

Efekt formation zone w oddziaływaniach neutrin z jądrami atomowymi

Tomasz Golan
Seminarium Zakładu Neutrin, 2012

Efekt formation zone w oddziaływaniach neutrin z jądrami atomowymi

- 1. Oddziaływanie stanów końcowych**
- 2. Rozpraszanie pionów na jądrze**
- 3. Formation zone**
- 4. Przezroczystość jądra**
- 5. Wsteczne piony**
- 6. Uniwersalny formation zone?**
- 7. Podsumowanie**

Co

Po co

Jak

1.

2.

Ciekawe, czy wie, że jestem związany

Jądro?

neutrino

To tylko nukleony...

3.



4.



pion

I co teraz?

cdn...

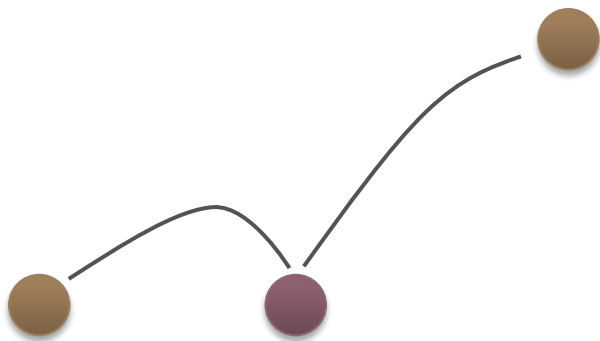


Co

Po co

Jak

