



AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY

Badamy Model Standardowy z najwyższą precyzją. Szukamy Nowej Fizyki.

AGH w LHCb

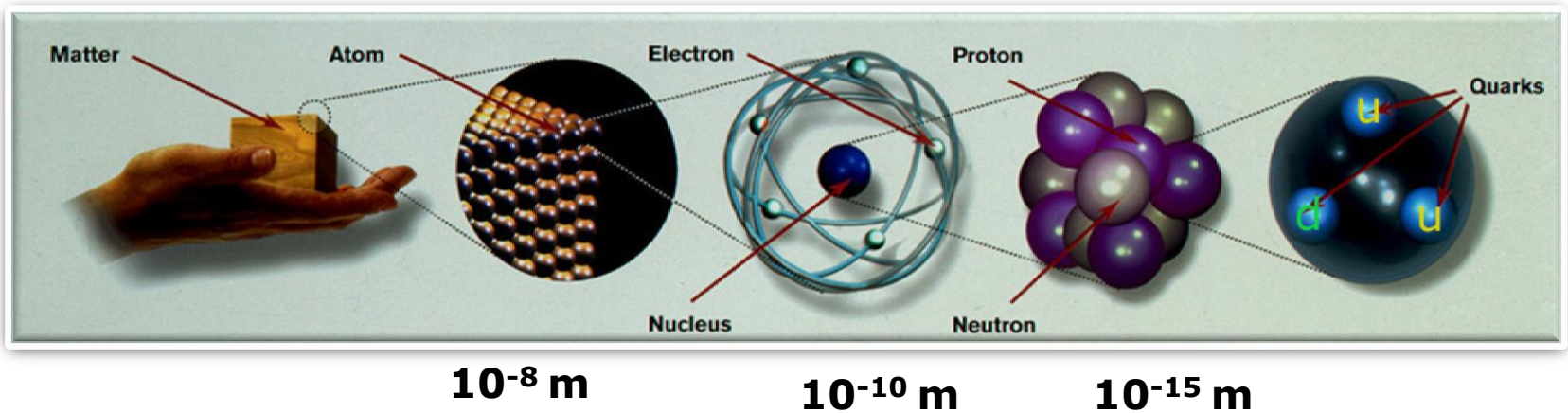
Agnieszka Obłąkowska-Mucha
(w imieniu grupy)
Katedra Oddziaływań i Detekcji Cząstek

Plan

1. Model Standardowy – trzecie pokolenie.
2. Wyznaczanie parametrów macierzy CKM.
3. Eksperyment LHCb.
4. Monitorowanie krzemowego detektora wierzchołka.
 - zniszczenia radiacyjne
5. Przyszłość.

Budowa materii

Obecna wiedza o najmniejszych składnikach materii sięga rozmiarów poniżej 10^{-18} m



Trzy lżejsze (u,d,s) kwarki (Gell-Mann, Zweig 1964) były początkowo matematycznymi obiektami, które wyjaśniały uporządkowany schemat hadronów.

Lata 70-te to okres odkryć dwóch cięższych kwarków c i b.

Szósty (ostatni ?) kwark t potwierdzony został w roku 1995.

Model Standardowy-fermiony

Teoria opisująca kwarki i leptony (fermiony) oraz łączące je oddziaływania (poprzez wymianę bozonów). **Wszystkie „cegiełki” zostały już odkryte.**

FERMIONS matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...					
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_L lightest neutrino*	$(0-0.13)\times 10^{-9}$	0	u up	0.002	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.005	-1/3
ν_M middle neutrino*	$(0.009-0.13)\times 10^{-9}$	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_H heaviest neutrino*	$(0.04-0.14)\times 10^{-9}$	0	t top	173	2/3
τ tau	1.777	-1	b bottom	4.2	-1/3

Kwarki mają masę, spin, ładunek elektryczny i kolorowy

Najlżejsze leptony (elektron, neutrino) i kwarki u, d tworzą ziemską materię

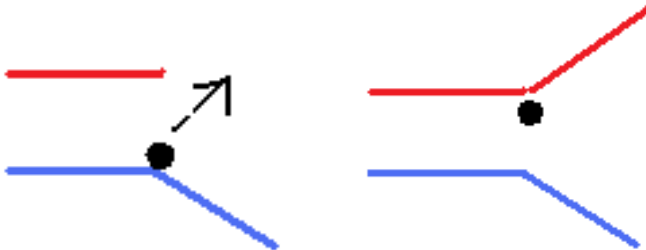
Trochę **cięższe** leptony (miony) i kwarki s przylatują z kosmosu

Najcięższe leptony (tau) i kwarki c,b, t, powstały podczas Wielkiego Wybuchu (i się rozpadły)

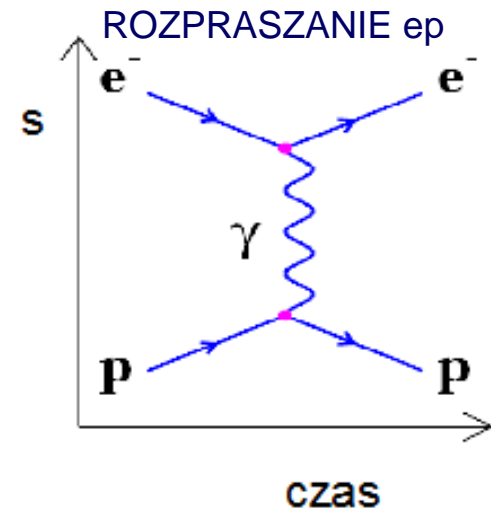
Model Standardowy-oddziaływania

- Struktura MS opisuje dwa typy oddziaływań pomiędzy fermionami:
 - silne (chromodynamika kwantowa QCD)
 - elektroslabe (EW)
- Oddziaływania przenoszone są przez bozony pośredniczące: gluony, fotony oraz bozony W^\pm i Z^0 .

Porównanie: dwie osoby rzucają do siebie piłkę – widzimy **zmianę pędu**, ale nawet, gdyby piłki nie było widać, byłibyśmy pewni, że została rzucona.

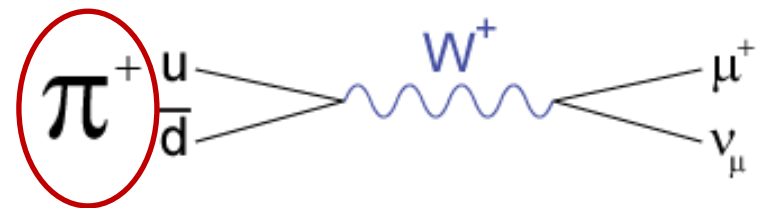
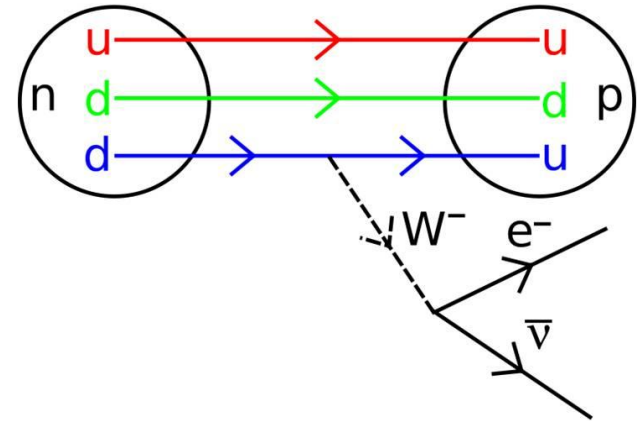
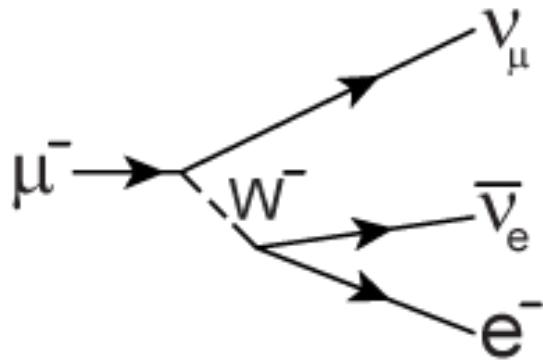


elektron oddziałuje z protonem wymieniając foton.
obserwujemy pędy cząstek



Oddziaływania słabe

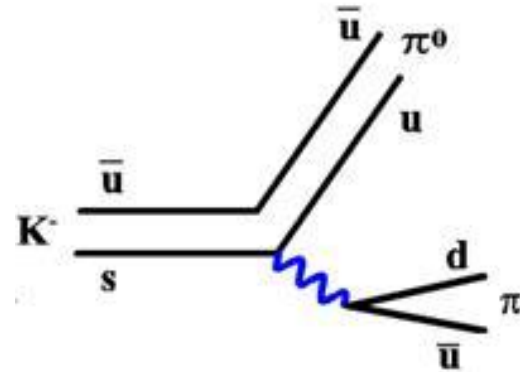
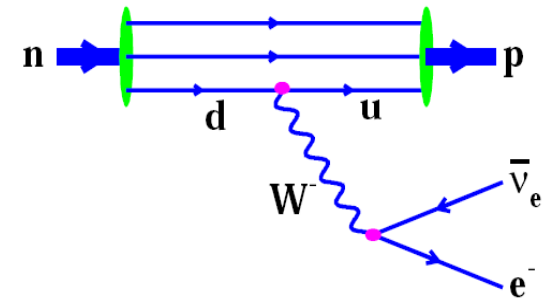
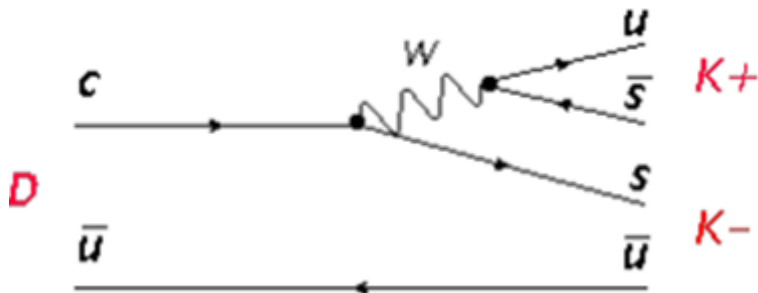
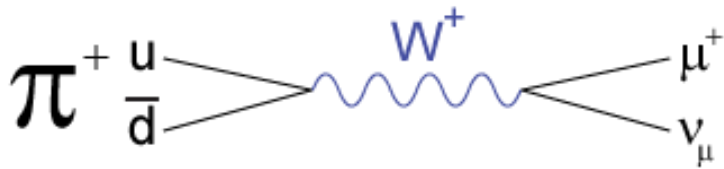
- Znane głównie z jądrowych rozpadów β :
- Przez oddziaływania słabe rozpadają się **miony**, **piony**, produkowana jest energia słoneczna.



W oddziaływaniach słabych uczestniczą leptony (również neutrina!) oraz kwarki

Oddziaływania słabe kwarków

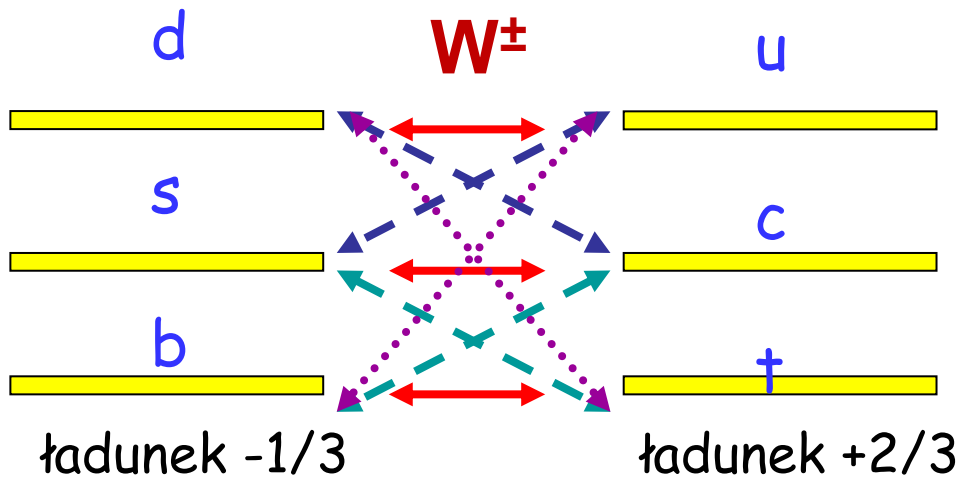
- W każdym wierzchołku emisji W następuje zmiana rodzaju kwarka!



Oddziaływania słabe zmieniają zapach *materi!*

Oddziaływania słabe pomiędzy kwarkami

- Dla każdego procesu:
 - można policzyć prawdopodobieństwo,
 - mierzyć przekrój czynny.
- Okazuje się, że **najczęściej** zachodzą oddziaływania pomiędzy kwarkami w tej **samej rodzinie**.
- Obserwuje się (odpowiednio **rzadziej**) również przejścia o **jedną, a nawet dwie rodziny!**



— $O(1)$
 - - $O(\lambda)$
 - - $O(\lambda^2)$
 $O(\lambda^3)$

$$\lambda = \sin \theta_{12} \approx 0.23$$

Brak antymaterii

- Przypomnijmy: jednym z trzech **warunków A.Saharowa** koniecznych do wyjaśnienia dominacji materii nad antymaterią było istnienie procesu, który działa inaczej na materię niż na antymaterię.
- Jest to możliwe przy obserwacji łamania **parzystości kombinowanej ładunkowo-przestrzennej (CP)**.
- Obecnie obserwuje się ją w **sektorze elektroślabym**, ale są przesłanki mówiące o tym, że symetria CP w większym stopniu niezachowana powinna być w **oddziaływaniach silnych** (trudniejsze doświadczalnie).

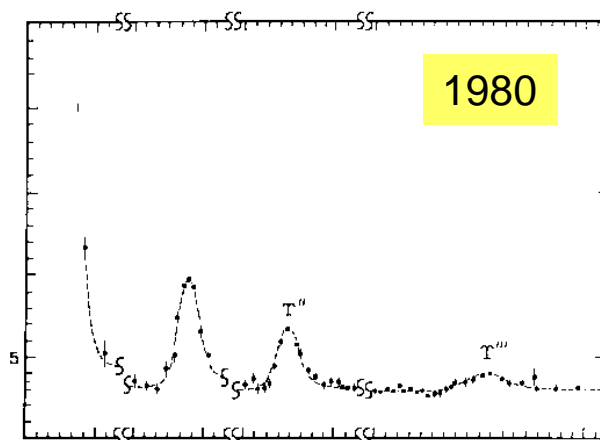
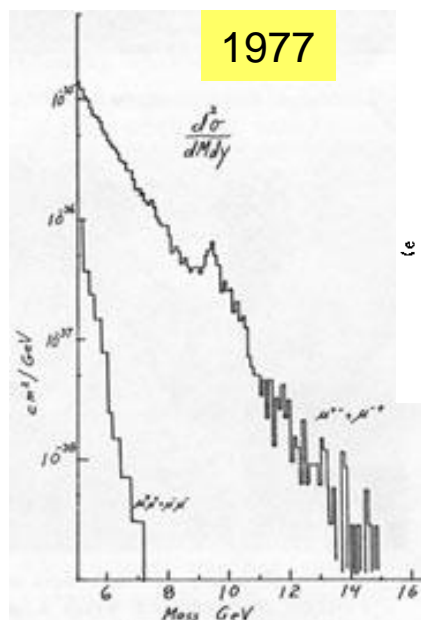
Z punktu widzenia poszukiwań procesów łamiących symetrię materia-antymateria bardzo atrakcyjne jest badanie stanów zawierających **kwark b**.



