

Nadbytek elektronů a pozitronů v kosmickém záření

Radomír Šmída

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

smida@fzu.cz



Elektrony a pozitrony

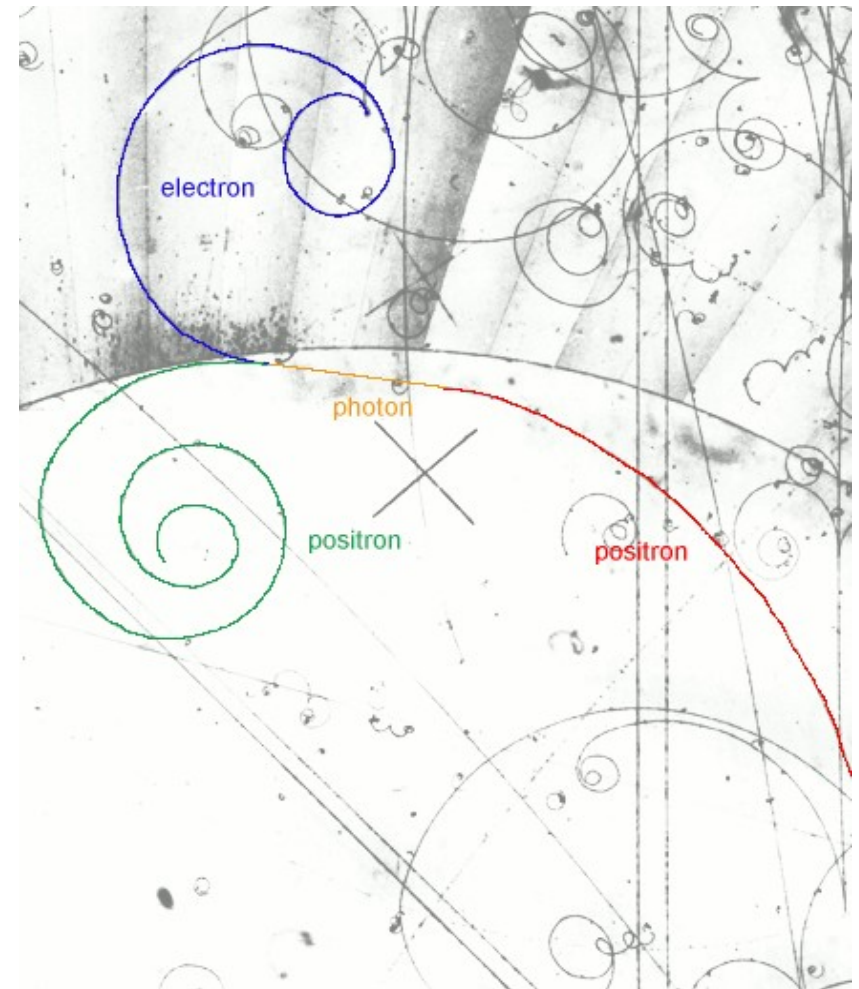
- Elektron e^-
záporný náboj
klidová hmotnost:
511 keV
interakce: el-mag.,
slabá a gravitační
- Pozitron e^+
antičástice
zaniká anihilací

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name→	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$	104 MeV $-\frac{1}{3}$	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$ d down	$\frac{1}{2}$ s strange	$\frac{1}{2}$ b bottom	0
Quarks				1
				g gluon
	<2.2 eV 0	<0.17 MeV 0	<15.5 MeV 0	91.2 GeV ⁰ 0
	$\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	$\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	$\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	1
				Z weak force
	0.511 MeV -1	105.7 MeV -1	1.777 GeV -1	80.4 GeV [±] ± 1
Leptons	$\frac{1}{2}$ e electron	$\frac{1}{2}$ μ muon	$\frac{1}{2}$ τ tau	1
				W weak force
				Bosons (Forces)

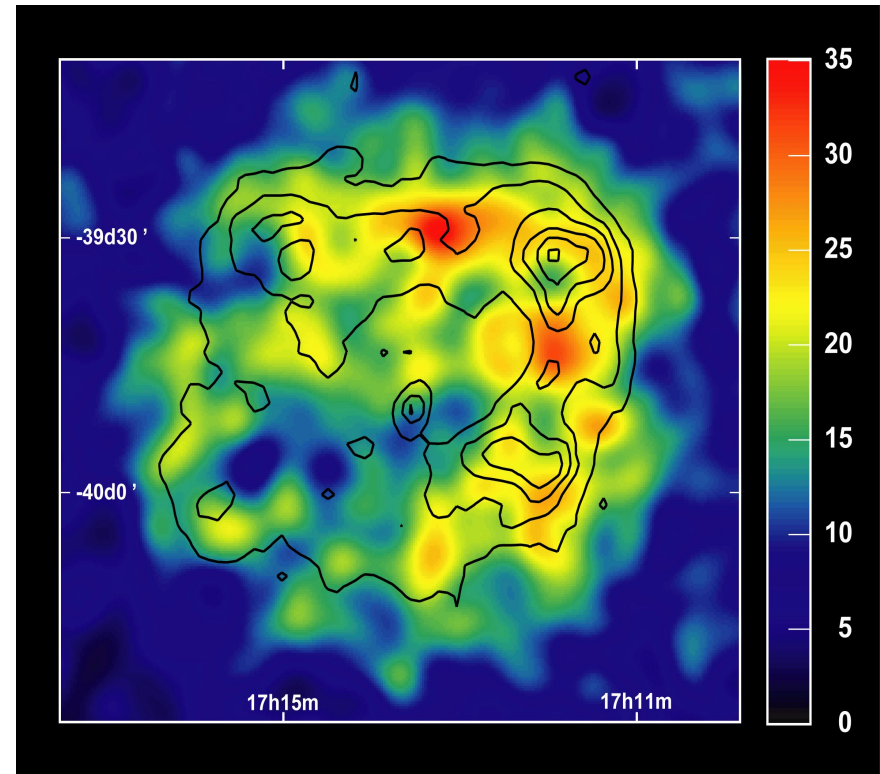
Elektrony a pozitrony

- Elektron e^-
 - záporný náboj
 - klidová hmotnost:
511 keV
 - interakce: el-mag.,
slabá a gravitační
- Pozitron e^+
 - antičástice
 - zaniká anihilací



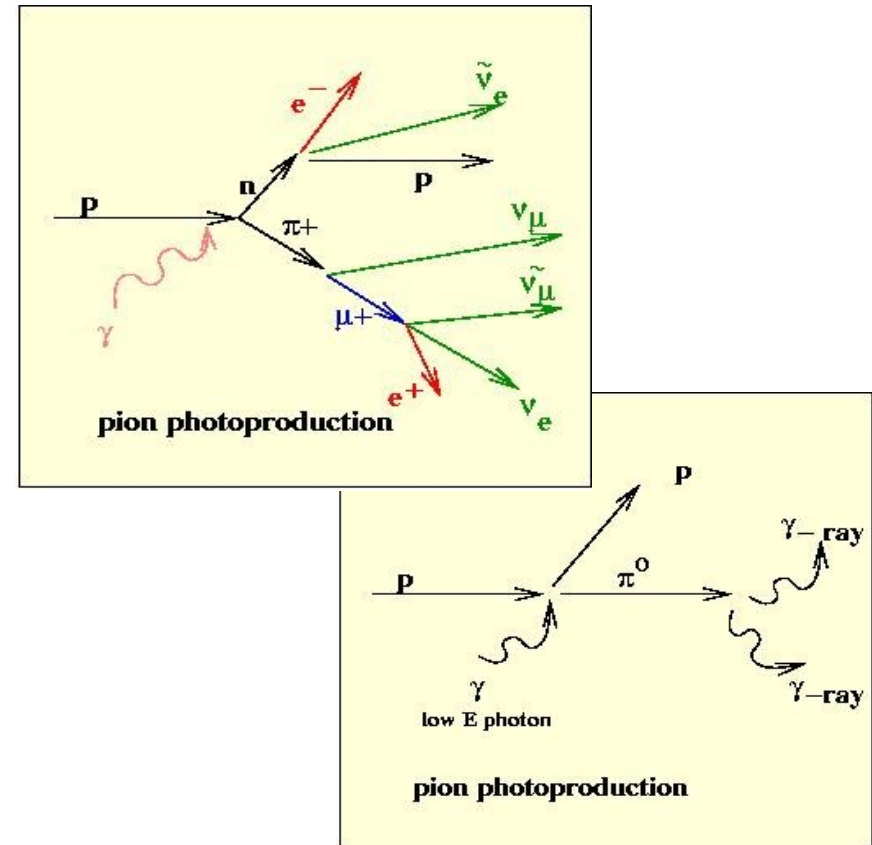
Vysokoenergetické e^- , e^+

- Urychlování:
pouze e^-
zbytky po výbuších
supernov, pulzary
- Sekundární:
produkty interakce
kosmického záření
jediný zdroj e^+ ?