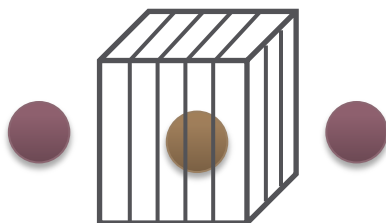
ELASTYCZNE



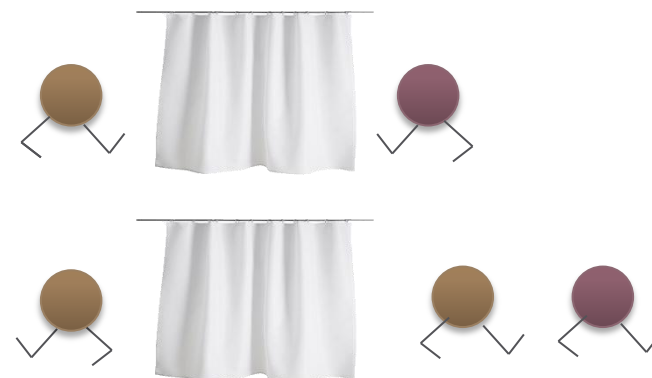
WYMIANA ŁADUNKU



ABSORPCJA



PRODUKCJA PIONU

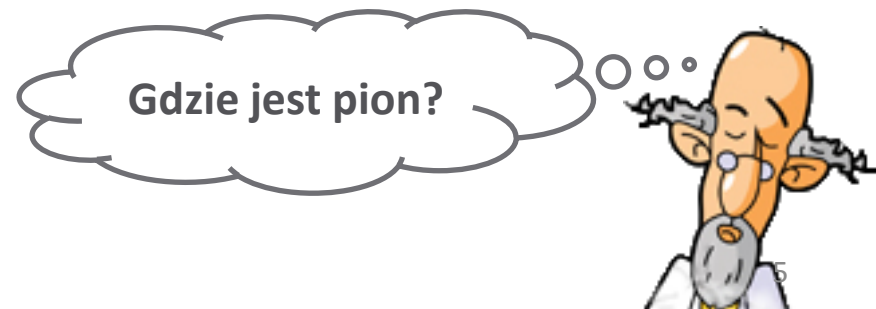
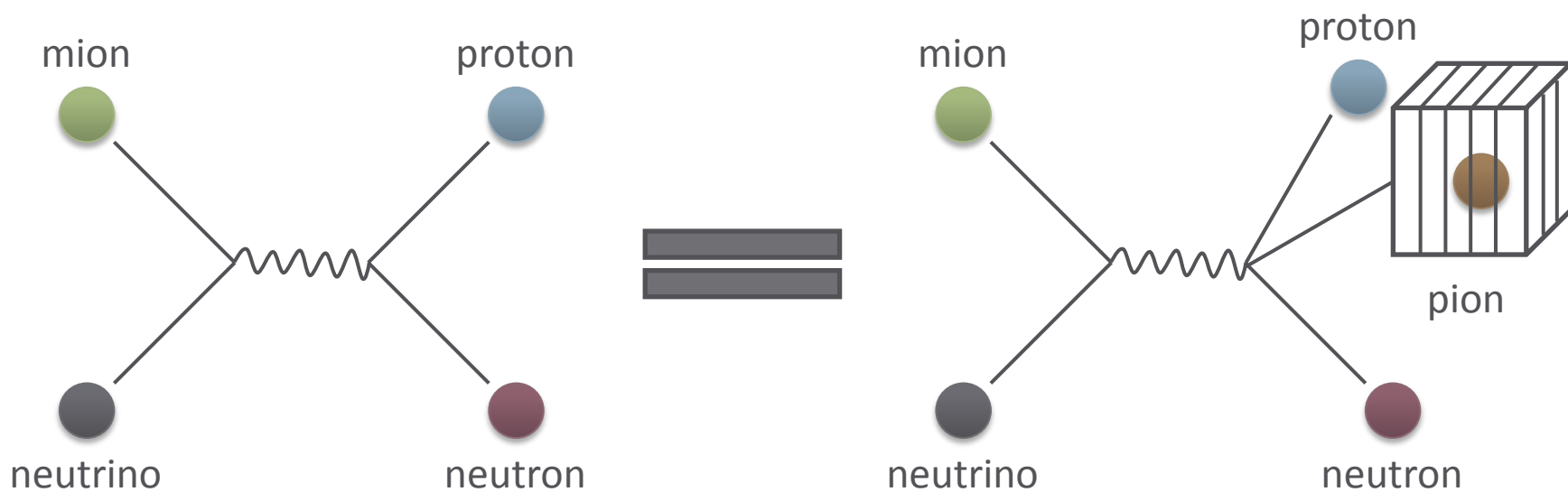


Co

Po co

Jak

Obserwujemy cząstki, które opuściły jądro!



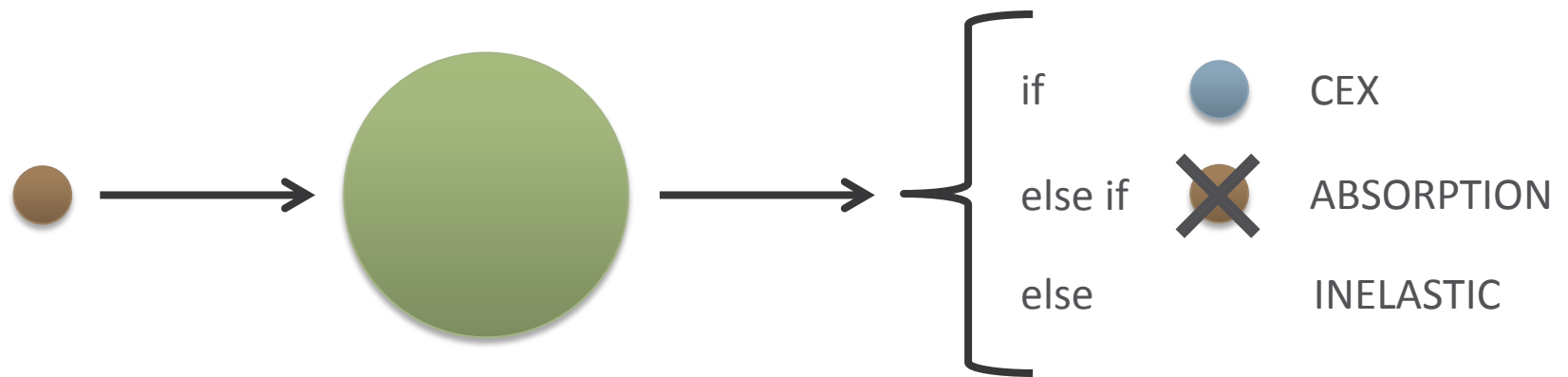
Generatory Monte Carlo (np. NuWro)

<p>1. Przesuwamy cząstkę o mały krok</p> 	<p>2. Sprawdzamy, czy zaszło oddziaływanie</p> 
<p>3a. Zaszło oddziaływanie</p> 	<p>4. Powtarzamy procedurę, dopóki wszystkie cząstki nie opuszczą jądra</p> 
<p>3b. ... lub nie</p> 	