Jest on na tyle ciężki, że rozpada się na wiele różnych stanów końcowych, ale i wystarczająco „lekki”, aby mógł być produkowany w laboratorium w dużych ilościach.

Piękne (powabne) mezony

Odkrycie kwarku b i całego spektrum bottomium (modele potencjalne)



Odkrycie $\Upsilon(4S)$
i „bottomium”
Cornell

Obserwacja mezonu b,
spektrum mionów, Fermilab

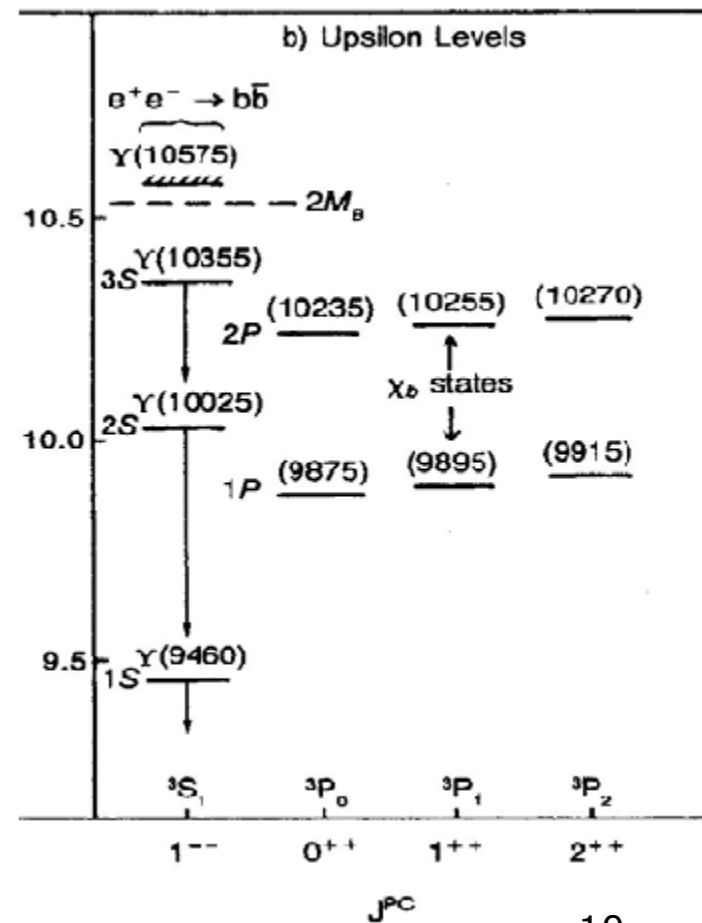


Tabela z rozpadami mezonów B ma ponad 1000 pozycji!

B⁰ DECAY MODES		Scale factor/ Confidence level
Mode	Fraction (Γ_i/Γ)	
Γ_1 $\ell^+ \nu_\ell$ anything	[a] (10.33 ± 0.28) %	
Γ_2 $e^+ \nu_e X_C$	(10.1 ± 0.4) %	
Γ_3 $D \ell^+ \nu_\ell$ anything	(9.2 ± 0.8) %	
Γ_4 $D^- \ell^+ \nu_\ell$	[a] (2.18 ± 0.12) %	
Γ_5 $D^- \tau^+ \nu_\tau$	(1.1 ± 0.4) %	
Γ_6 $D^*(2010)^- \ell^+ \nu_\ell$	[a] (4.95 ± 0.11) %	
Γ_7 $D^*(2010)^- \tau^+ \nu_\tau$	(1.5 ± 0.5) %	S=1.4
Γ_8 $\bar{D}^0 \pi^- \ell^+ \nu_\ell$	(4.3 ± 0.6) × 10 ⁻³	
Γ_9 $D_0^*(2400)^- \ell^+ \nu_\ell \times$ $B(D_0^{*-} \rightarrow \bar{D}^0 \pi^-)$	(3.0 ± 1.2) × 10 ⁻³	S=1.8
Γ_{10} $D_2^*(2460)^- \ell^+ \nu_\ell \times$ $B(D_2^{*-} \rightarrow \bar{D}^0 \pi^-)$	(1.21 ± 0.33) × 10 ⁻³	S=1.8
>>> <<<<		
Γ_{440} $K^0 e^+ e^-$	B1 (1.6 \pm 1.0 / $-$ 0.8) × 10 ⁻⁷	
Γ_{441} $K^0 \mu^+ \mu^-$	B1 (3.8 ± 0.8) × 10 ⁻⁷	
Γ_{442} $K^0 \nu \bar{\nu}$	B1 < 5.6 × 10 ⁻⁵	CL=90%
Γ_{443} $\rho^0 \nu \bar{\nu}$	B1 < 4.4 × 10 ⁻⁴	CL=90%
Γ_{444} $K^*(892)^0 \ell^+ \ell^-$	B1 [a] (9.9 \pm 1.2 / $-$ 1.1) × 10 ⁻⁷	
Γ_{445} $K^*(892)^0 e^+ e^-$	B1 (1.03 \pm 0.19 / $-$ 0.17) × 10 ⁻⁶	

B_s⁰ DECAY MODES

Γ_1 D_s^- anything	(93 ± 25) %
Γ_2 $\ell \nu_\ell X$	(9.5 ± 2.7) %
Γ_3 $D_s^- \ell^+ \nu_\ell$ anything	[a] (7.9 ± 2.4) %
Γ_4 $D_{s1}^-(2536)^- \mu^+ \nu_\mu,$ $D_{s1}^- \rightarrow D^{*-} K_S^0$	(2.5 ± 0.7) × 10 ⁻³
Γ_5 $D_{s1}^-(2536)^- X \mu^+ \nu,$ $D_{s1}^- \rightarrow \bar{D}^0 K^+$	(4.3 ± 1.7) × 10 ⁻³
Γ_6 $D_{s2}^-(2573)^- X \mu^+ \nu,$ $D_{s2}^- \rightarrow \bar{D}^0 K^+$	(2.6 ± 1.2) × 10 ⁻³
Γ_7 $D_s^- \pi^+$	(3.2 ± 0.4) × 10 ⁻³
Γ_8 $D_s^- \rho^+$	(7.4 ± 1.7) × 10 ⁻³
Γ_9 $D_s^- \pi^+ \pi^+ \pi^-$	(6.5 ± 1.2) × 10 ⁻³
Γ_{10} $D_s^+ K^\pm$	(2.9 ± 0.6) × 10 ⁻⁴
Γ_{11} $D_s^+ D_s^-$	(5.3 ± 0.9) × 10 ⁻³
Γ_{12} $D_s^{*-} \pi^+$	(2.1 ± 0.6) × 10 ⁻³
Γ_{13} $D_s^{*-} \rho^+$	(1.03 ± 0.26) %
Γ_{14} $D_s^{*+} D_s^- + D_s^{*-} D_s^+$	(1.24 ± 0.21) %
Γ_{15} $D_s^{*+} D_s^{*-}$	(1.88 ± 0.34) %
Γ_{16} $D_s^{(*)+} D_s^{(*)-}$	(4.5 ± 1.4) %
Γ_{17} $\bar{D}^0 \bar{K}^*(892)^0$	(4.7 ± 1.4) × 10 ⁻⁴
Γ_{18} $J/\psi(1S) \phi$	(1.09 \pm 0.28 / $-$ 0.23) × 10 ⁻³
Γ_{19} $J/\psi(1S) \pi^0$	< 1.2 × 10 ⁻³
Γ_{20} $J/\psi(1S) \eta$	(5.1 \pm 1.3 / $-$ 1.0) × 10 ⁻⁴
Γ_{21} $J/\psi(1S) K^0$	(3.6 ± 0.8) × 10 ⁻⁵
Γ_{22} $J/\psi(1S) K^{*0}$	(9 ± 4) × 10 ⁻⁵
Γ_{23} $J/\psi(1S) \eta'$	(3.7 \pm 1.0 / $-$ 0.9) × 10 ⁻⁴

Parzystość ładunkowa C

- Zdefiniujmy najpierw własności cząstek i antycząstek:

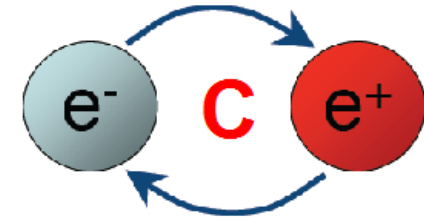
Cząstka: ładunek q , masa m , spin s , pęd p , moment pędu L .

Antycząstka: ładunek $-q$, masa m , spin s , pęd p , moment pędu L .

- Operator C sprzężenia ładunkowego (zamiana cząstka-antycząstka):

$$C|\Psi\rangle = |\bar{\Psi}\rangle$$

jego działanie polega na zmianie znaku ładunku i momentu magnetycznego na przeciwny.



$$p \longleftrightarrow \bar{p}$$

$$\gamma \longleftrightarrow \gamma$$

- Neutralne cząstki π^0 , γ , będące swoimi antycząstkami mają określoną parzystość $C=\pm 1$, naładowane – nie są stanami własnymi operatora C .

Oddziaływania elektromagnetyczne i silne są niezmiennicze względem symetrii C , co oznacza, że procesy te zachodzą tak samo często dla cząstek, jak i antycząstek.

Parzystość przestrzenna P

- Transformacja dyskretna polegająca na inwersji układu współrzędnych. Wektory zmieniają znak, pseudowektory (s, L) - nie.

$$\begin{array}{ccc}
 \vec{r} & \longleftrightarrow & -\vec{r} \\
 \vec{p} & \xleftrightarrow{\mathbf{P}} & -\vec{p} \\
 \vec{L} & \xleftrightarrow{\mathbf{P}} & \vec{L}
 \end{array}$$

- Parzystość fermionu przypisywana jest w sposób umowny, ale parzystości fermionu i antyfermionu są przeciwne (Dirac).
- Parzystość mezonu jest równa parzystości poszczególnych kwarków i zależy od ich względnego momentu pędu.
- W badaniach nad łamaniem P określa się **SKRĘTNOŚĆ**:

$$\lambda = \frac{\vec{p} \cdot \vec{s}}{|\vec{p}| |\vec{s}|}$$
 $\lambda = \pm 1$

 gdy skrętność zmienia się podczas procesu – symetria P jest łamana

NEUTRINA oddziałują **tylko słabo** i występują tylko jako cząstki o $\lambda = -1$



W oddziaływaniach silnych i elektromagnetycznych parzystości P jest zachowana, oddz. słabe maksymalnie ją łamią.

Parzystość kombinowana CP

- Doświadczenia pokazały, że z trzech typów omówionych oddziaływań, jedynie oddziaływanie słabe nie zachowują symetrii C, ani P i dzięki nim możliwe jest rozróżnienie pomiędzy cząstkami a antycząstkami.

Neutrino obserwowane są jedynie w stanach lewoskrętnych, antyneutrino – prawoskrętnych, czyli po transformacjach osobno C i P dostajemy stany, które nie są obserwowane:

$$C|\nu_L\rangle \rightarrow |\bar{\nu}_L\rangle$$

$$P|\nu_L\rangle \rightarrow |\nu_R\rangle$$

Dokonując natomiast kolejno transformacji C i P powstanie prawoskrętne antyneutrino-

obserwowane: $CP|\nu_L\rangle \rightarrow |\bar{\nu}_R\rangle$

Zachowanie parzystości ładunkowo-przestrzennej CP oznacza, że dla każdego procesu elementarnego, po dokonaniu sprzężenia ładunkowego C i odbicia zwierciadlanego P, otrzymamy realny proces fizyczny, który zachodzi z identyczną częstością.

Stany własne CP

- Równanie własne operatora CP dla neutralnych mezonów B: B^0 i \bar{B}^0

$$\hat{C}\hat{P}|B^0\rangle = \eta|\bar{B}^0\rangle$$

$$\hat{C}\hat{P}|b\bar{d}\rangle = \eta|\bar{b}d\rangle$$

stany B^0 (ani \bar{B}^0) nie są stanami własnymi CP,

ale spróbujemy podzielić CP na kombinację B^0 i \bar{B}^0 :

$$\hat{C}\hat{P}|B^0 + \bar{B}^0\rangle = \eta_{CP}|\bar{B}^0 + B^0\rangle$$

czyli można zdefiniować **stany własne operatora CP** jako:

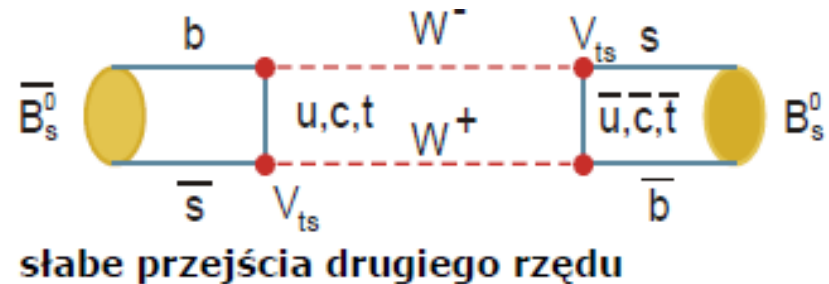
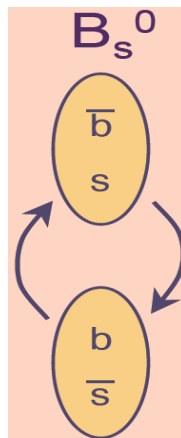
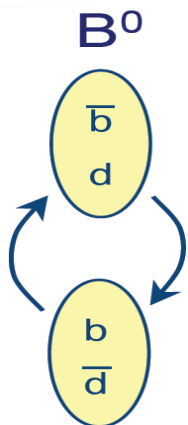
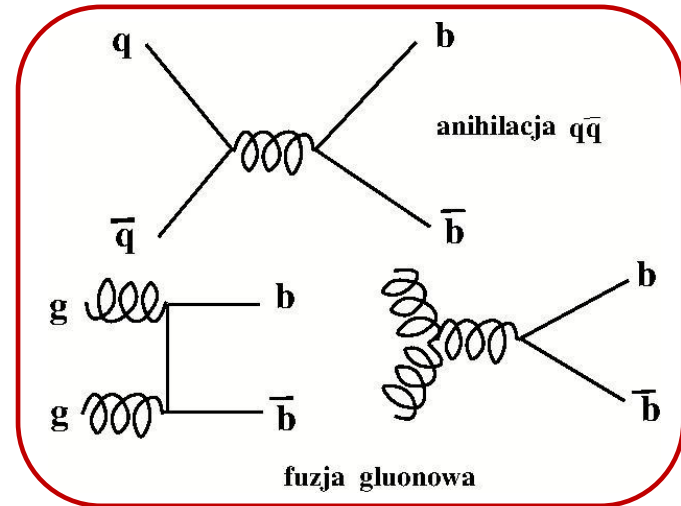
$$B_H = \frac{1}{\sqrt{2}}|B^0 + \bar{B}^0\rangle$$

$$B_L = \frac{1}{\sqrt{2}}|B^0 - \bar{B}^0\rangle$$

- Jeżeli symetria CP jest zachowana w oddziaływaniach słabych, to zdefiniowane właśnie stany B_H i B_L traktujemy jako stany własne oddz. słabych.
- Analogiczne określenia stosuje się dla neutralnych kaonów i mezonów D

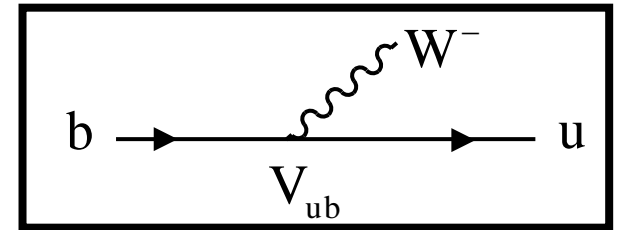
Mieszanie mezonów

- W zderzeniach protonów, poprzez oddz. silne, produkowane są mezony B.
- Mają one dobrze określony rodzaj (flavour), czyli wiadomo z jakich kwarków i antykwarków się składają.
- Jednak mezony te podlegają **RÓWNIEŻ** oddz. słabym, co oznacza, że możliwy jest proces **zamiany B^0 na $\text{anty}B^0$** !
- Mezony B rozpadają się, a w oddz. słabych mogą rozpaść się z niezachowaniem dziwności s.



