^{37} & \text{--- } m_{\chi^0} = 800 \text{ GeV, } D=1 \text{ kpc} \\
 2.2 \times 10^{37} & \text{.... } m_{\chi^0} = 800 \text{ GeV, } D=1.2 \text{ kpc}
 \end{array}$$

Podsumowanie

- ❖ Wiele obserwacji sugeruje, że **Ciemna Materia** stanowi aż 20% bilansu energetycznego Wszechświata (znacznie więcej niż znane cząstki)
- ❖ Liczne poszukiwania cząstek Ciemnej Materii w laboratoriach dają sprzeczne rezultaty (zagadkowa sezonowa modulacja sygnałów w eksperymencie **DAMA**)
- ❖ W **LHC** spodziewamy się również znaleźć **cząstki SUSY**, wśród których mogą być **cząstki Ciemnej Materii**.