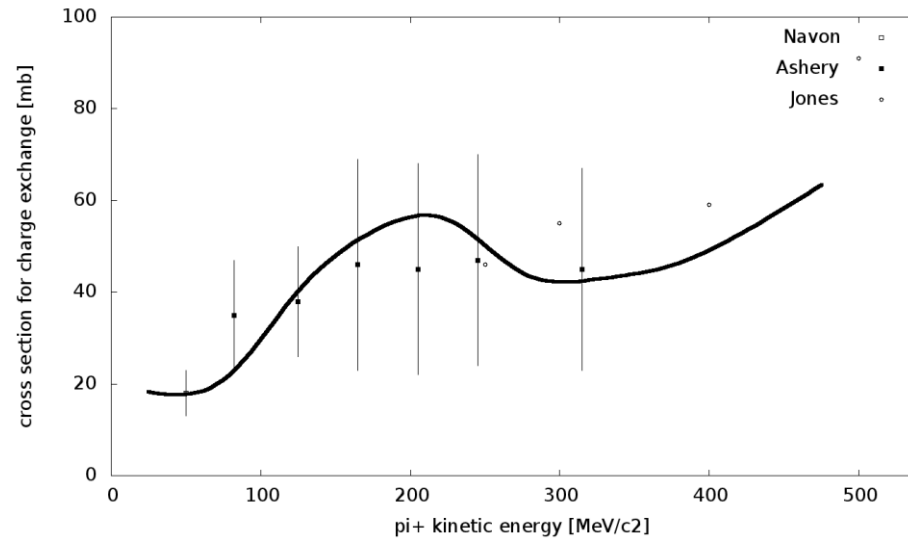
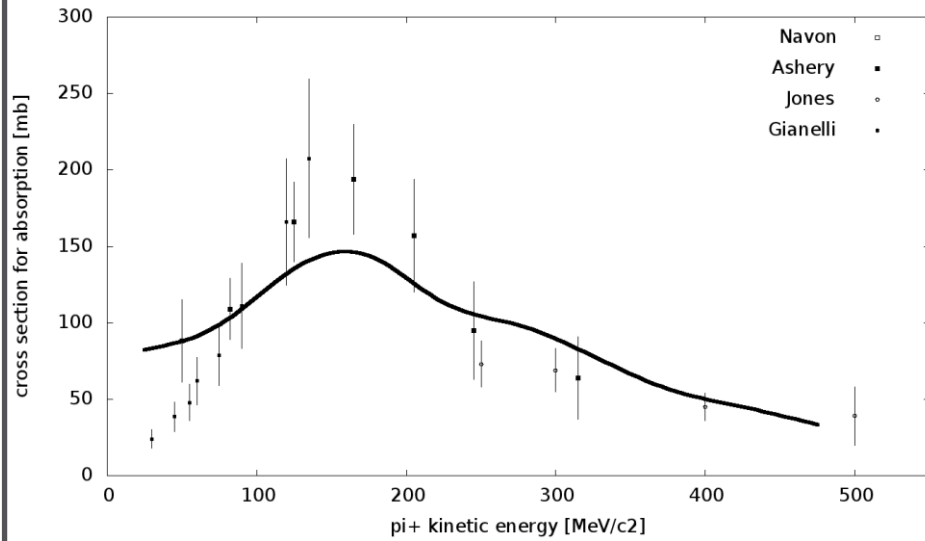