Macierz CKM

- Każdy wierzchołek oddziaływań słabych opisywany jest poprzez zespoloną amplitudę przejścia np. ze stanu „b” do „u”.
- Istnienie mieszania kwarków wprowadza dwie bazy, w których opisujemy ich oddziaływania.
- Macierz opisująca wszystkie możliwe przejścia pomiędzy kwarkami została nazwana nazwiskami „ojców” ciężkich zapachów: Cabibbo–Kobayashi–Maskawa (1973).



$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

rozpad β



C



K



M

STANY SŁABE

V_{CKM}

STANY MASOWE

- Spektrometr LHCb został zoptymalizowany w celu:
 1. badania fizyki ciężkich kwarków,
 2. poszukiwań odstępstw od Modelu Standardowego (Nowej Fizyki).

1.

Poszukiwanie procesów łamiących symetrię CP.

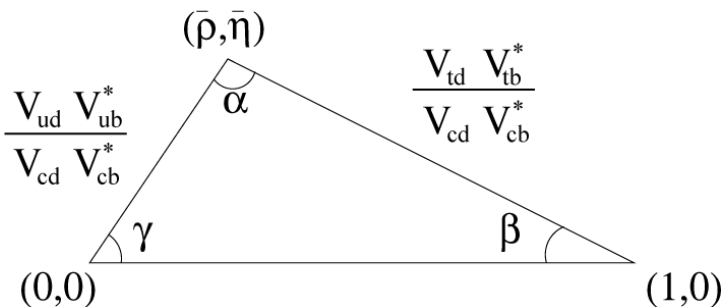
Doświadczalne wyznaczanie wszystkich parametrów macierzy CKM.

Macierz CKM jest unitarna, co nakłada na nią 6 warunków ortogonalności, m.in:

$$V_{ud} V_{ub}^* + V_{cd} V_{cb}^* + V_{td} V_{tb}^* = 0$$

$$V_{td} V_{ud}^* + V_{ts} V_{us}^* + V_{tb} V_{ub}^* = 0$$

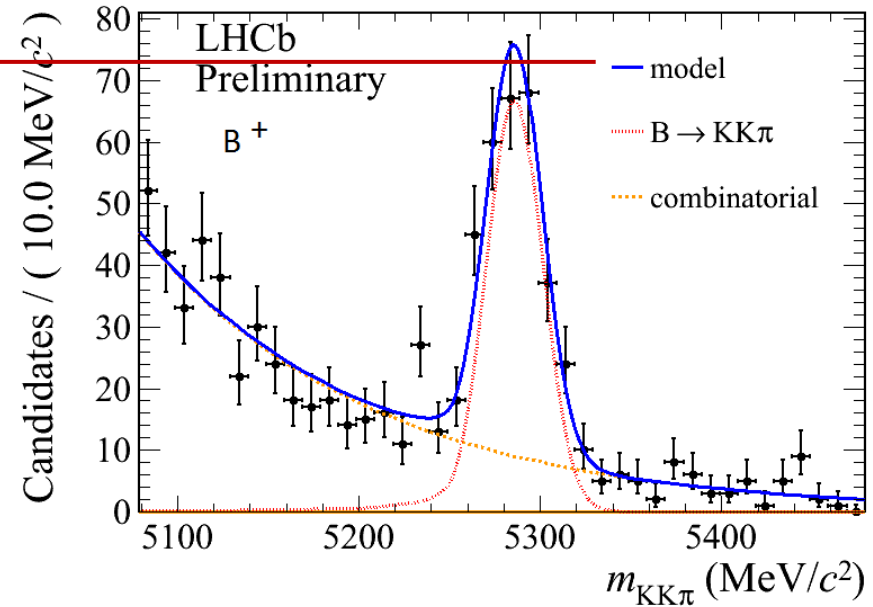
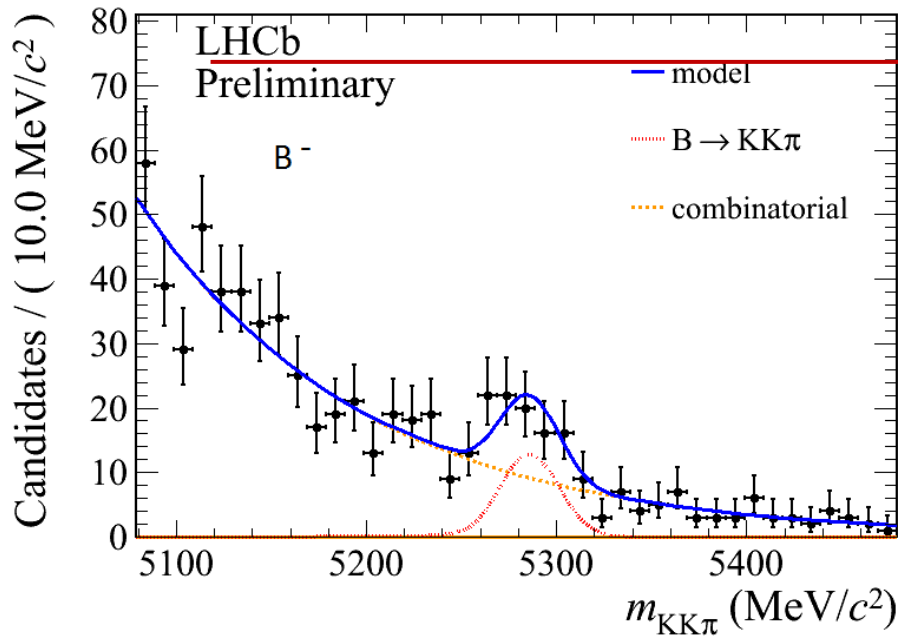
które są interpretowane jako boki tzw. „trójkątów unitarności”:



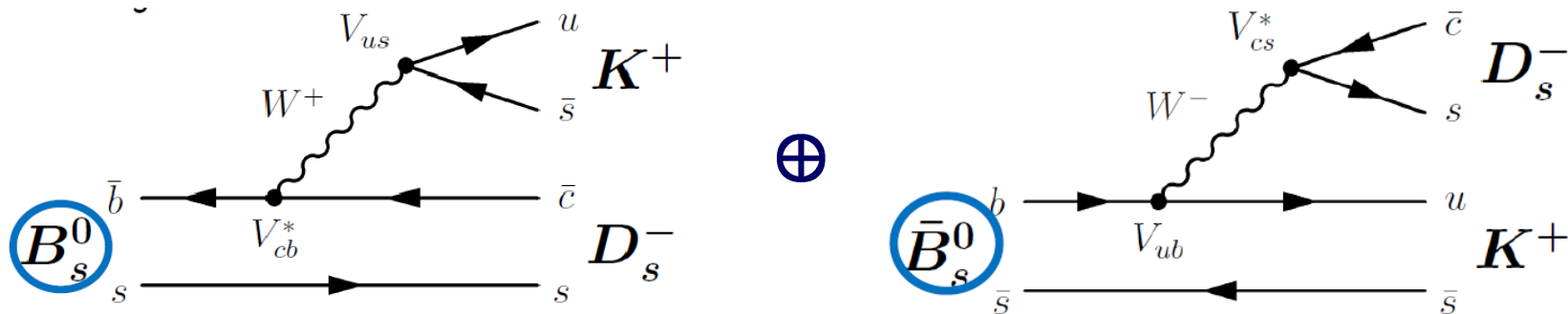
Zamiast wyznaczać elementy –
wyznaczamy kąty macierzy CKM

Bezpośrednie łamanie CP

$$A_{CP} = \frac{N_f - N_{\bar{f}}}{N_f + N_{\bar{f}}}$$



Wyznaczenie kąta γ CKM w $B_s^0 \rightarrow D_s^- K^+$



Mezony B_s i $\text{anti}B_s$ rozpadają się na takie **same stany końcowe**, ale poprzez **różne amplitudy**.
Doświadczalnie obserwujemy **liczbę przypadków**,

która zależy od **przekroju czynnego** na dany proces $N \propto \sigma$

który zależy od **kwadratu całkowitej amplitudy** na ten proces $\sigma \propto |A|^2$

która jest **sumą dwóch amplitud** do tego samego stanu końcowego $A = A_1 + A_2$

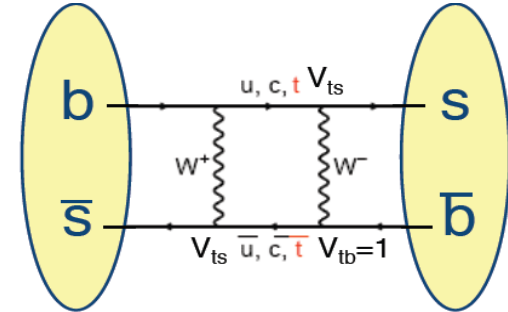
Amplitudy są liczbami zespolonymi – w wyniku ich interferencji można wyznaczyć względną fazę



AGH

... ale możliwe są jeszcze oscylacje $B_s^0 \leftrightarrow \overline{B_s^0}$

- Pamiętajmy, że dla oddz. słabych neutralne mezony mogą być obserwowane jako swoje antycząstki?
- Stany końcowe $B_s^0 \rightarrow D_s^- K^+$ są wynikiem interferencji rozpadu B_s , które uległo oscylacji i rozpadu B_s , które nie uległo oscylacji, a w obydwu przypadkach jest taki sam stan końcowy.



$$\frac{d\Gamma_{B_s \rightarrow f}(t)}{dt} \propto e^{-\Gamma_s t} \left[\cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) - D_f \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) + C_f \cos(\Delta m_s t) - S_f \sin(\Delta m_s t) \right] + \text{dwa dla } \bar{f}$$

$$\frac{d\Gamma_{\bar{B}_s \rightarrow f}(t)}{dt} \propto e^{-\Gamma_s t} \left[\cosh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) - D_f \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma_s t}{2}\right) - C_f \cos(\Delta m_s t) + S_f \sin(\Delta m_s t) \right]$$

observable: $C, D_f, S_f, D_{\bar{f}}, C_{\bar{f}}$

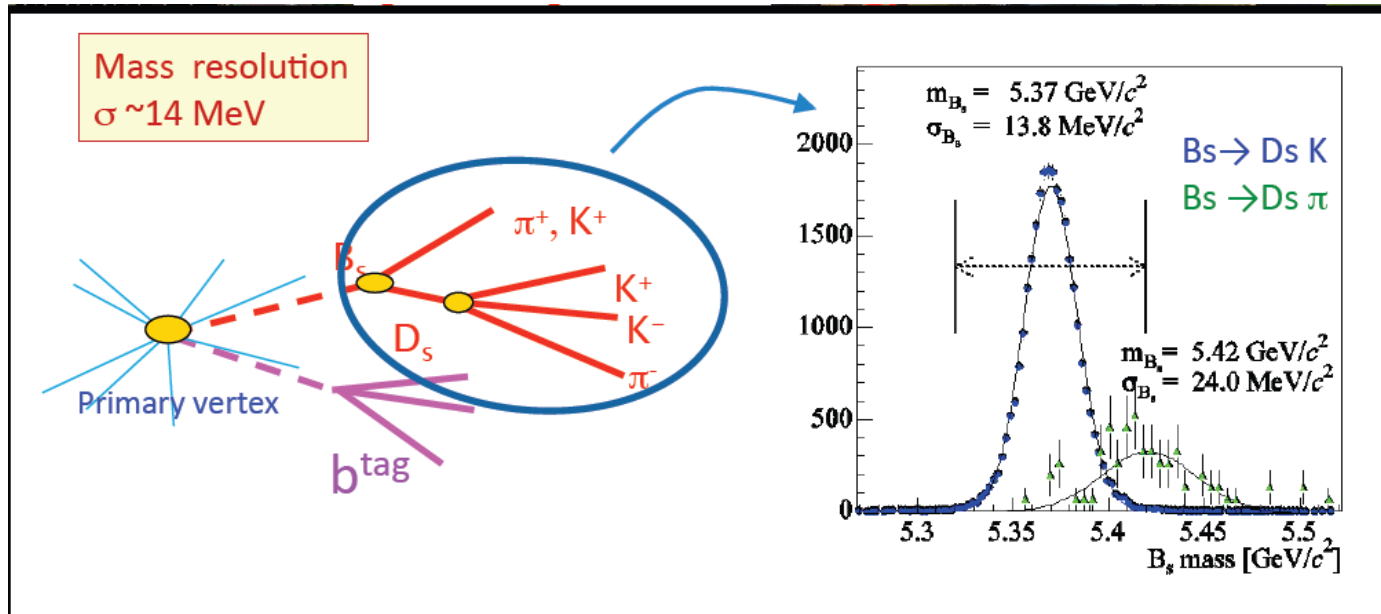
$$D_f = \frac{2r_{D_s K} \cos(\Delta - (\gamma - 2\beta_s))}{1 + r_{D_s K}^2}$$

$$C = \frac{1 - r_{D_s K}^2}{1 + r_{D_s K}^2}$$

$$S_f = \frac{2r_{D_s K} \sin(\Delta - (\gamma - 2\beta_s))}{1 + r_{D_s K}^2}$$

Poszukiwanie przypadków $B_s^0 \rightarrow D_s^- K^+$ w LHCb

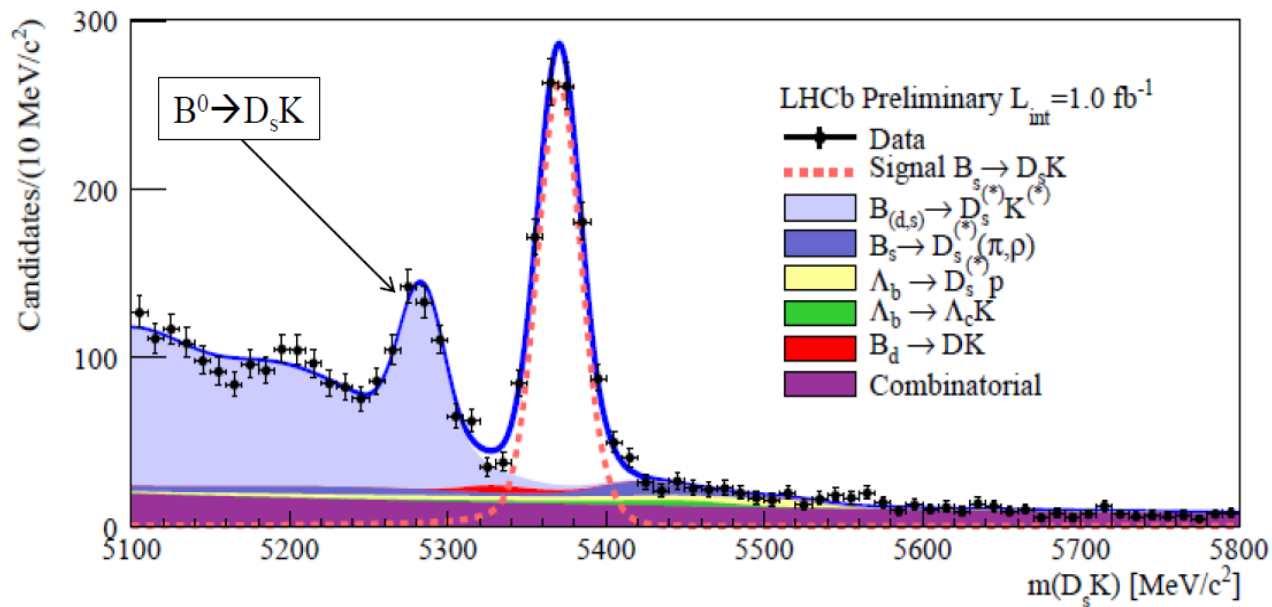
- W każdym zarejestrowanym przypadku jest ok. 200 śladów.
- Poszukuje się sygnatury procesu w oparciu o opracowane kryteria selekcji.