Vysokoenergetické e^- , e^+

- Urychlování:
pouze e^-
zbytky po výbuších
supernov, pulzary
- Sekundární:
produkty interakce
kosmického záření
jediný zdroj e^+ ?



- pp , $p+\text{He}$, $\alpha+\text{H}$,...
- π^\pm , $K^\pm \rightarrow \mu^\pm \rightarrow e^\pm$

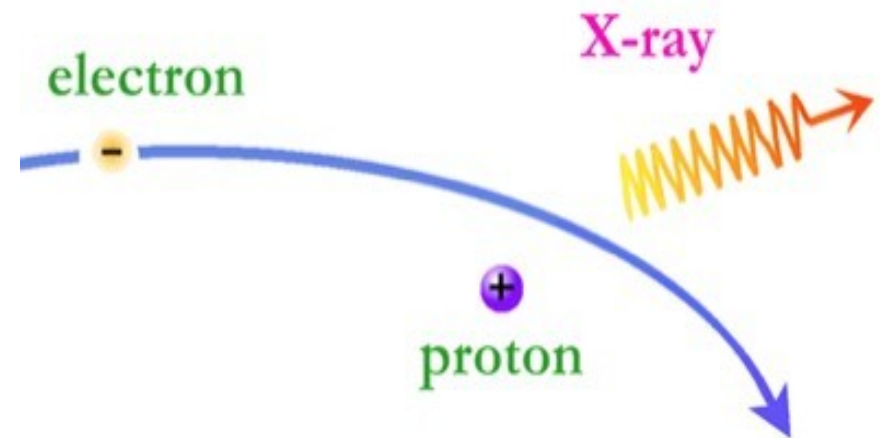
Energetické ztráty

- během šíření v mezihvězdném prostředí
- brzdné záření
- synchrotronové záření
- inverzní Comptonův (IC) rozptyl



Energetické ztráty

- během šíření v mezihvězdném prostředí
- brzdné záření
- synchrotronové záření
- inverzní Comptonův (IC) rozptyl



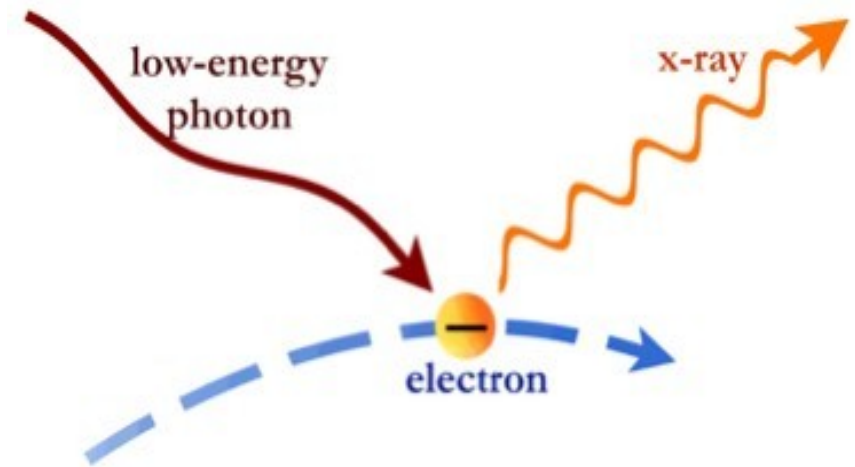
Energetické ztráty

- během šíření v mezihvězdném prostředí
- brzdné záření
- synchrotronové záření
- inverzní Comptonův (IC) rozptyl



Energetické ztráty

- během šíření v mezihvězdném prostředí
- brzdné záření
- synchrotronové záření
- inverzní Comptonův (IC) rozptyl



Radiační doba života

- energetické ztráty:
IC + synch. záření
- radiační doba e^- , e^+
- difúzní pohyb
- max. vzdálenost
zdrojů: 1 kpc
- jen blízké objekty
v naší Galaxii

$$-\frac{dE}{dt} = bE^2$$

- v intervalu energií
1 GeV - 1 TeV

Radiační doba života

- energetické ztráty:
IC + synch. záření
- radiační doba e^- , e^+
- difúzní pohyb
- max. vzdálenost
zdrojů: 1 kpc
- jen blízké objekty
v naší Galaxii

$$-\frac{dE}{dt} = bE^2$$

$$T = 1/bE \simeq 2.5 \times 10^5 \text{ yr}/E \text{ TeV}$$

Radiační doba života

- energetické ztráty:
IC + synch. záření
- radiační doba e^- , e^+
- difúzní pohyb
- max. vzdálenost
zdrojů: 1 kpc
- jen blízké objekty
v naší Galaxii

$$-\frac{dE}{dt} = bE^2$$

$$T = 1/bE \simeq 2.5 \times 10^5 \text{ yr}/E \text{ TeV}$$

$$D \propto E^\delta$$

Radiační doba života

- energetické ztráty:
IC + synch. záření
- radiační doba e^- , e^+
- difúzní pohyb
- max. vzdálenost
zdrojů: 1 kpc
- jen blízké objekty
v naší Galaxii