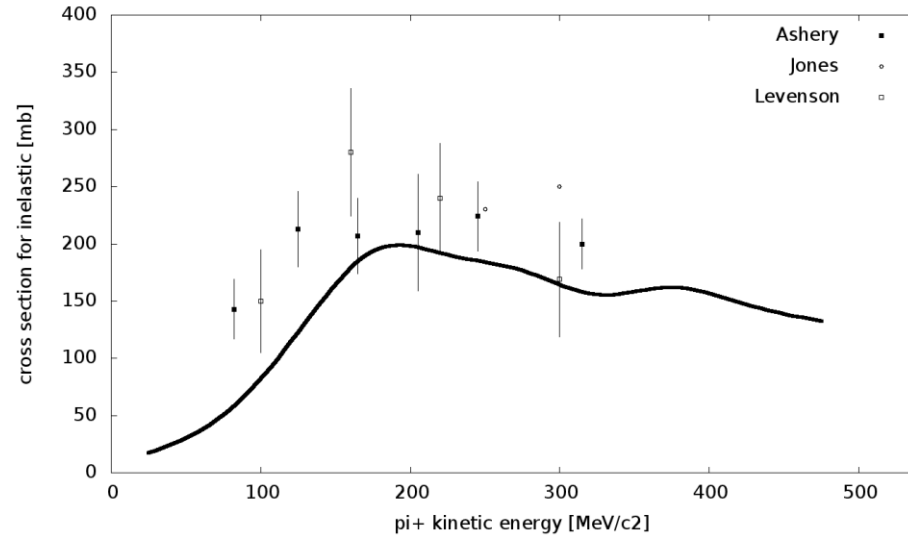
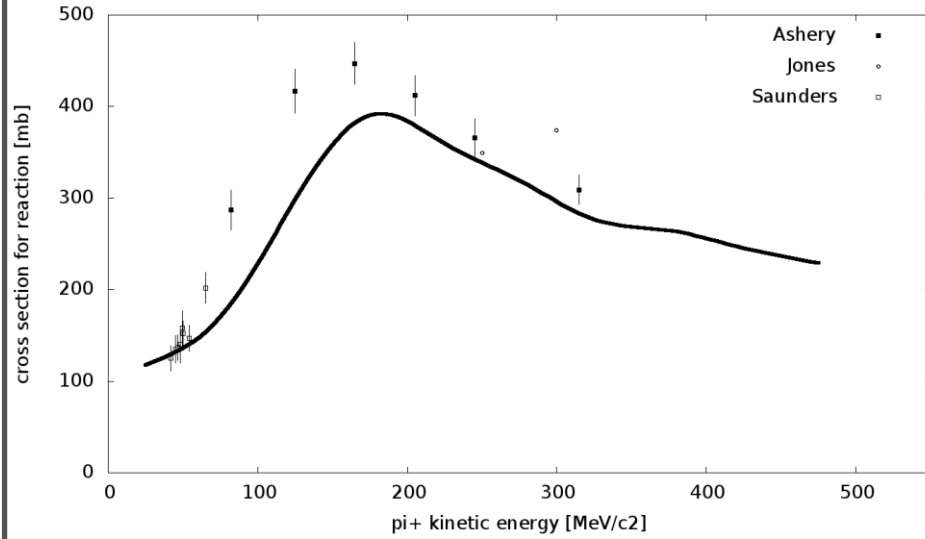
Kaskada w NuWro