- Eliminacja/szacowanie tła.
- Wyznaczenie wydajności.
- Publikacja.

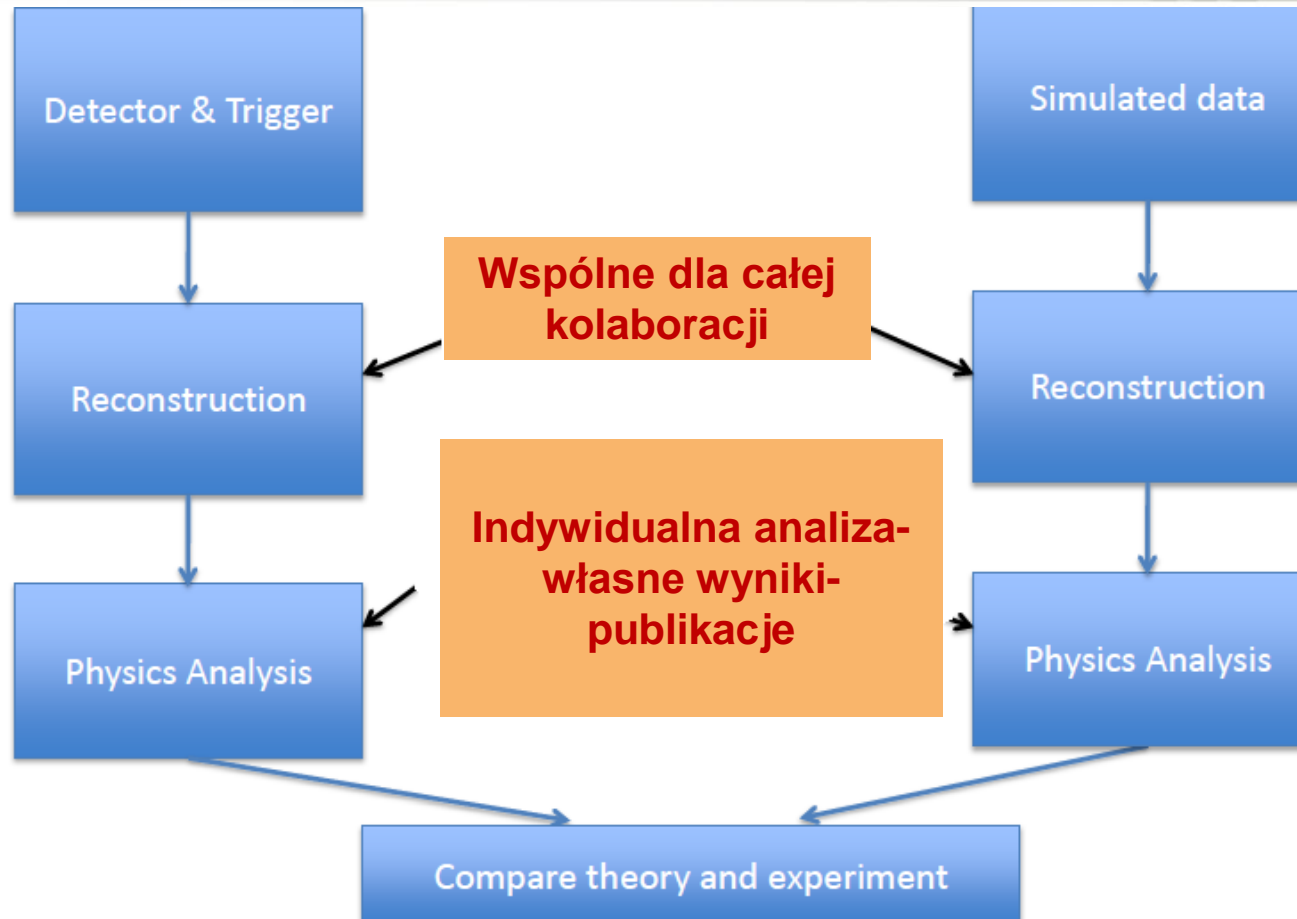
Przypadki $B^0_s \rightarrow D^-_s K^+$ w LHCb

$N = 1390 \pm 98$

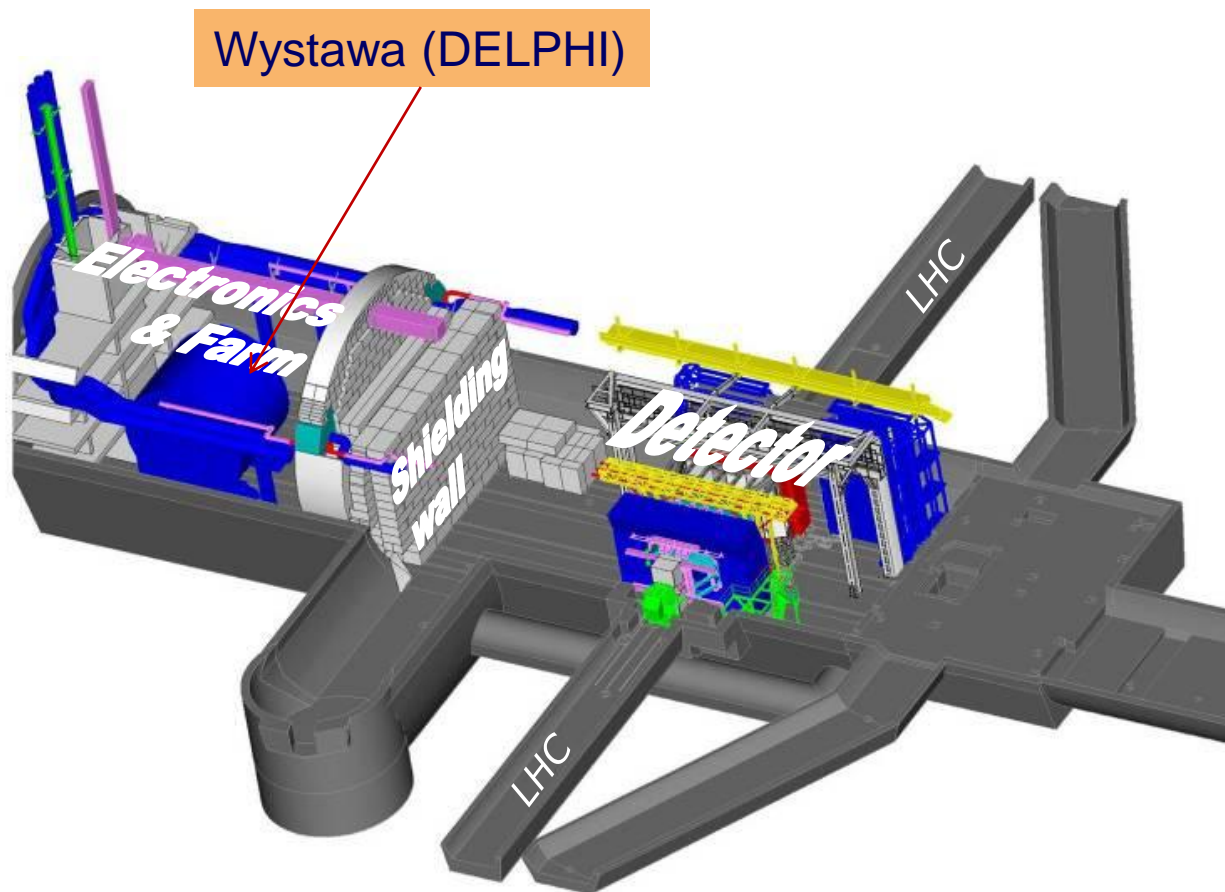


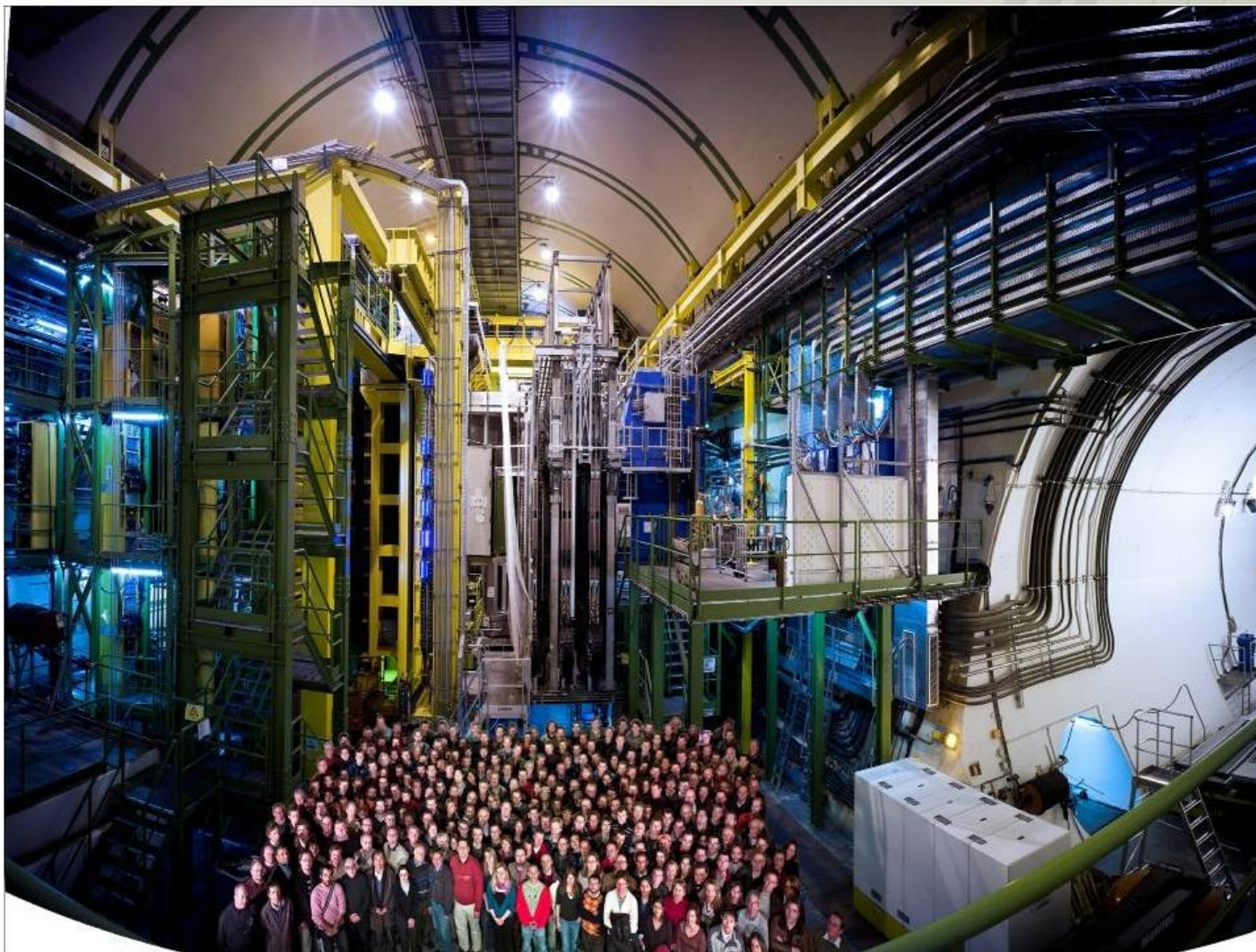
- Ale naprawdę analiza jest dużo bardziej skomplikowana i czasochłonna..