$$-\frac{dE}{dt} = bE^2$$

$$T = 1/bE \simeq 2.5 \times 10^5 \text{ yr}/E \text{ TeV}$$

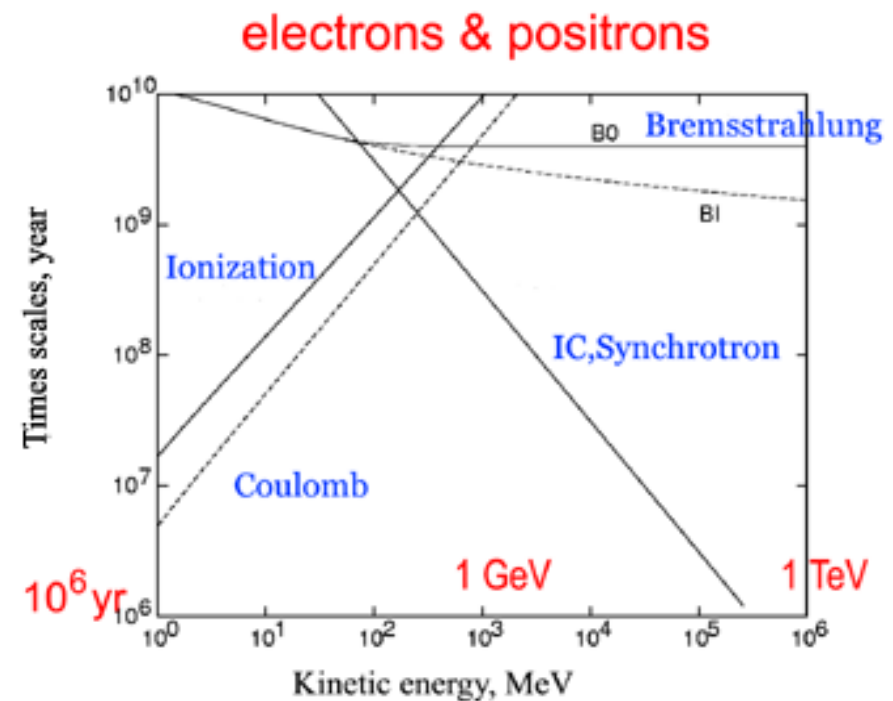
$$D \propto E^\delta$$

$$R = (2DT)^{1/2}$$

Radiační doba života

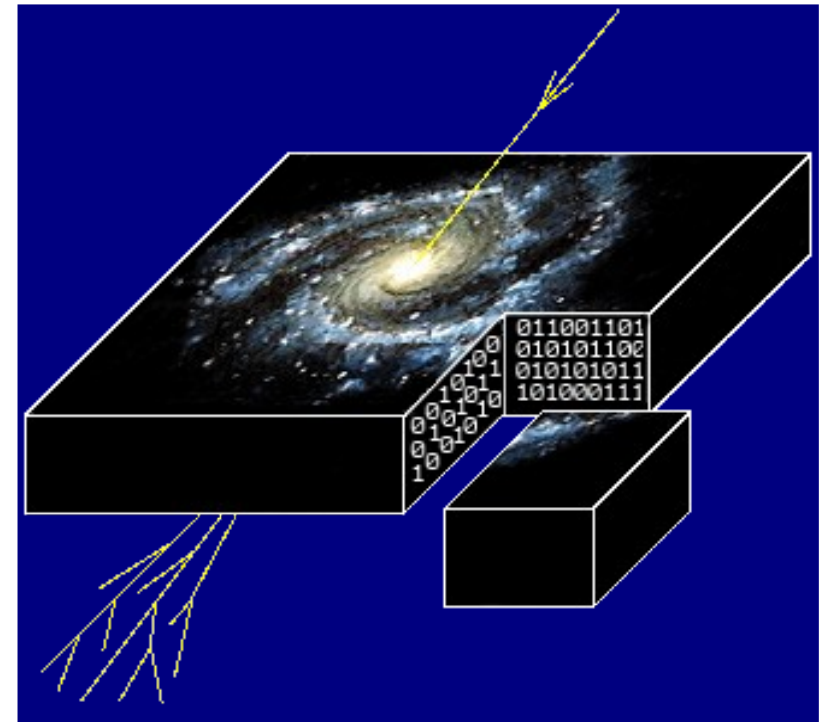
- energetické ztráty:
IC + synch. záření
- radiační doba e^- , e^+
- difúzní pohyb
- max. vzdálenost zdrojů: 1 kpc
- jen blízké objekty
v naší Galaxii

$$-\frac{dE}{dt} = bE^2$$



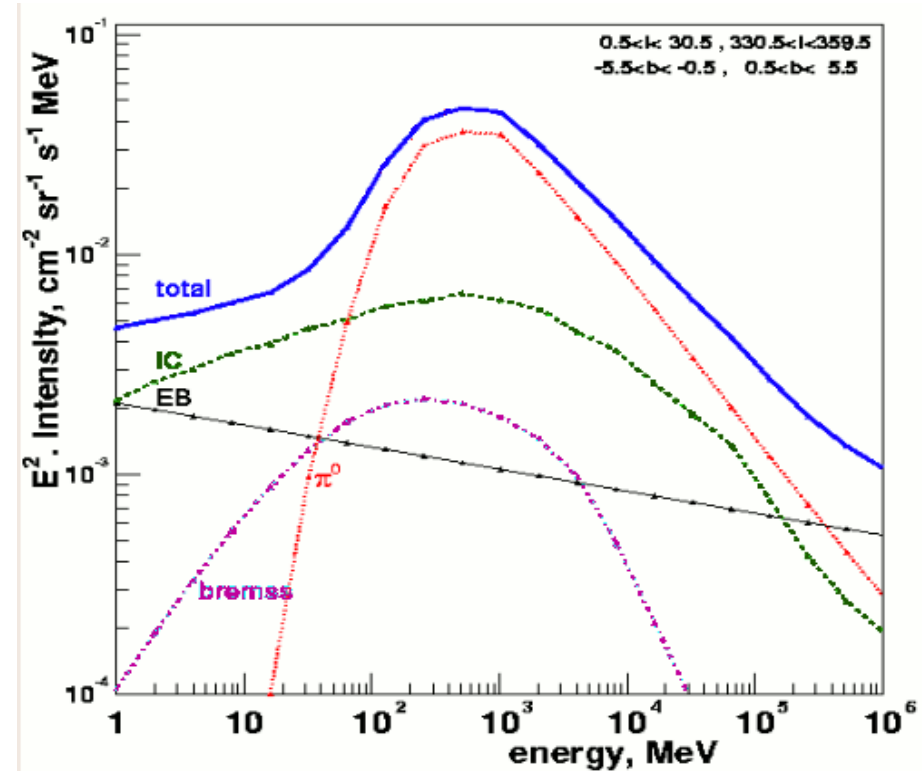
Energetické spektrum

- Moskalenko & Strong:
model šíření částic
v Galaxii
GALPROP [Gal]
- hladký pokles toku
 e^- , e^+ nad ~ 10 GeV
- tvar spektra:
nízké }
vysoké } energie
střední }



Energetické spektrum

- Moskalenko & Strong:
model šíření částic
v Galaxii
GALPROP [Gal]
- hladký pokles toku
 e^- , e^+ nad ~ 10 GeV
- tvar spektra:
 - nízké
 - vysoké
 - střední
 } energie



EB: extragalactic background

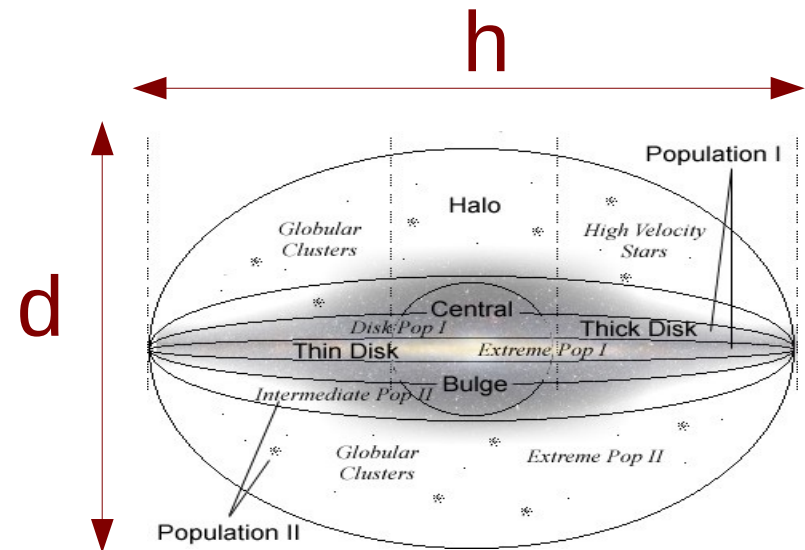
Energetické spektrum

- Moskalenko & Strong:
model šíření částic
v Galaxii
GALPROP [Gal]

- hladký pokles toku
 e^- , e^+ nad ~ 10 GeV

- tvar spektra:

nízké	}	energie
vysoké		
střední		



$$R(E) > h$$

nejvýznamější jsou
úniky částic z Galaxie
(malé radiační ztráty)

$$dN/dE \propto D^{-1} E^{-\alpha}$$

spektrum stejné jako
ve zdroji pro $D \neq f_{ce}(E)$

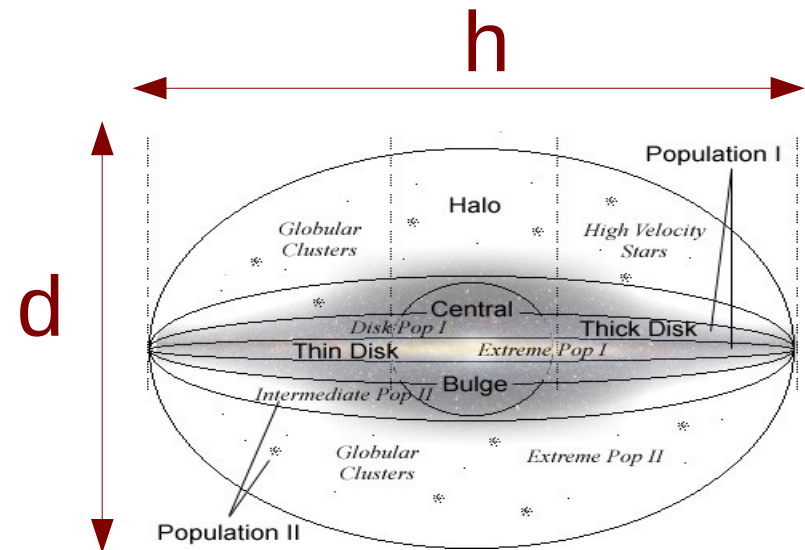
Energetické spektrum

- Moskalenko & Strong:
model šíření částic
v Galaxii
GALPROP [Gal]

- hladký pokles toku
 e^- , e^+ nad ~ 10 GeV

- tvar spektra:

nízké	}	energie
vysoké		
střední		



$R(E) < d$
převažují radiační
ztráty nad úniky částic
z Galaxie

$dN/dE \propto E^{-(\alpha+1)}$
prudký pokles je-li
 $R < \text{vzdálenost zdrojů}$