1. Liczymy średnią drogę swobodną na podstawie przekrojów czynnych:
 - πN do $T_k = 350$ MeV – E. Oset et al. Nucl. Phys. A484 (1998) 557-592
 - powyżej 350 MeV – dane doświadczalne
2. Decydujemy, do jakiego rodzaju oddziaływania doszło (jeśli zaszło) na podstawie przekrojów czynnych oraz współczynników nieelastyczności
3. W przypadku oddziaływania elastycznego lub CEX rozkłady kątowe na podstawie danych doświadczalnych
4. W przypadku produkcji pionów – jednorodnie w układzie środka masy

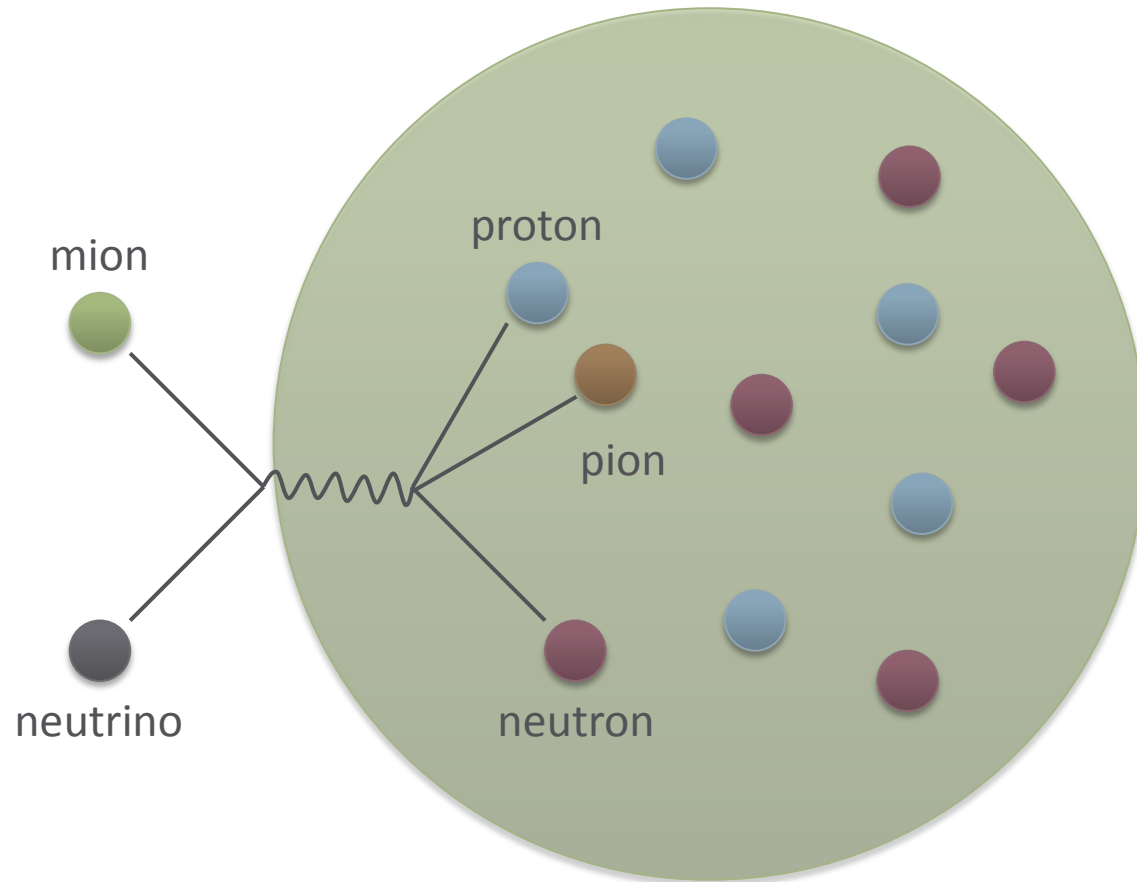
Rozpraszanie pionów na jądrze



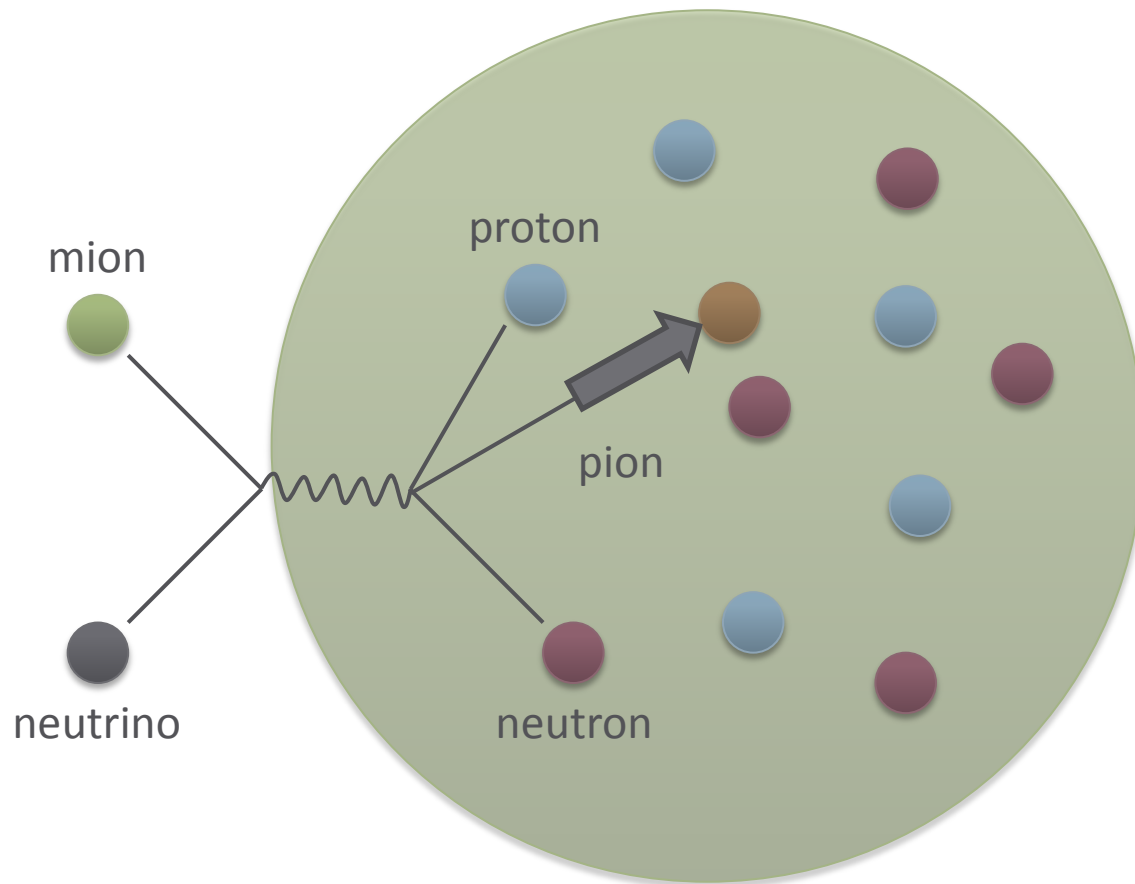
Rozpraszanie pionów na jądrze



Formation zone



Formation zone



Coherence length

Rozważmy rozpraszanie elastyczne. Niech p będzie czteropędem końcowego hadronu, a q – przekazem czteropędu:

$$|pq| = |p_{rf}q_{rf}| = |\nu_{rf}M| \Rightarrow |\Delta E_{rf}| = |\nu_{rf}| = \frac{|pq|}{M}$$

Z zasady nieoznaczoności przekaz energii jest związany z nieoznaczonością czasu wytworzenia się stanu końcowego

$$|\Delta\tau||\Delta E_{rf}| = 1 \Rightarrow |\Delta\tau| = \frac{1}{|\Delta E_{rf}|}$$