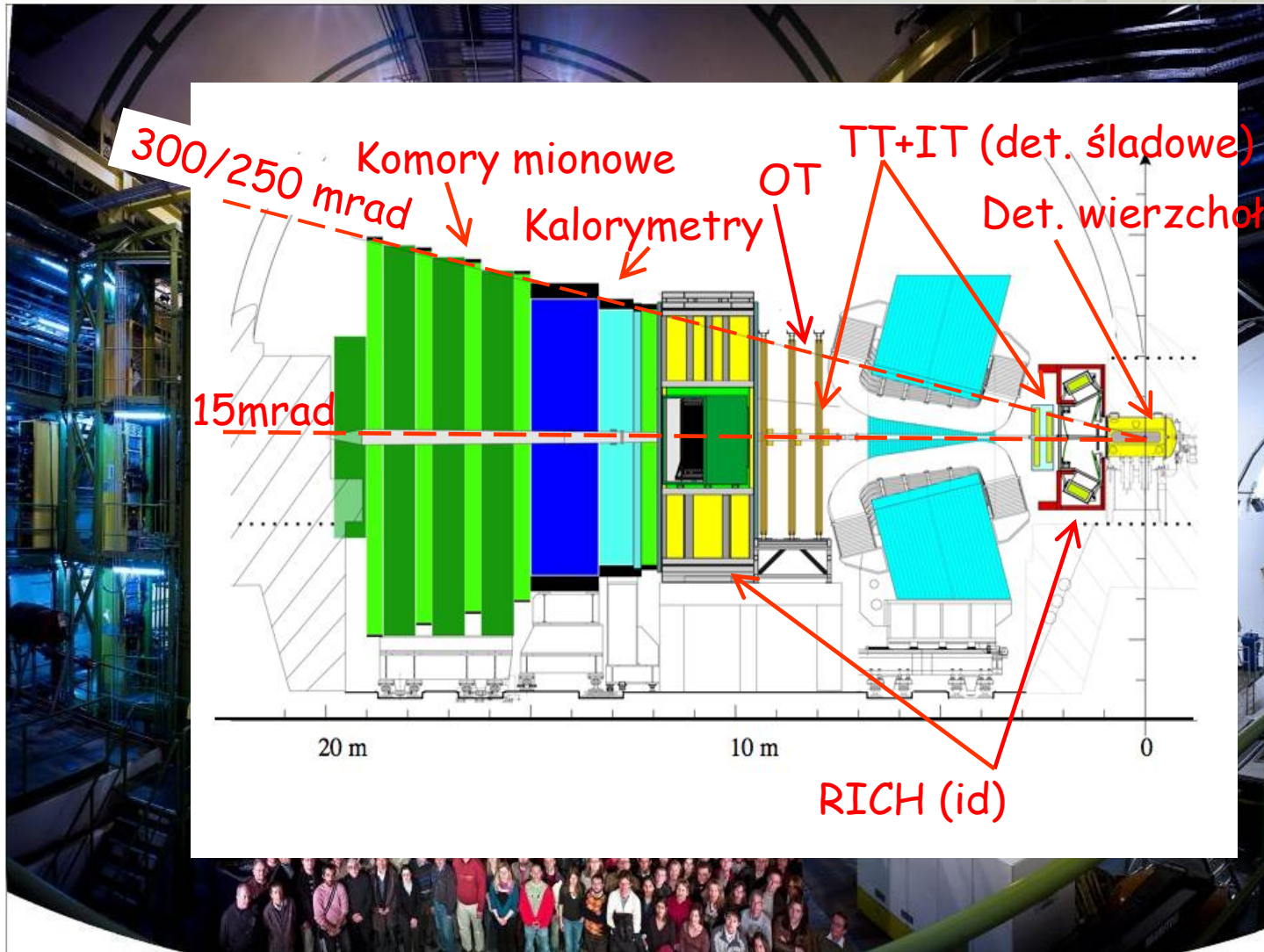
Etapy analizy danych FWE

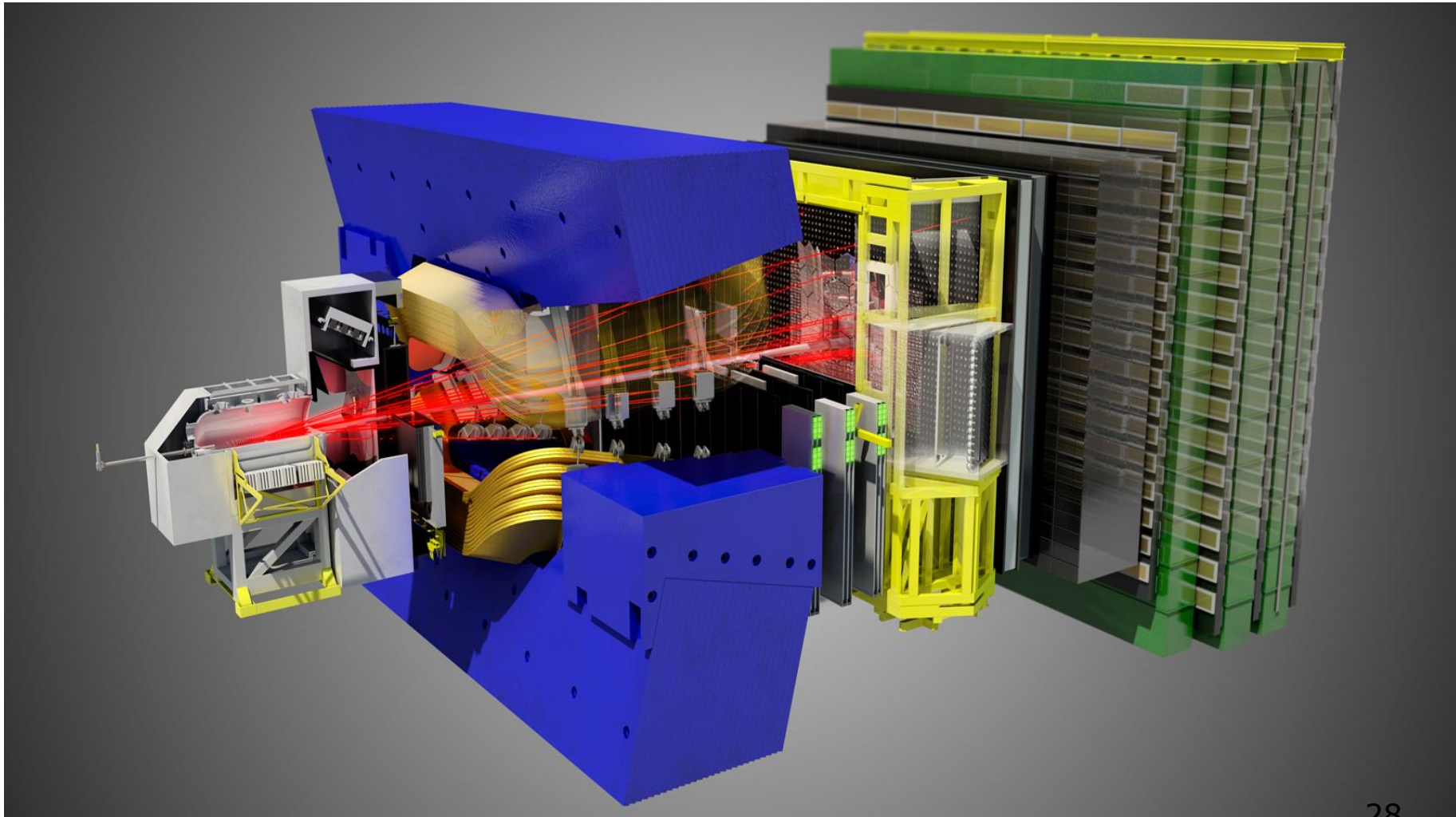


- Analiza nawet jednego stanu końcowego wymaga pracy zespołu ludzi!







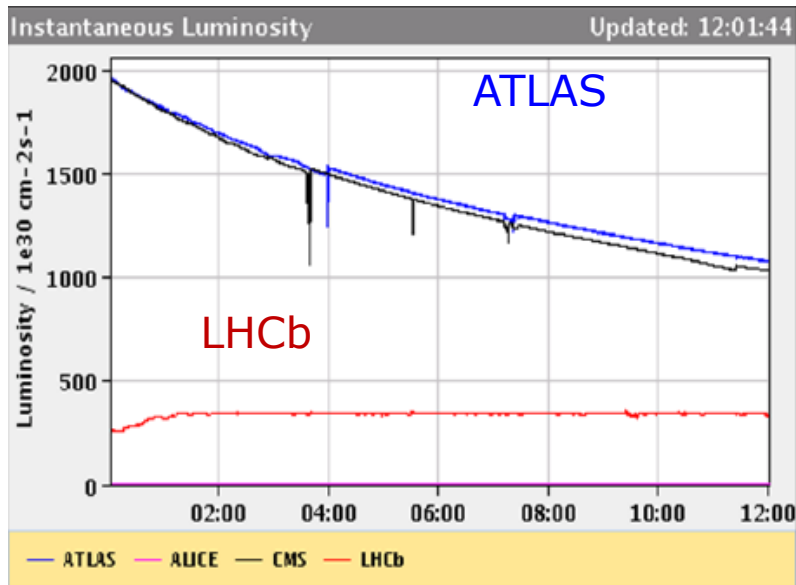


Światłość – parametr akceleratora, zależy od liczby cząstek w wiązki, jej struktury czasowej i przestrzennej.

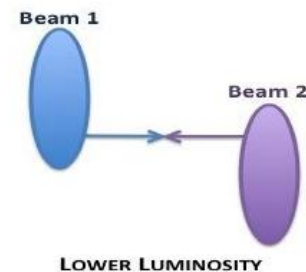
$$L = \frac{n N_1 N_2 f}{\sigma_1 \sigma_2}$$

Liczba obserwowanych przypadków zależy przede wszystkim od światłości:

$$L = 4 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \quad N = L \sigma \quad \int L dt = 3,1 \text{ fb}^{-1}$$



LHCb posiada system rozsunięcia wiązki LHC w celu zmniejszenia światłości i utrzymania jej na **STAŁYM** poziomie podczas całego okresu zbierania danych



Detektor wierzchołka VELO (VERtEX LOCator)

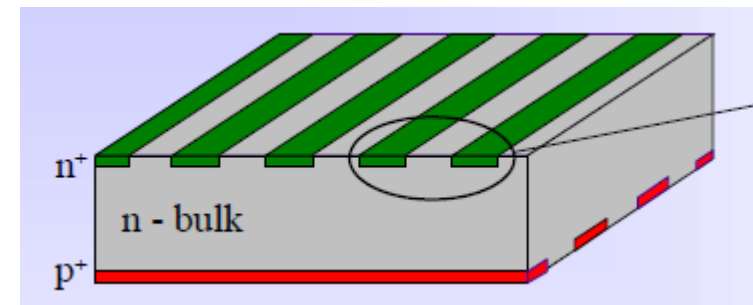
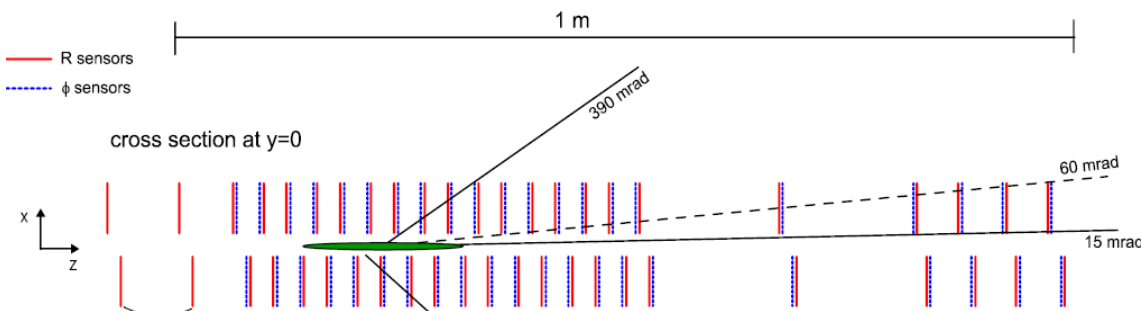
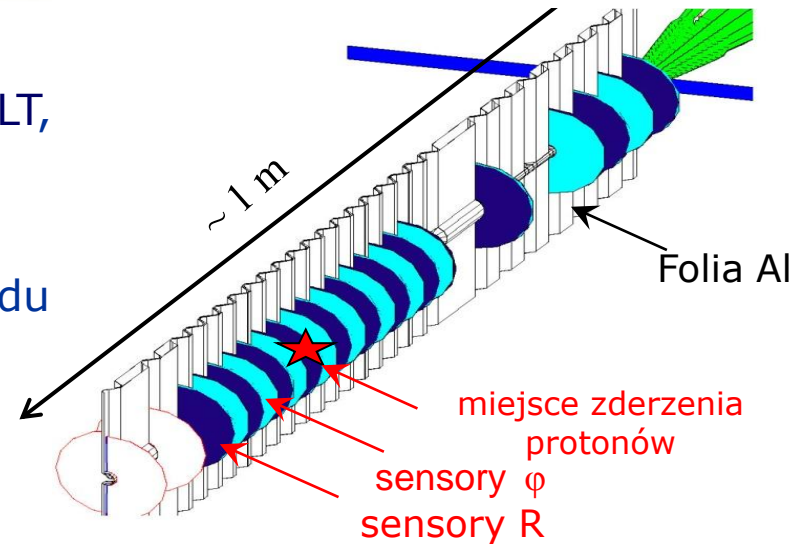


Zadania:

- szybka rekonstrukcja śladów dla trygera HLT,
- rekonstrukcja pierwotnego wierzchołka zderzeń protonów,
- wyznaczenie wtórnych wierzchołków rozpadu ciężkich mezonów.

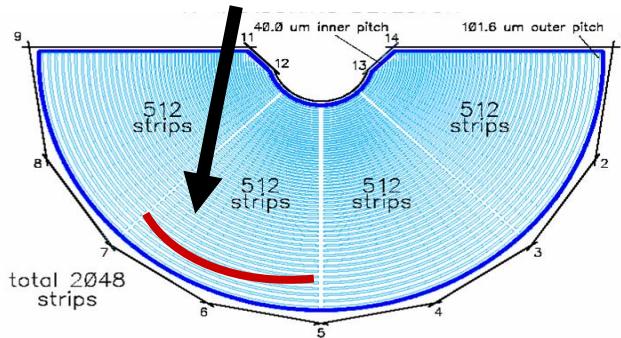
Wymagania:

- wysoka przestrzenna zdolność rozdzielcza
- odporność na promieniowanie
- stabilne działanie

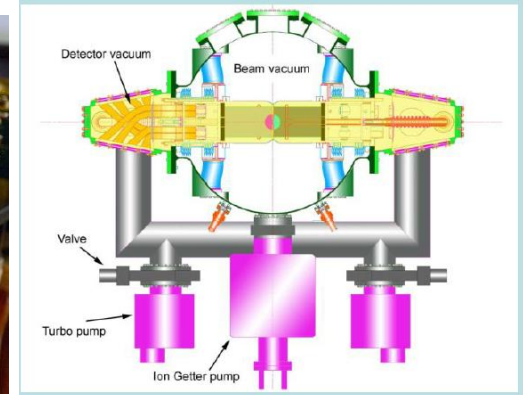
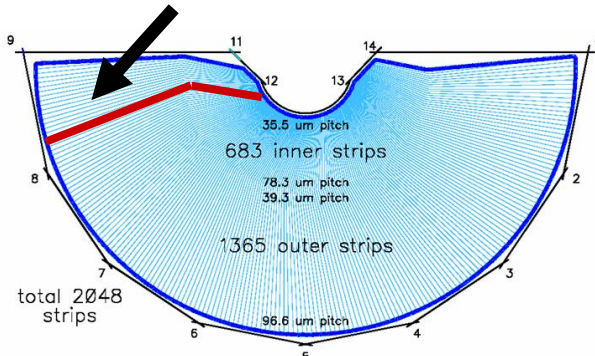


każda połowa VELO składa się z 23 modułów z dwoma warstwami sensorów

sensory R (koncentryczne paski)