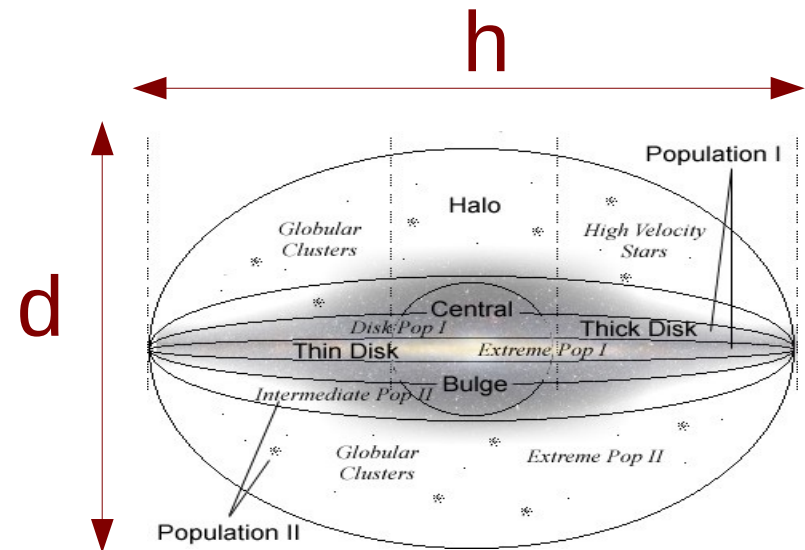
Energetické spektrum

- Moskalenko & Strong:
model šíření částic
v Galaxii
GALPROP [Gal]

- hladký pokles toku
 e^- , e^+ nad ~ 10 GeV

- tvar spektra:

nízké	}	energie
vysoké		
střední		



$$d < R(E) < h$$

objem o rozměru $R(E)$

$$dN/dE \propto D^{-0.5} E^{-(\alpha+0.5)}$$

pokud $D(E)$ obdobný
spektr. index jako pro
vysoké energie

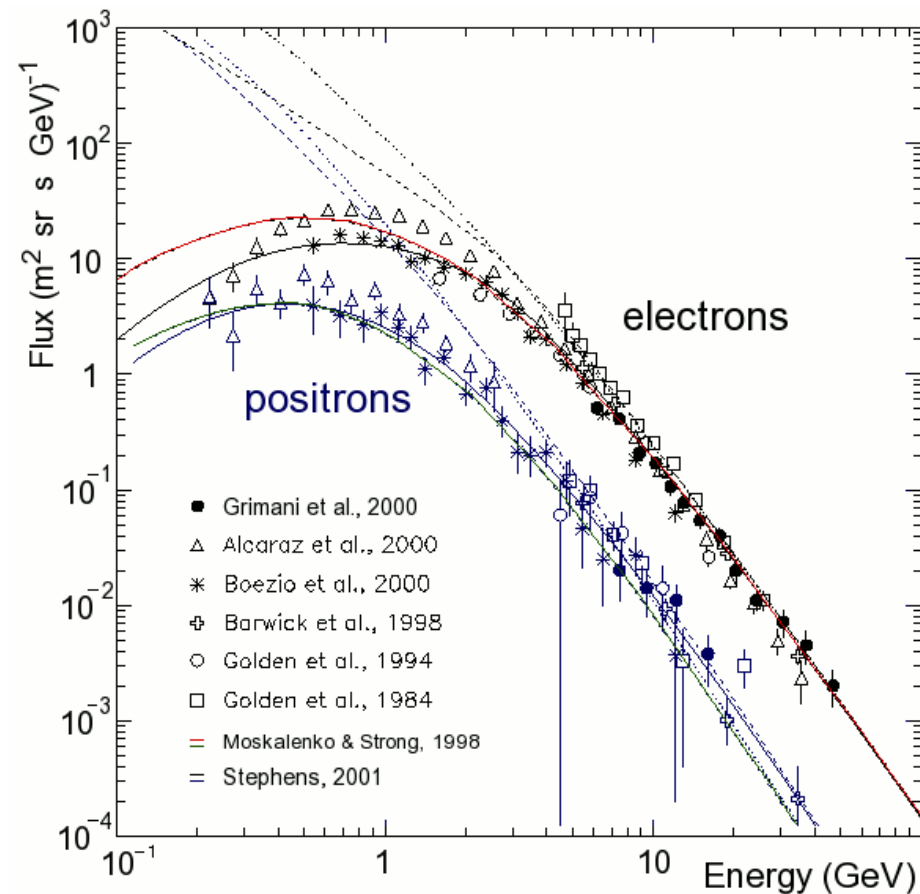


ALL WE
KNOW ABOUT
THE
ELECTRON'S
ORBIT...

AND
ABOUT THE
ANTI-ELECTRON'S
ORBIT...

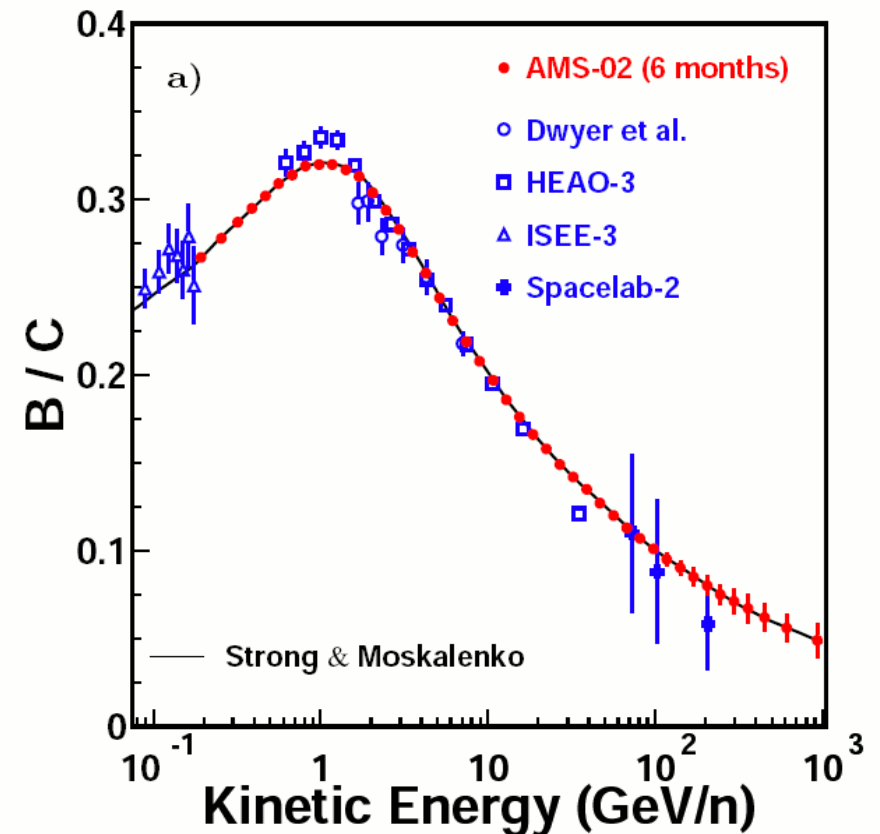
Pozorování

- primární částice:
 $1 \text{ GeV} < E < 1 \text{ TeV}$
 stratosférické balóny
 (atmosférické e^- , e^+)
 satelity
- zastoupení izotopů
- pozitrony / elektrony
- antihmota (anti He)



Pozorování

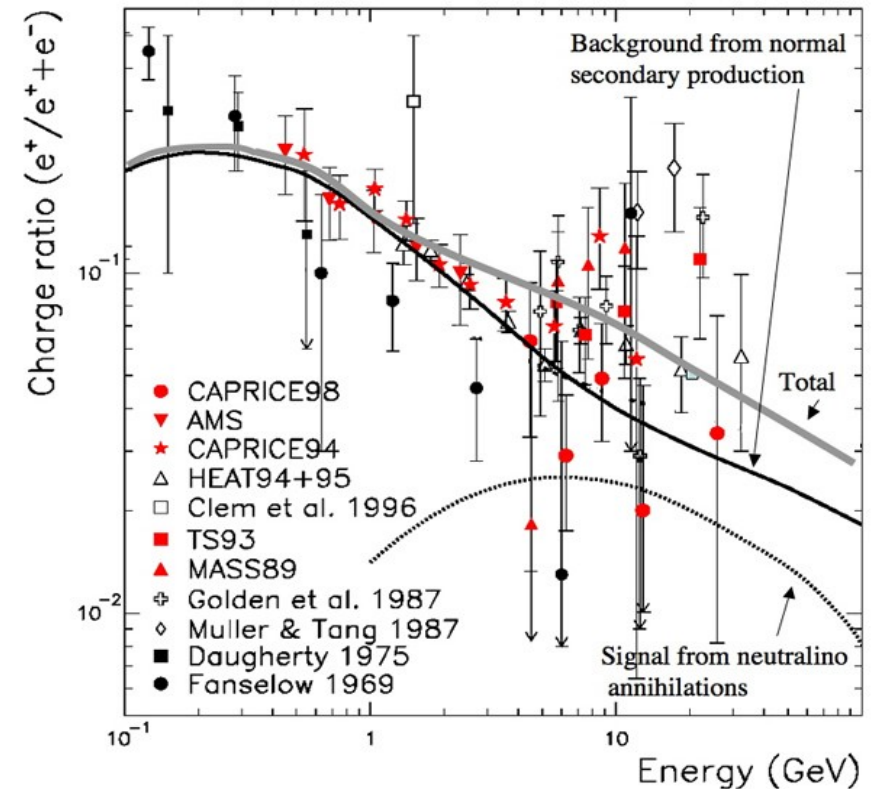
- primární částice:
 $1 \text{ GeV} < E < 1 \text{ TeV}$
 stratosférické balóny
 (atmosférické e^- , e^+)
 satelity
- zastoupení izotopů
- pozitrony / elektrony
- antihmota (anti He)