Gdy przejdziemy do układu laboratoryjnego

$$x = \frac{|\vec{p}|}{pq}$$

Efekt Landaua-Pomeranchuka

Elektron przechodząc przez materiał ulega wielokrotnemu rozpraszaniu. Czas pomiędzy zderzeniami jest równy:

$$t = \frac{E}{kp}$$

gdzie $p = (E, \text{vec } p)$ jest czteropędem elektronu, a k - fotonu

Jeśli myślimy o fotonie jak o fali, możemy wprowadzić jego częstotliwość w układzie spoczynkowym elektronu (ω_{rf}) i przepisać powyższe równanie w postaci

$$t = \gamma t_{rf} = \frac{E}{M} \left(\frac{1}{\omega_{rf}} \right)$$

Foton nie może zostać stworzony w czasie krótszym niż jego okres.

Formation zone

Formation zone jako „tłumaczenie” efektu Landaua-Pomeranchuka dla produkcji hadronów:

elektron \leftrightarrow cząstka padająca o czteropędzie $p_0 = (E_0, 0, 0, \sqrt{E_0^2 - M_0^2})$

foton \leftrightarrow stworzona cząstka o czteropędzie $p = (E, \vec{p}_T, \sqrt{E^2 - \mu_T^2})$

$$\mu_T^2 = M^2 - |\vec{p}_T|^2 \quad - \text{„masa poprzeczna”}$$

Korzystając z równania Landau-Pomeranchuka otrzymujemy

$$t = \frac{E_0}{pp_0} \approx \frac{2E}{\mu_T^2} \quad \longrightarrow \quad x = \frac{2|\vec{p}|}{\mu_T^2}$$