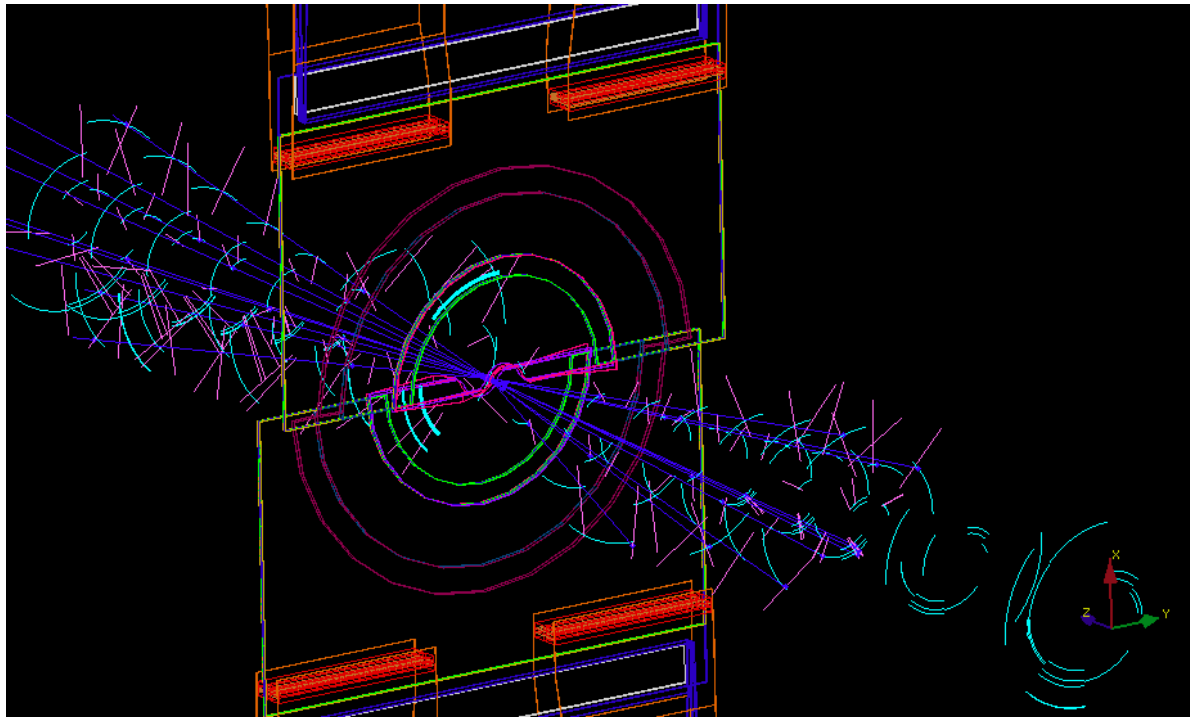
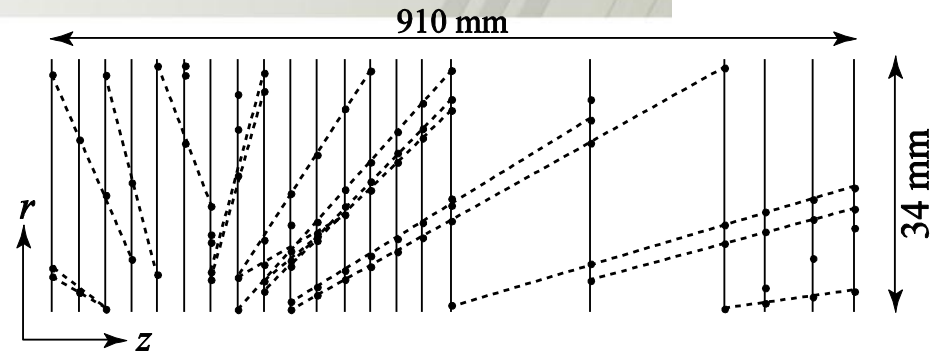
sensory ϕ (paski)



- sensory krzemowe n⁺-in-n lub n⁺-in-p (2szt), 300 μm ,
- 2048 paski (kanały) na sensorze o zmiennej szerokości 40 -100 μm ,
- strefa aktywna sensora zaczyna się w odległości 8.2 mm od wiązek – absolutny rekord!!!
- podczas napełniania akceleratora połówki są rozsunięte,
- detektor pracuje w próżni (10^{-7} mbar), sensory utrzymywane są w temperaturze -7°C

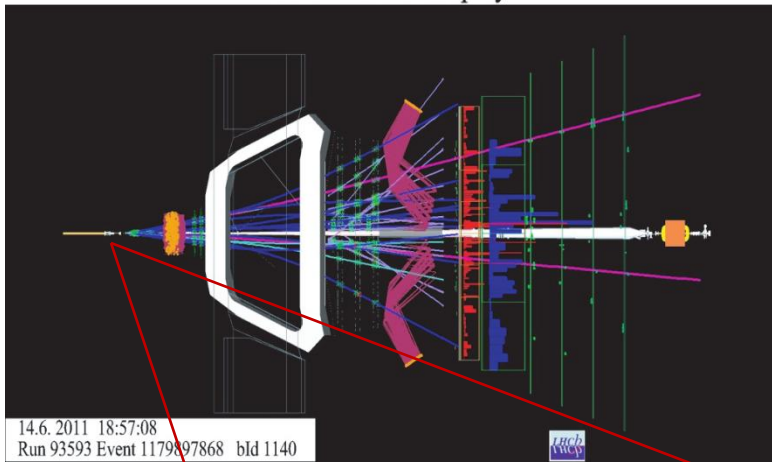


- Każdy moduł dostarcza dwóch współrzędnych: R i Φ , a „ z ” jest pozycją sensora – pełna rekonstrukcja śladu w 3D!

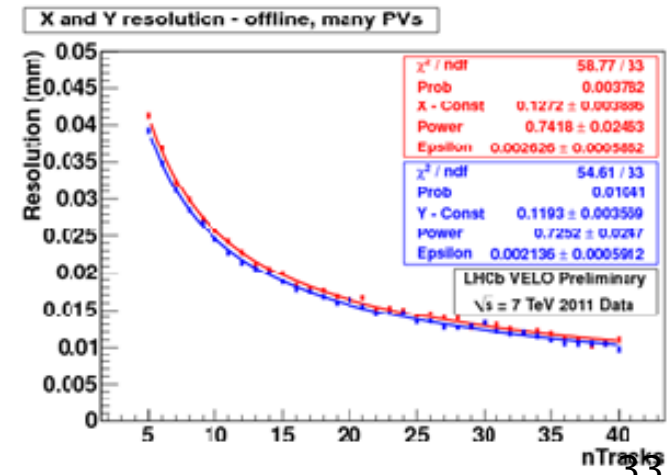
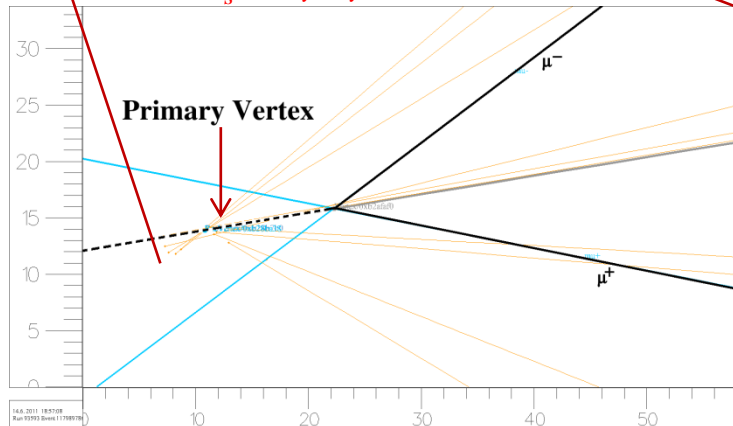
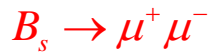


- Rekonstrukcja wielu śladów o niskich pędach – kluczowa dla fizyki b ,
- wysoka wydajność rekonstrukcji (ponad 99%) ,

LHCb Event Display

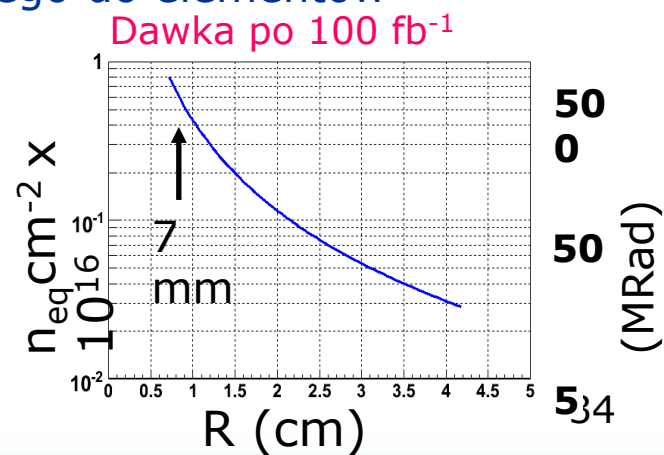


- VELO dostarcza szybkiej informacji o:
 - punktach przecięcia wiązek protonów (PV)-miejsce produkcji hadronu b,
 - miejscu rozpadu długożyciowego hadronu,
 - odległości śladów od PV
- wykorzystywane do trygera HLT przy 1MHz, pozwala na redukcję strumienia danych do kilku kHz (średnia w 2012 4.2 kHz)



- LHC miał pracować ok. 200 dni na rok (140 dni na fizykę),
- Dawka promieniowania pochodząca od zderzeń protonów – ok. 2000 Gy.
- W LHCb promieniowanie pochodzi od:
 - przypadkowych zderzeń pp (proporcjonalne do świetlności) ,
 - cząstek wtórnych z oddziaływań pp z detektorem (zależy od intensywności, mat. detektora), halo wiązek
 - cząstek produkowanych w zderzeniach pp,
- Strumień produkowanych cząstek zawiera protony (6%), neutrony (5%), piony (70%), fotony (1%) o energiach od keV do 10^2 GeV.
- Strumień i spektrum promieniowania docierającego do elementów detektora jest bardzo niejednorodny – symulacja.
- Przy 7mm od wiązki sensor naświetlony będzie ok. 370 MRad (8×10^{15} n_{eq}/cm^2 for 100 fb^{-1})

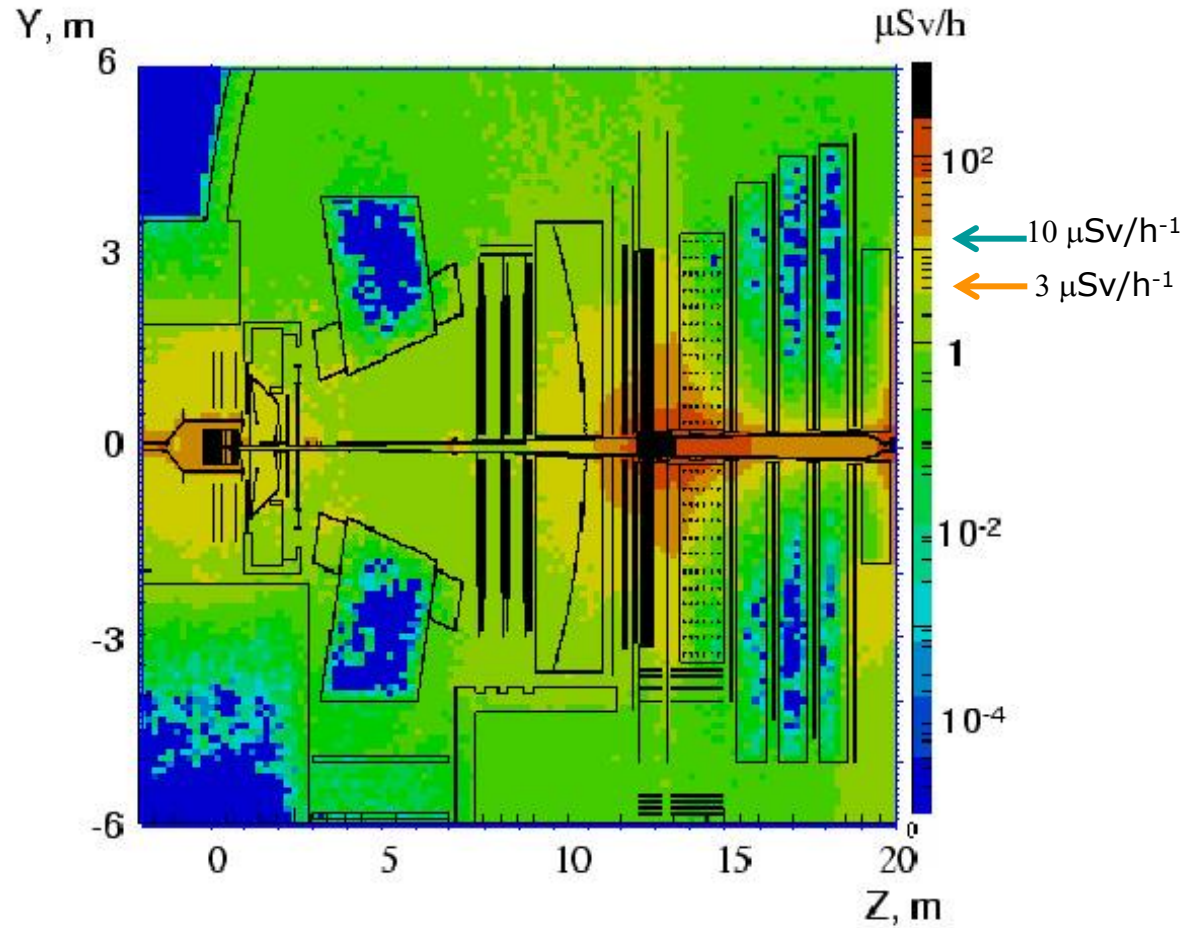
} TŁO





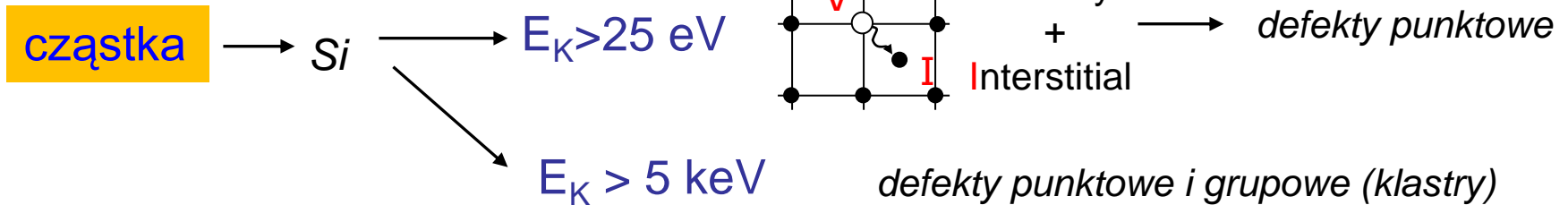
A

1 h cooling



After seeing collisions at $L = 5 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for $\sim 10^7 \text{ s}$

- straty energii na jonizację ($\sim 40\%$) – mała szkodliwość,
- zderzenia niejonizacyjne – wymiana en. kinetycznej – zniszczenia w kryształach.
- **Zmiany mikroskopowe** – defekty punktowe i grupowe (w zależności od rodzaju i energii kinetycznej cząstki)



- Wakaty i atomy międzywęzłowe (pary Frenkera) przemieszczają się w sieci (lub anihilują)

- fotony

- ef. Comptona
max. $E_\gamma \approx 1 \text{ MeV}$
(brak klastrów)