- určení koeficientu difúze $D \propto E^\delta$

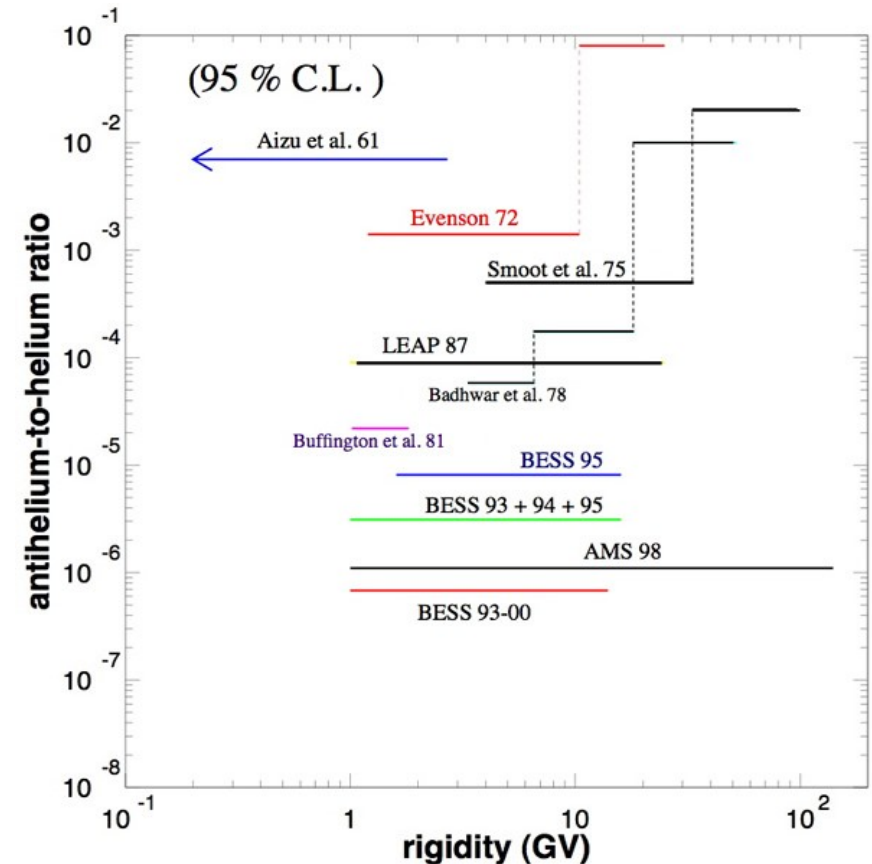
Pozorování

- primární částice:
 $1 \text{ GeV} < E < 1 \text{ TeV}$
 stratosférické balóny
 (atmosférické e^- , e^+)
 satelity
- zastoupení izotopů
- pozitrony / elektrony
- antihmota (anti He)



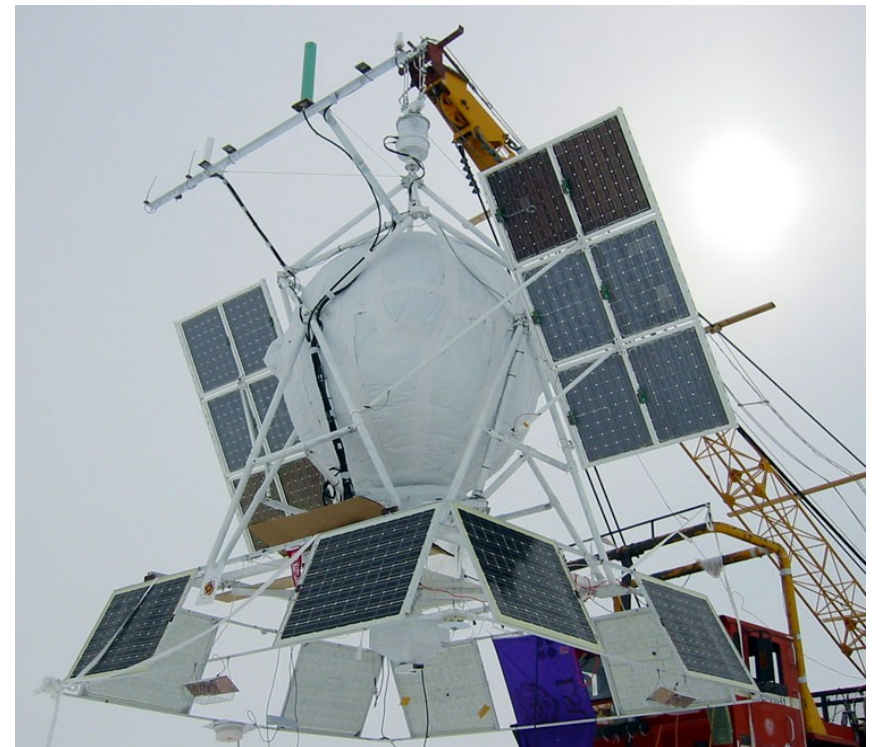
Pozorování

- primární částice:
 $1 \text{ GeV} < E < 1 \text{ TeV}$
 stratosférické balóny
 (atmosférické e^- , e^+)
 satelity
- zastoupení izotopů
- pozitrony / elektrony
- antihmota (anti He)



ATIC: elektroný

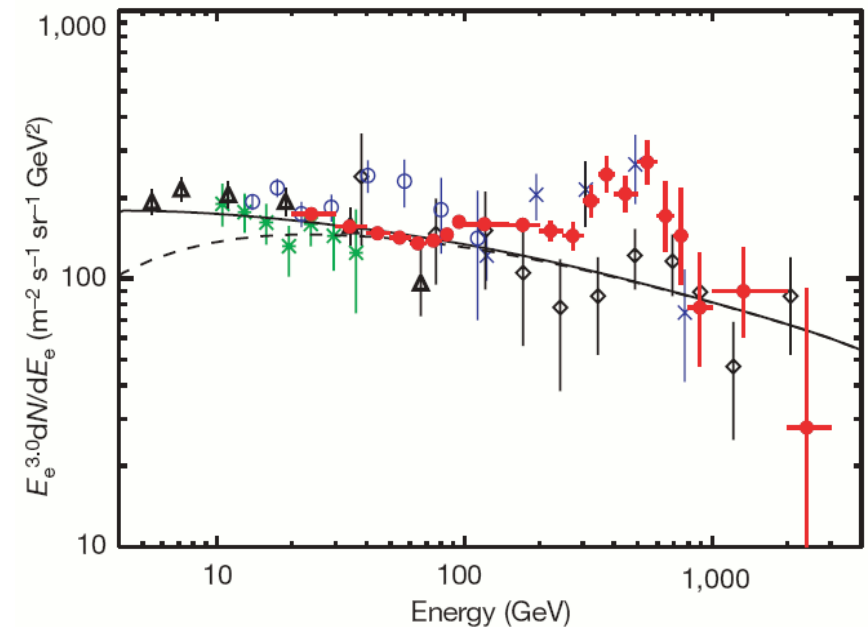
- Advanced Thin Ionization Calorimeter
- spektrum elektronů
- blízké pulzary
- anihilace částic
temné hmoty:
SUSY
extra-dimenze



- 4 balónové lety nad Antarktidou (~48 dní měření)