Formation zone

<p>Coherence length</p> <p>Fluka for QE</p>	$\frac{ \vec{p} }{ pq }$	<p style="text-align: center;">G. Battistoni et al.</p> <p style="text-align: center;"><i>“The FLUKA nuclear cascade model applied to neutrino interactions”</i></p> <p style="text-align: center;">http://nuint.ps.uci.edu/proceedings/sala.pdf</p>
<p>Stodolsky</p>	$\frac{2 \vec{p} }{\mu_T^2}$	<p style="text-align: center;">L. Stodolsky</p> <p style="text-align: center;"><i>“Formation zone description in multiproduction”</i></p> <p style="text-align: center;">MPI-PAE/PTh 23/75 (August 1975)</p>
<p>Skat</p> <p>Neut for DIS, Nuance for DIS</p>	$\frac{ \vec{p} }{\mu_{skat}^2}$	<p style="text-align: center;">D.S. Baranov et al. (PHE 84-04, 1984)</p> <p style="text-align: center;"><i>“An estimate for the formation length of hadrons in neutrino interactions”</i></p> <p style="text-align: center;">$\mu_{skat}^2 = 0.08 \pm 0.04 GeV^2$</p>
<p>Rantf</p> <p>Fluka for nonQE, GENIE for DIS</p>	$\tau \frac{m \vec{p} }{\mu_T^2}$	<p style="text-align: center;">J. Rantf</p> <p style="text-align: center;"><i>Z. Phys. C - Particles and Fields</i> 43, 439-446 (1989)</p> <p style="text-align: center;">$\tau = 0.342$</p>
<p>Cosyn</p>	$\frac{2 \vec{p} }{\mu_{cos}^2}$	<p style="text-align: center;">W. Cosyn PhD thesis</p> <p style="text-align: center;">$\mu_{cos}^2 = 0.7 GeV^2 \text{ for pions}$</p> <p style="text-align: center;">$\mu_{cos}^2 = 1.0 GeV^2 \text{ for nucleons}$</p>

Formation zone

We wszystkich modelach formation zone jest proporcjonalne do pędu.

Ustalmy jedną formułę:

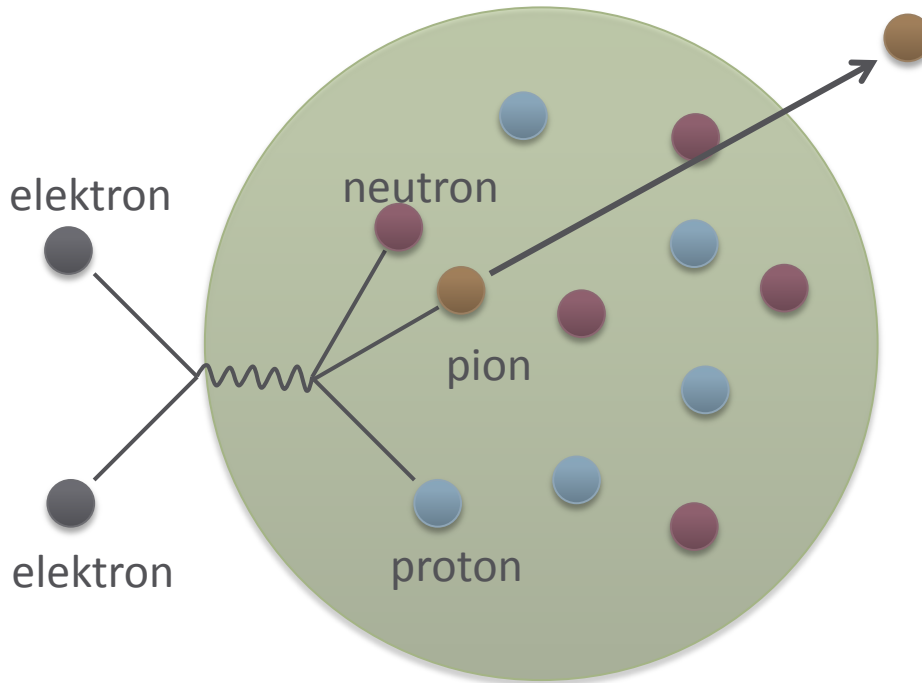
$$x = v\gamma\tau = \frac{|\vec{p}|}{M}\tau$$

I wyliczymy t odpowiadające każdemu modelowi.

dla $p = 1 \text{ GeV}$

	Energia	$\tau_{\pi}[\text{fm}/c]$	$\tau_N[\text{fm}/c]$	$x_{\pi}[\text{fm}]$	$x_N[\text{fm}]$
Cosyn	do 5 GeV	0.08	0.376	0,57	0,40
Skat	do 30 GeV	0.35	2.35	2,5	2,5
Nomad	do 100 GeV	1-2	1-2	7,14-14,28	2,12-5,3
Ranft	~ 200 GeV	5-10	5-10	35,7-71,4	5,3-10,6