- Elektrony

- $E_e > 255 \text{ keV}$ wakat
- $E_e > 8 \text{ MeV}$ klastry

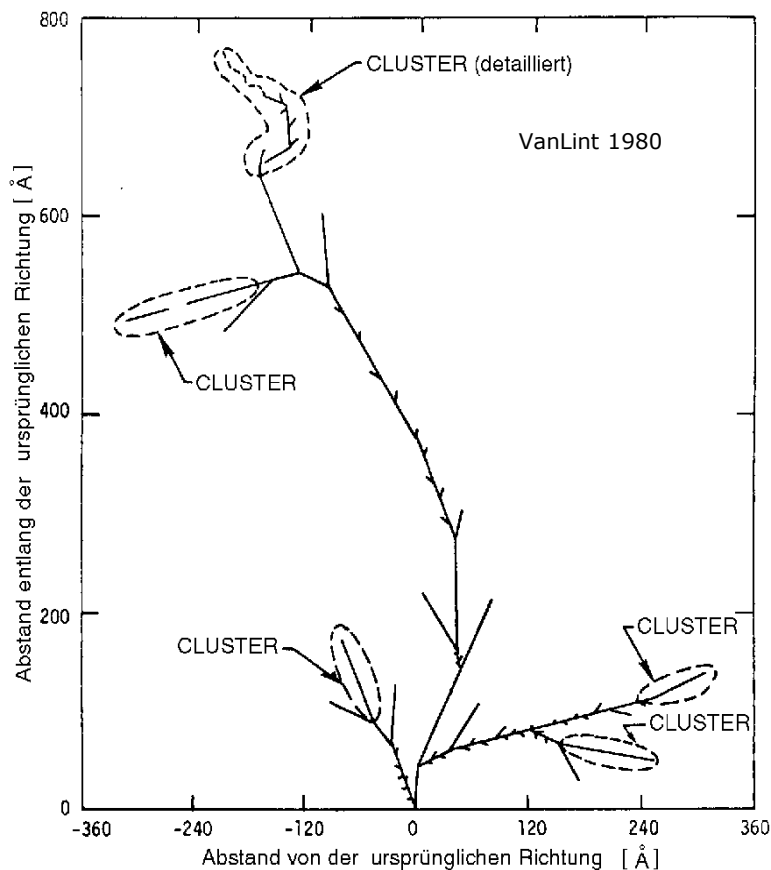
- Neutrony, protony (rozpraszanie elastyczne)

- $E_n > 185 \text{ eV}$ wakaty
- $E_n > 35 \text{ keV}$ klastry

tylko defekty punktowe \longleftrightarrow

punktowe & klastry \longleftrightarrow

głównie klastry

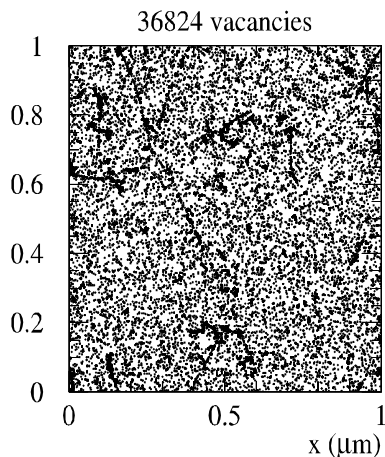


[Mika Huhtinen NIMA 491(2002) 194]

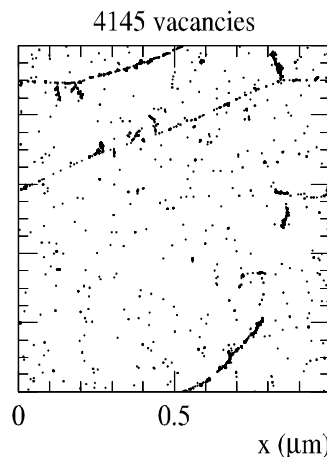
- Powstały defekt punktowy migruje w materiale Si aż wytraci energię, nawet do 1000Å sieci

Si - $(1\mu\text{m})^3$ po naświetleniu strumieniem 10^{14} cząstek/cm²

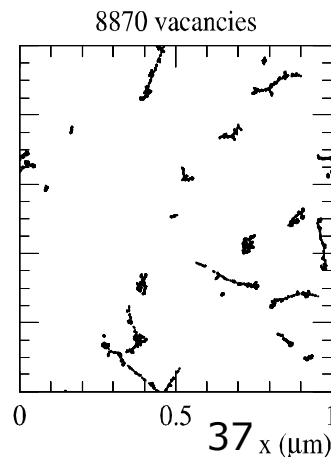
10 MeV protony



24 GeV/c protony



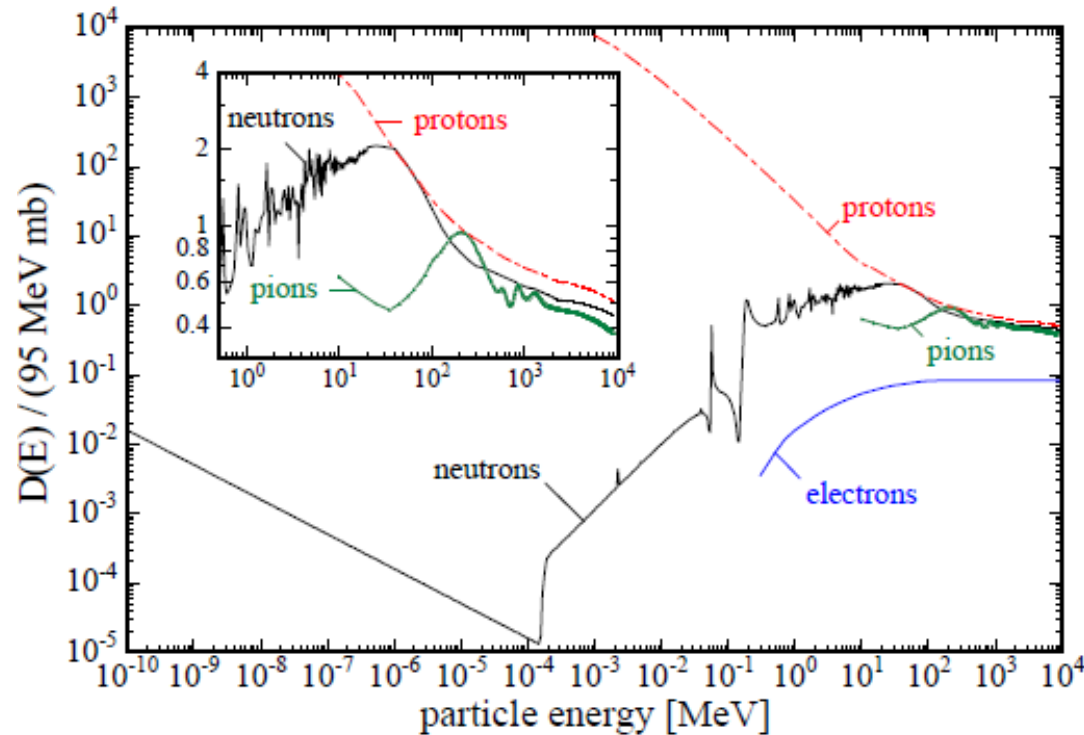
1 MeV neutrony



- Niejonizacyjne Straty Energii (NIEL)
 - strumień nacierających cząstek jest wyrażony poprzez ekwiwalentny strumień neutronów.

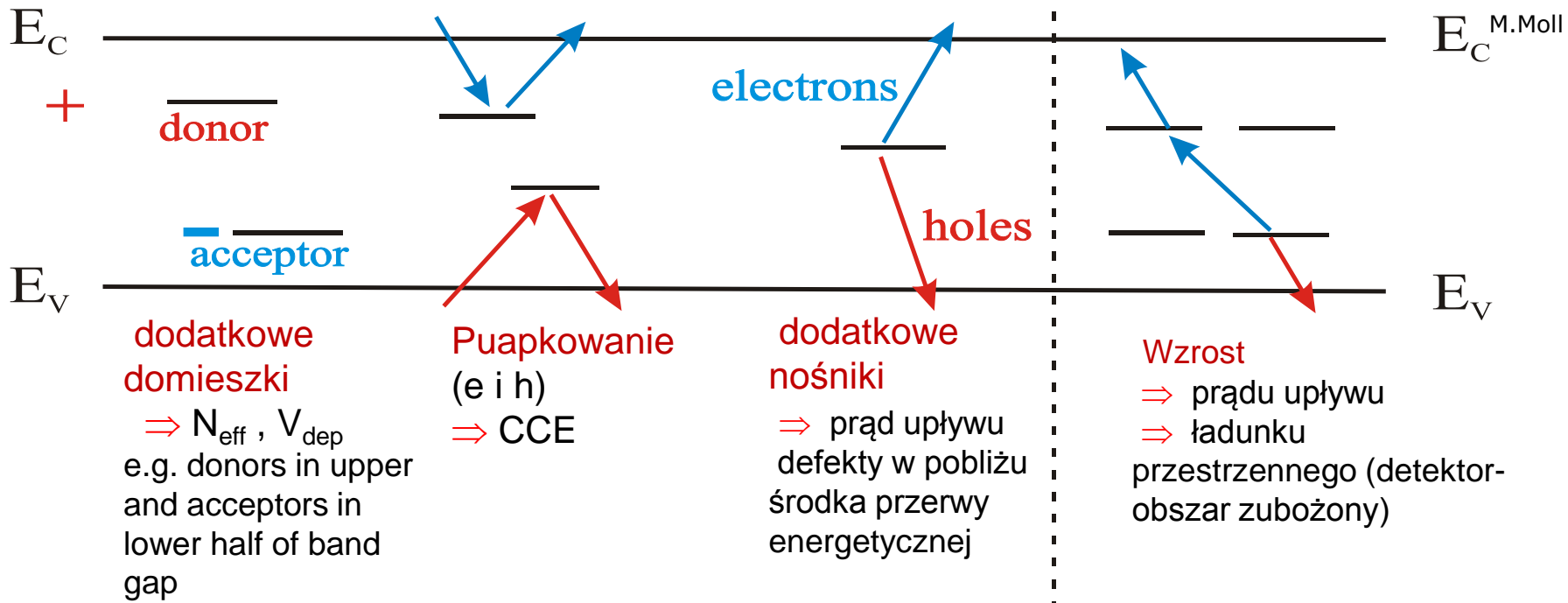
$$\phi_{eq}^{1\text{ MeV}} = K \phi$$

- zniszczenia w półprzewodniku są spowodowane niejonizującym przekazem energii,
- zniszczenia są proporcjonalne do depozytu energii w objętości materiału.



Wpływ zniszczeń na materiał

Defekty poruszają się w kryształach, reagują z domieszkami tworząc nowe poziomy energetyczne.

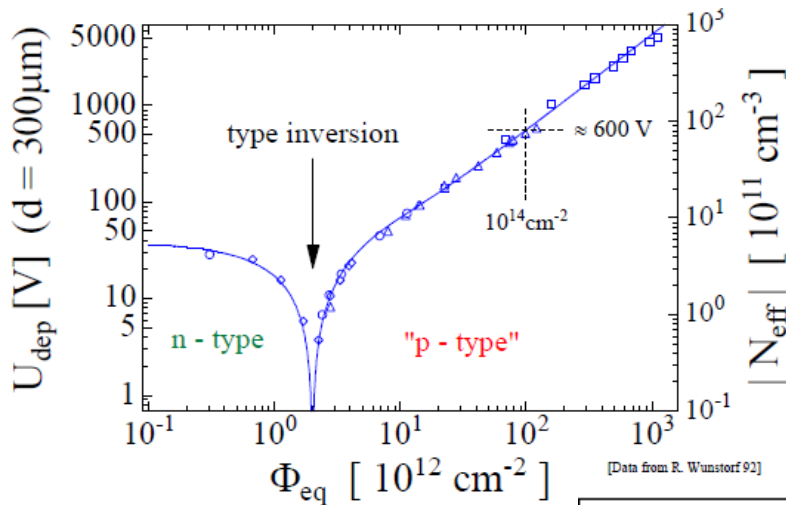


Zniszczenia kumulują się wraz z napromieniowaniem prowadząc do „śmierci” detektora

Zniszczenia radiacyjne detektorów krzemowych

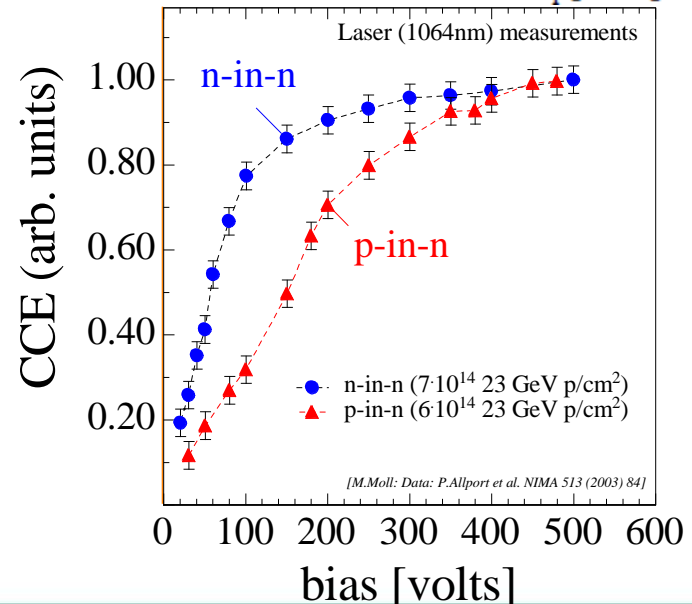
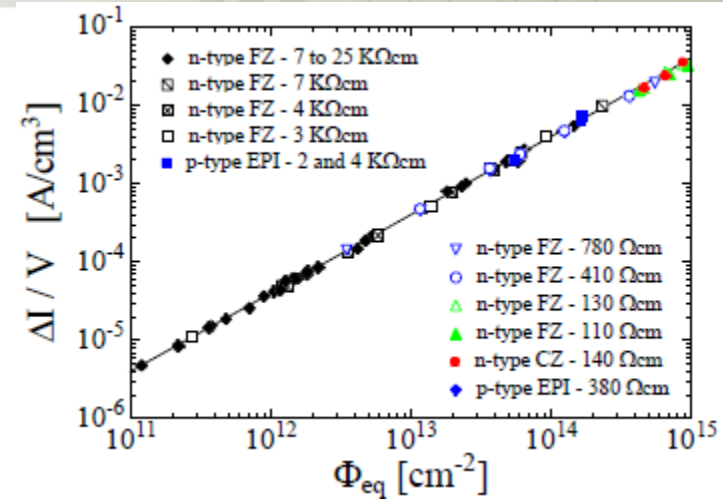
▪ Zniszczenia radiacyjne detektorów krzemowych powodują:

- 1) wzrost prądu upływu,
- 2) zmianę wartości napięcia potrzebnego do całkowitego zubożenia,
- 3) spadek wydajności zbierania ładunku



[Data from R. Wunstorff 92]

$$|N_{eff}| \propto \frac{V_{dep}}{d^2}$$




[M.Moll: Data: P.Allport et al. NIMA 513 (2003) 84]

VELO Monitoring GUI

DATASET
 ROOT file: VELODQM_94317_2011-06-27_06.30.06_ZS.root
 I/V file not yet specified

REFERENCE FILES
 ROOT file: ref_ZS_MagDown_DATA_2011.root
 I/V reference not yet specified



Overview | DQS | Trends | Detailed Trends | Noise | Cross Talk | Pedestals | Clusters | Clusters 2 | Occupancies | Tracks | Error Banks | Bad Channels | Time Samples | Gain | IV Curves | IV Trending | BCL Trending

MPV and FWHM | Edit MPV and FWHM | MPV & FWHM summary | Reset | Prev | Next

Options: OnTrack Corrected Raw S/N Reference(s): Off On Diff

R000

R001

R002

R003

R004

R005

R006

R007

R008

R009

R010

R011

R012

R013

R014

R015

R016

R017

R018

R019

R020

R021

R022

R023

R024

R025

R026

R027

R028

R029

R030

R031

R032

R033

R034

R035

R036


R037

R038

R039

R040

R041

adc_cluster_sen_015


adc_cluster_sen_015_corr
 Entries: 191087
 χ^2 / ndf : 57.99 / 27
 Prob: 0.0004803
 Width: 3.186 ± 0.052
 MP: 33.38 ± 0.05
 Area: $1.838e+05 \pm 7.130e+02$
 GSigma: 4.963 ± 0.131

■ Opracowane zostały specjalistyczne testy (w których uczestniczymy) badające parametry detektora.