ATIC: elektrony

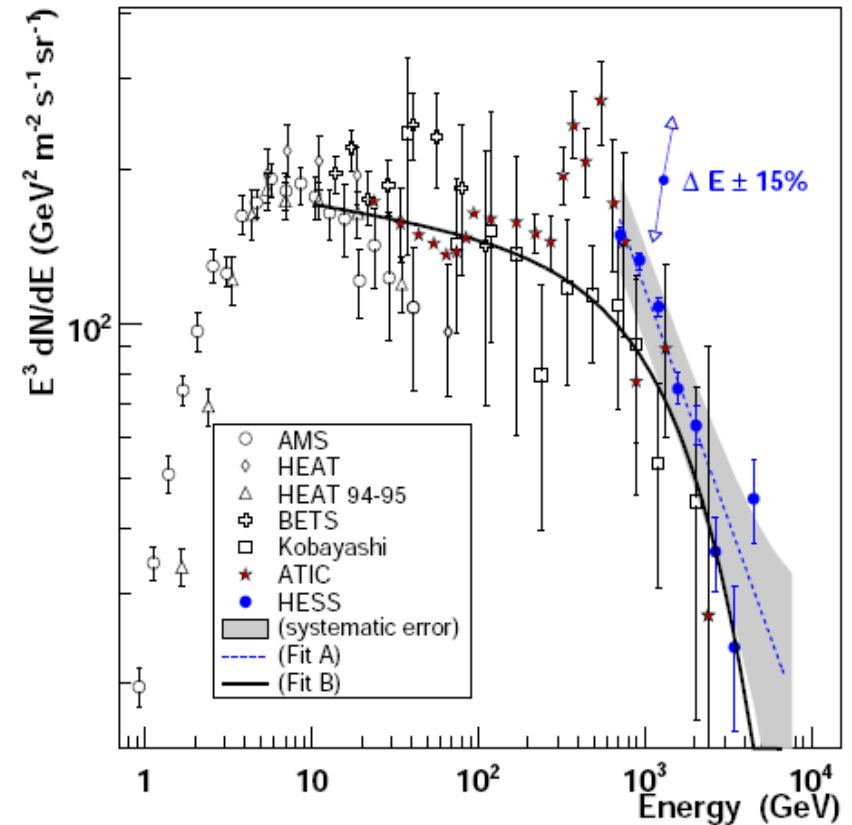
- Advanced Thin Ionization Calorimeter
- spektrum elektronů
- blízké pulzary
- anihilace částic
temné hmoty:
SUSY
extra-dimenze



- 300 - 800 GeV:
ATIC: 210
GALPROP: 140

ATIC: elektrony

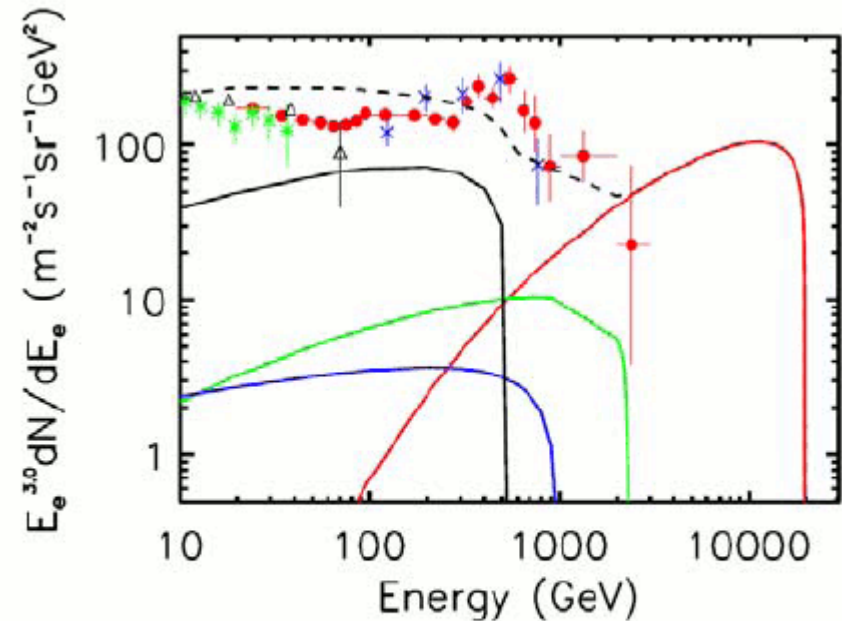
- Advanced Thin Ionization Calorimeter
- spektrum elektronů
- blízké pulzary
- anihilace částic
temné hmoty:
SUSY
extra-dimenze



- výsledky H.E.S.S.u

ATIC: elektrony

- Advanced Thin Ionization Calorimeter
- spektrum elektronů
- blízké pulzary
- anihilace částic
temné hmoty:
SUSY
extra-dimenze



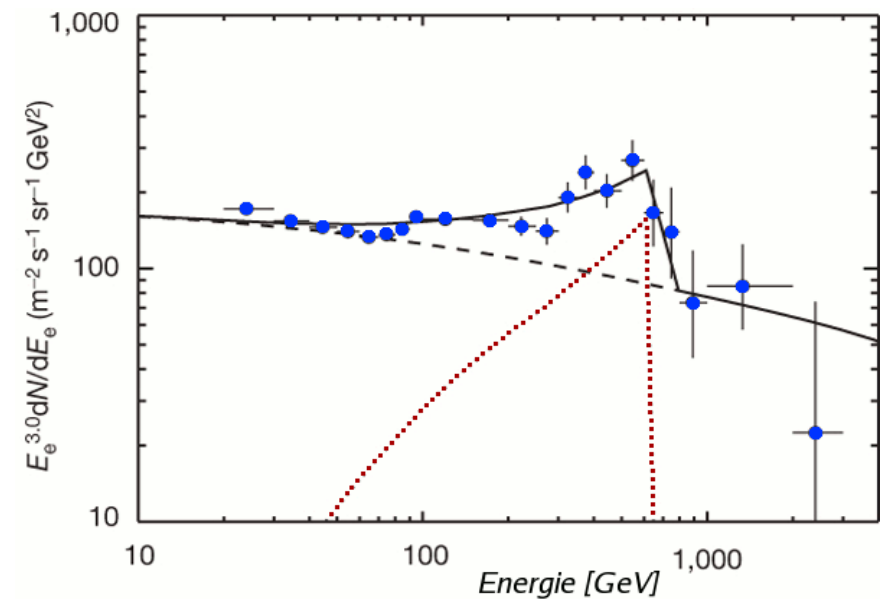
Predicted electron spectrum for a Geminga source with its intensity 60 times higher than the model.

- zdroj musí mít
úzké spektrum

ATIC: elektrony

- Advanced Thin Ionization Calorimeter
- spektrum elektronů
- blízké pulzary
- anihilace částic
temné hmoty:
SUSY
extra-dimenze

- neutralina produkují široké spektrum e^-

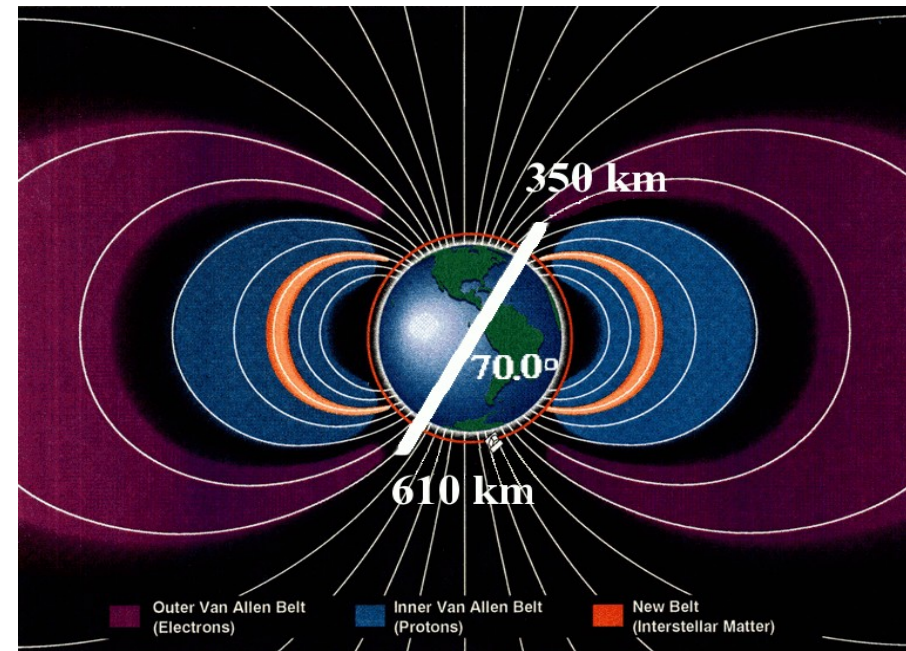


- anihilace 620 GeV
Kaluza-Klein č.

PAMELA

- Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics
- spektrometr (0.43 T)
rigidita = hybnost/m
náboj
- Si-W kalorimetr
16 radiačních délek
0.6 jaderných
interakčních délek

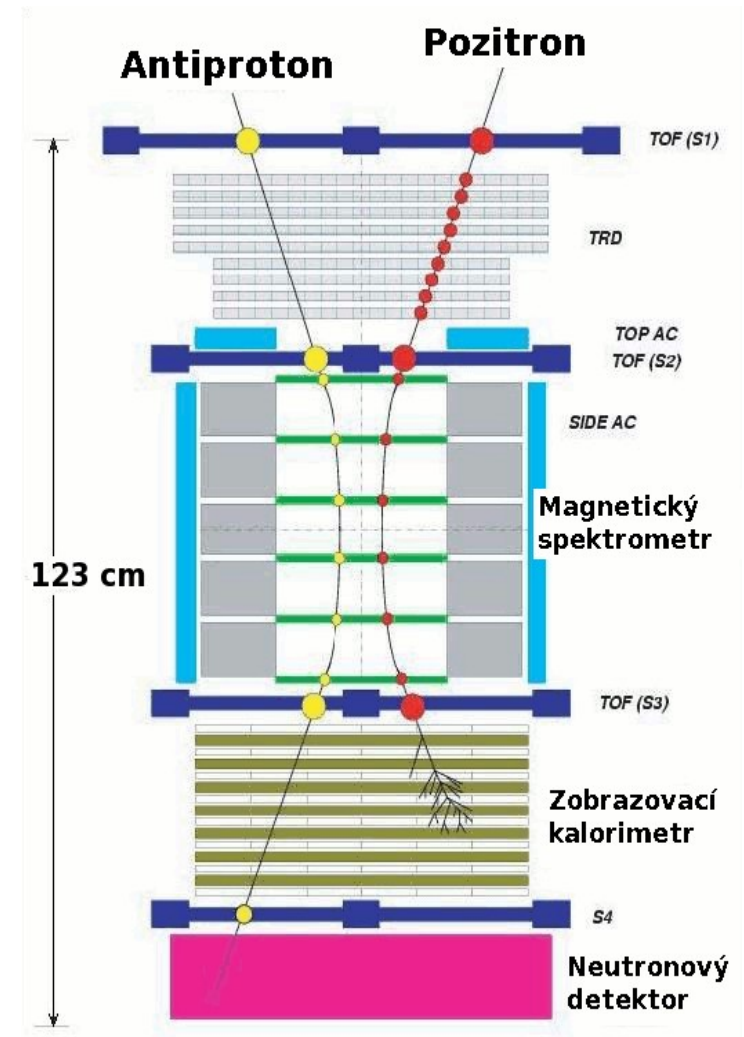
- start 15. 6. 2006



- 500 dní měření
- 1.5 - 100 GeV
- 9430 e⁺

PAMELA

- Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics
- spektrometr (0.43 T)
rigidita = hybnost/m
náboj
- Si-W kalorimetr
16 radiačních délek
0.6 jaderných
interakčních délek



- FOV $19^\circ \times 19^\circ$
- $21.5 \text{ cm}^2 \text{ sr}$

PAMELA

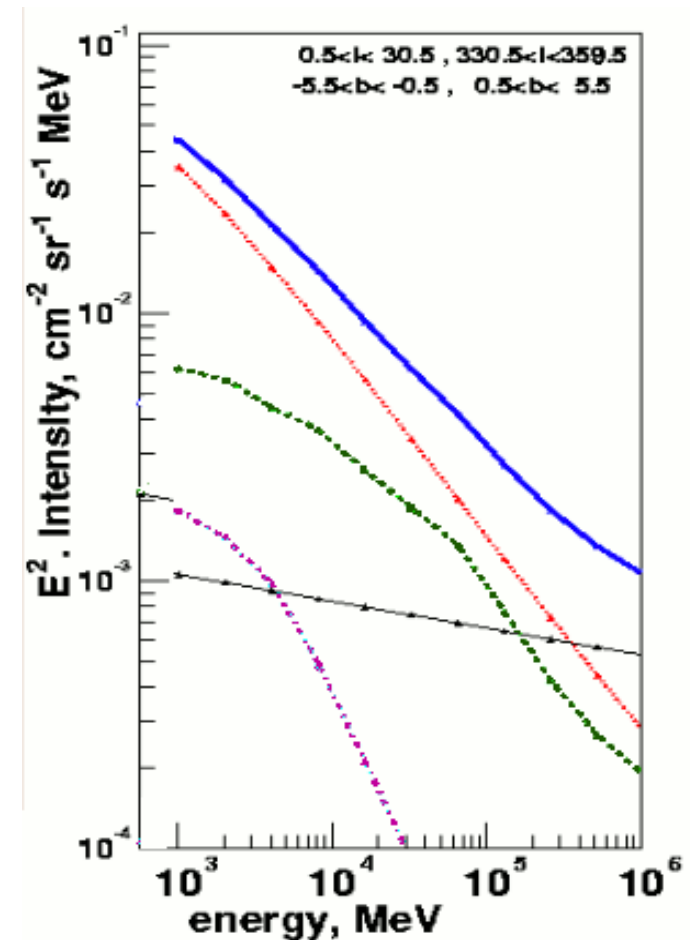
- Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics
- spektrometr (0.43 T)
rigidita = hybnost/m
náboj
- Si-W kalorimetr
16 radiačních délek
0.6 jaderných
interakčních délek

Identifikace e^- / e^+

- poměr zastoupení
částic při 10 GV:
 e^+ 1, p^+ 10^3
 e^- 10, p^- 10^{-1}
- podélný i příčný
profil spršek
- ověřování (CERN)
chyba $< 10^{-5}$
80% účinnost

Křivky PAMELY

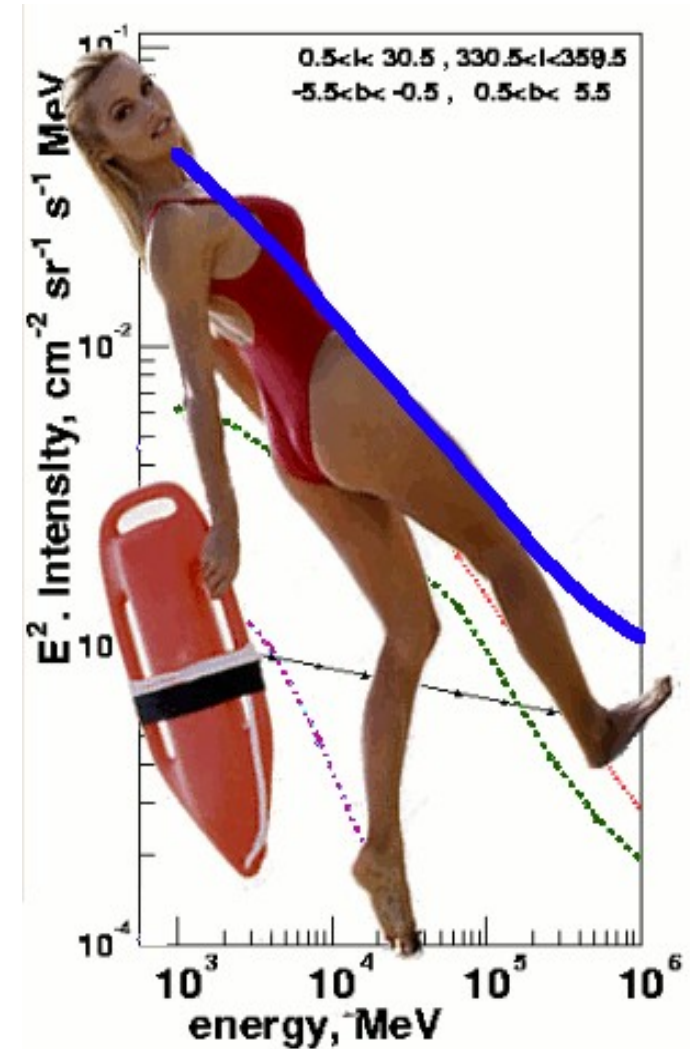
- modelová předpověď pro pozitrony
- pozorování PAMELY
- energie < 5 GeV: sluneční cyklus
- nad 10 GeV: nadbytek e^+ rostoucí s energií