■ Dla każdego sensora wyznaczane są zależności (m.in.):

- prądu upływu od temperatury
- prądu od przyłożonego napięcia
- szumów od napięcia

P064

P065

P066

P067

P068

P069

P070

P071

P072

P073

P074

P075

P076

P077

P078

P079

P080

P081

P082

P083

P084

P085

P086

P087

P088

P089

P090

P091

P092

P093

P094

P095

P096

P097

P098

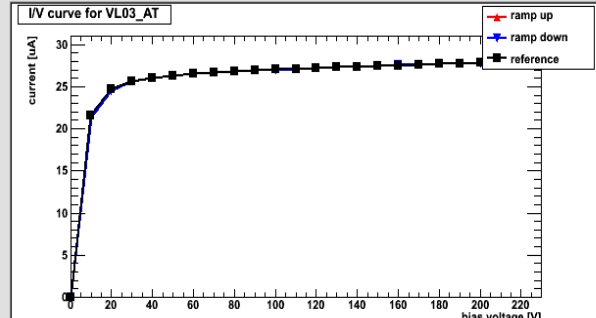
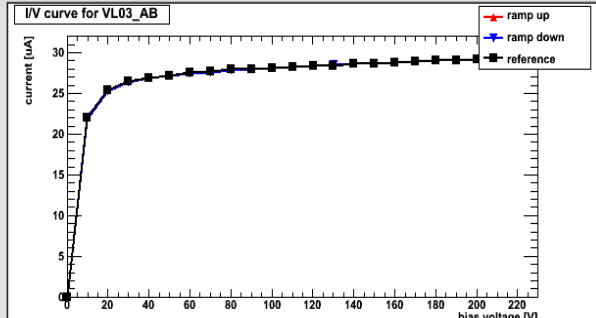
P099

P100

Overview | DQS | Trends | Detailed Trends | Noise | Cross Talk | Pedestals | Clusters | Clusters 2 | Occupancies | Tracks | Error Banks | Bad Channels | Time Samples | Gain | IV Curves | IV Trending | BCL Trending

A-side: PU VL01 VL02 VL03 VL04 VL05 VL06 VL07 VL08 VL09 VL10 VL11 VL12 VL13 VL14 VL15 VL16 VL19 VL22 VL23 VL24 VL25

C-side: PU VL01 VL02 VL03 VL04 VL05 VL06 VL07 VL08 VL09 VL10 VL11 VL12 VL13 VL14 VL15 VL16 VL19 VL22 VL23 VL24 VL25

```

Contents of "Clusters2" monitoring: Filled for ZS data
-----
MPV & FWHM for all sensors
MPV is the highest bin, FWHM is the interpolation between bins
S/N is defined as the MPV/Average Noise on the sensor
    
```

41

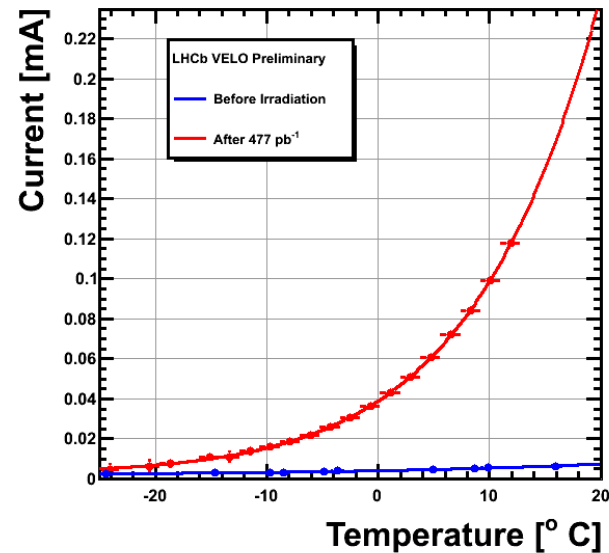
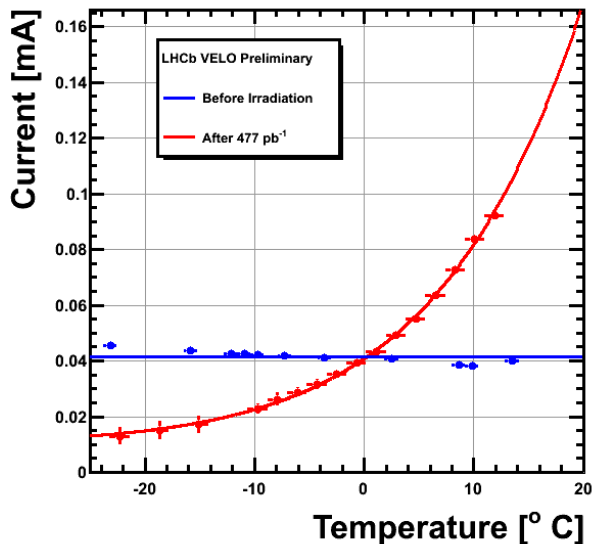
- Prąd upływu w półprzewodniku zawiera dwie składowe: prąd powierzchniowy i prąd objętościowy.

Prąd powierzchniowy:

- maleje z napromieniowaniem,
- słabo zależy od temperatury,
- charakter ohmowy

Prąd objętościowy:

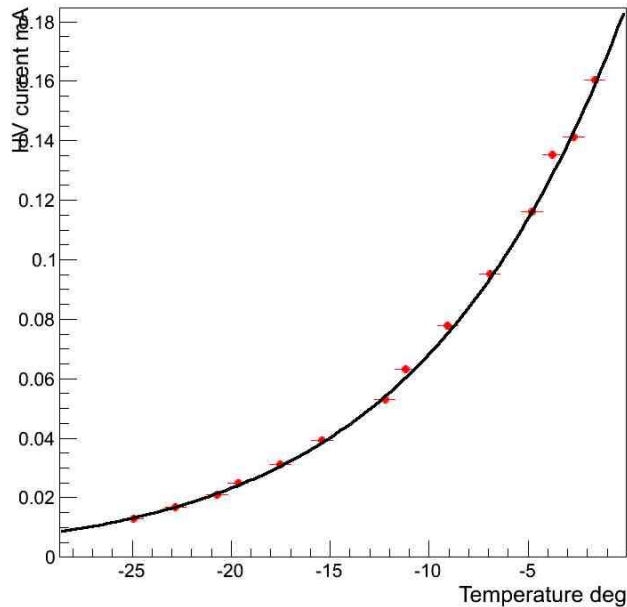
- zwiększa się ze strumieniem cząstek,
- zależy od temperatury (wykładniczo),
- po zubożeniu, nie zależy od napięcia



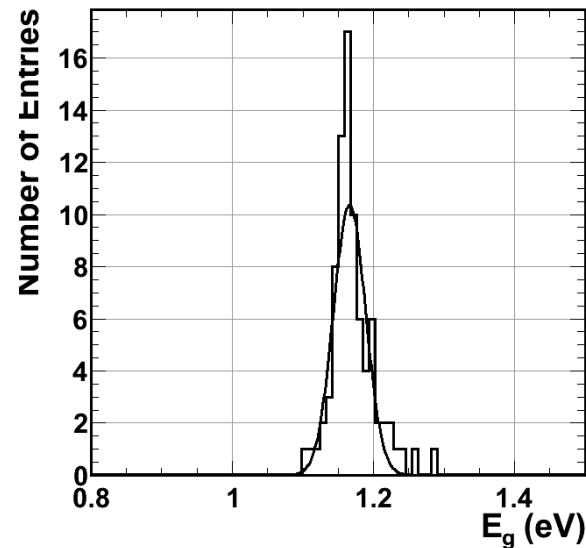
- Po zebraniu danych z każdego sensora, widać zależność prądu (0.1 mA) od temperatury:

$$I(T) \propto I_0 + T^2 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

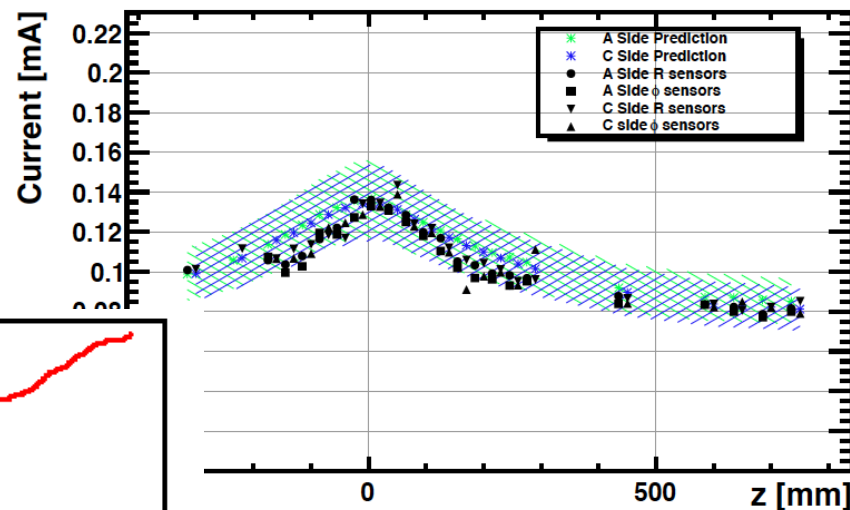
i_{hv} vs. T for sensor VL09_CT



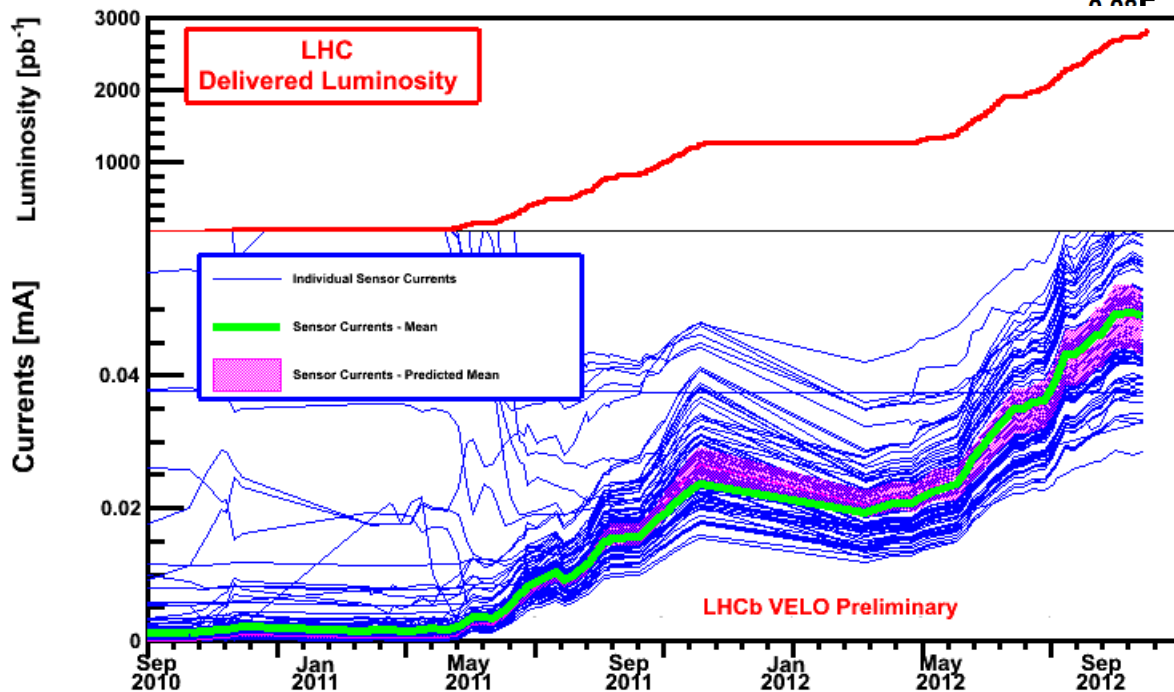
- Pierwsze wnioski po dwóch latach zbierania danych – zniszczenia radiacyjne mają charakter objętościowy,
- Z parametrów dopasowania można wyznaczyć (efektywną) przerwę energetyczną w krzemie ($E_g=1.12-1.17$ eV)



- Wzrost prądu upływu detektora jest proporcjonalny do świetlności akceleratora – dzięki temu można przewidzieć, kiedy należy go wymienić.



Modelowanie zniszczeń radiacyjnych (porównanie z teoriami i innymi eksperymentami)



Przyszłość - ludzie i zadania

- Praca w dużym eksperymencie nakłada wysokie wymagania zarówno, co do jakości pracy, jak i czasu jej wykonania.
- Używa się standardowych narzędzi (oprogramowania) do wykonania własnej analizy (lub jej części).
- Obowiązkiem każdej grupy jest podjęcie dyżurów przy pracy detektora (również eksperckich).
- W FWE nie można pracować w małych grupach.
- Bardzo korzystne jest, gdy oprócz analiz fizycznych, grupa jest odpowiedzialna za część detektora (VELO).

Grupa AGH – LHCb:

B.Muryn
T.Szumlak
A.O-M
K.Senderowska

studenci:
M.Dominiak, K.Tabor, M.Wysokiński, A.Dendek,
M. Wielgus

Przyszłość- ludzie i zadania (VELO)

- Uczestniczymy w projekcie Radiation Damage (RD50), co umożliwia:
 - dostęp do laboratoriów badających zniszczenia,
 - informacje o nowych materiałach, postępach w inżynierii produkcji,
 - wytyczenie sposobu monitorowania zmian,
 - poznanie aktualnych i nowych teorii i modeli,
 - uczestnictwo w konferencjach,
- W imieniu grupy VELO LHCb prezentujemy wyniki i testujemy poznane metody.

Problem monitorowania zniszczeń powodowanych przez strumień cząstek jest aktualny, długofalowy i przyszłościowy.

Detektory krzemowe używane są nie tylko w FWE, ale również w medycynie i astrofizyce

- Przygotowujemy się do programu "Super LHC", w którym świetlność zwiększona będzie do $10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

LHC i LHCb działa !



Dziękuję za uwagę....

dodatek:
wykluczenie supersymetrii w
 $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$?