- pouze sekundární e^+

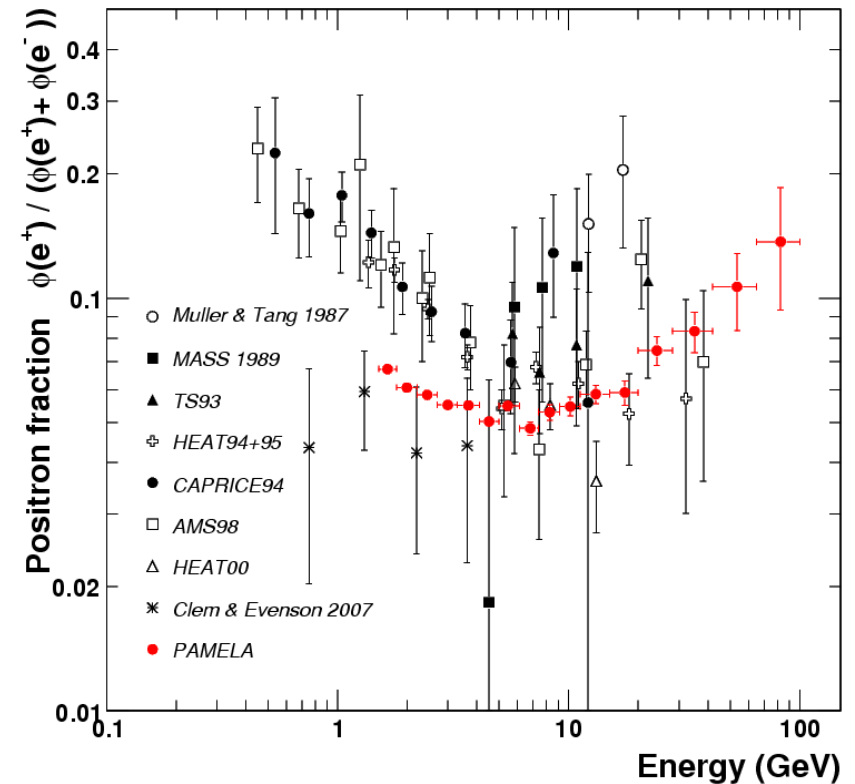
Křivky PAMELY

- modelová předpověď pro pozitrony
- pozorování PAMELY
- energie < 5 GeV:
sluneční cyklus
- nad 10 GeV:
nadbytek e^+
rostoucí s energií



Křivky PAMELY

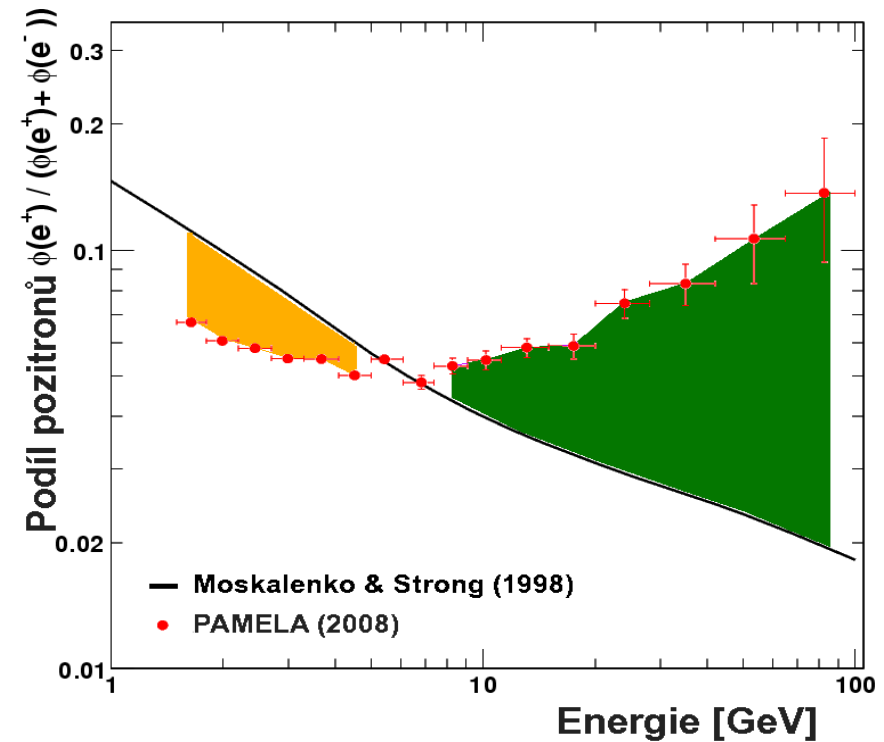
- modelová předpověď pro pozitrony
- pozorování PAMELY
- energie < 5 GeV: sluneční cyklus
- nad 10 GeV: nadbytek e^+ rostoucí s energií



- polarita slunečního magnetického pole

Křivky PAMELY

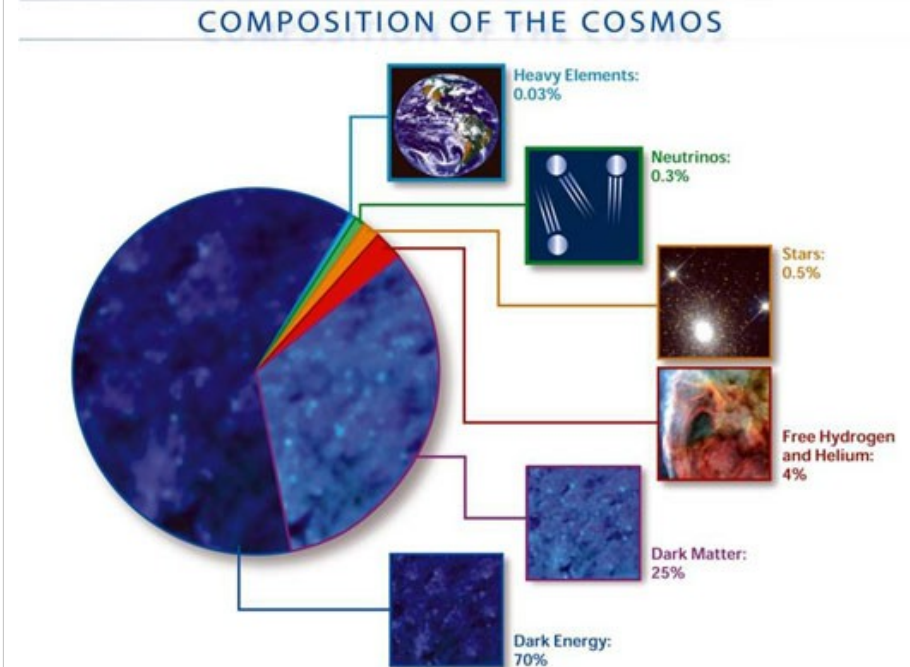
- modelová předpověď pro pozitrony
- pozorování PAMELY
- energie < 5 GeV: sluneční cyklus
- nad 10 GeV: nadbytek e^+ rostoucí s energií



- chyba modelu
- křevce u pulzarů
- anihilace částic temné hmoty

Závěr

- rtg. a gama záření
- antiprotony
- reliktní záření
- nepřímá pozorování
temné hmoty [Hoo]



Literatura

- [Adr] Adriani, O. et al.: arXiv:0810.4995 (2008)
- [Aha] Aharonian, F. A. et al.: Nature 432 (2004)
- [Ah2] Aharonian, F. A. et al.: arXiv:0811.3894 (2008)
- [Ati] <http://atic.phys.lsu.edu/aticweb/>
- [Cer] <http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/HST2002/Bubblech/>
- [Cha] Chang, J. et al.: Nature 456 (2008)
- [Gal] http://galprop.stanford.edu/web_galprop/galprop_home.html
- [Gri] Grimani, C. et al.: A&A 392 (2002)
- [Hoo] Hooper, D.: arXiv:0710.2062 (2007)
- [Kob] Kobayashi, T. et al.: ApJ 601 (2004)
- [Mos] Moskalenko, I.V. & Strong, A.W.: ApJ 509 (1998)
- [Mul] Muller, D.: Adv. Space Res. 27 (2001)
- [Pam] <http://pamela.roma2.infn.it/index.php>
- [Phy] <http://www.physics.adelaide.edu.au/astrophysics/theory/interactions.html>
- [Zat] <http://www.sslmit.unibo.it/zat/images/cartography/>