Przezroczystość jądra



Przezroczystość jądra mówi nam, ile pionów opuściło jądro bez oddziaływania

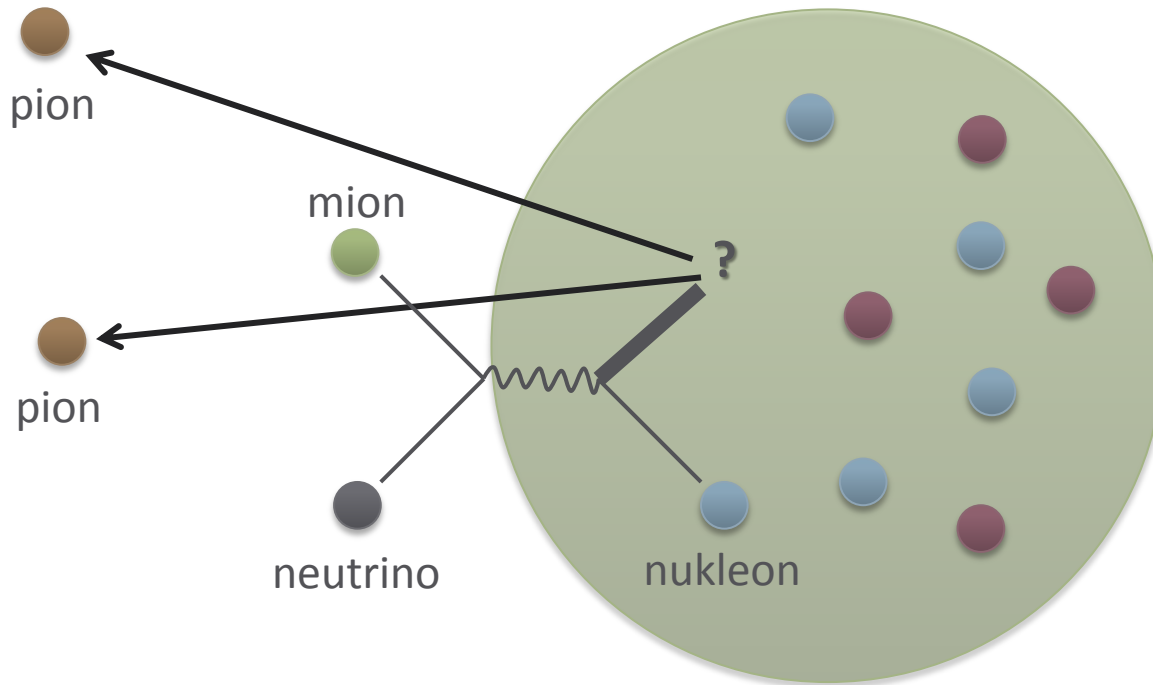
$$T = \frac{\sigma_{exp}}{\sigma_{PWIA}}$$

W oczywisty sposób jest bardzo czuła na formation zone

Dane doświadczalne z:

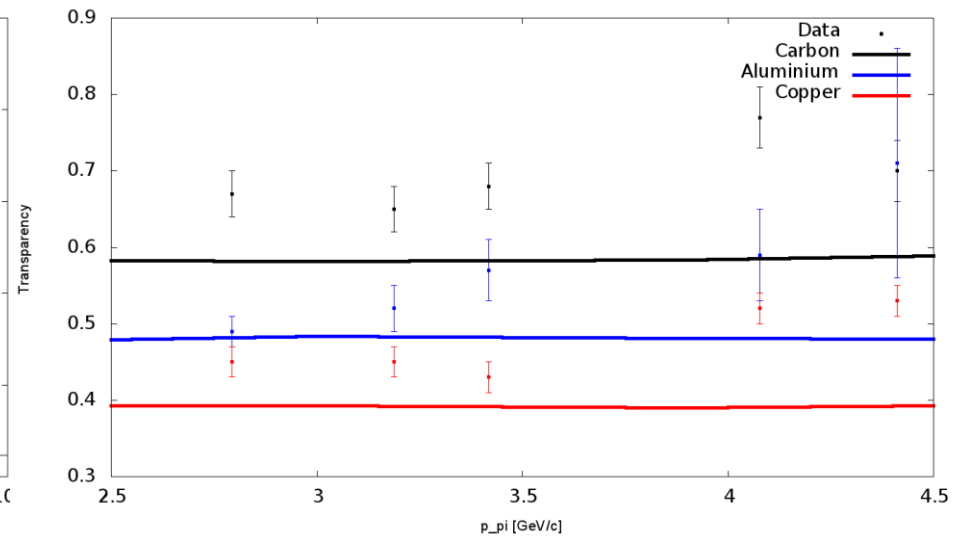
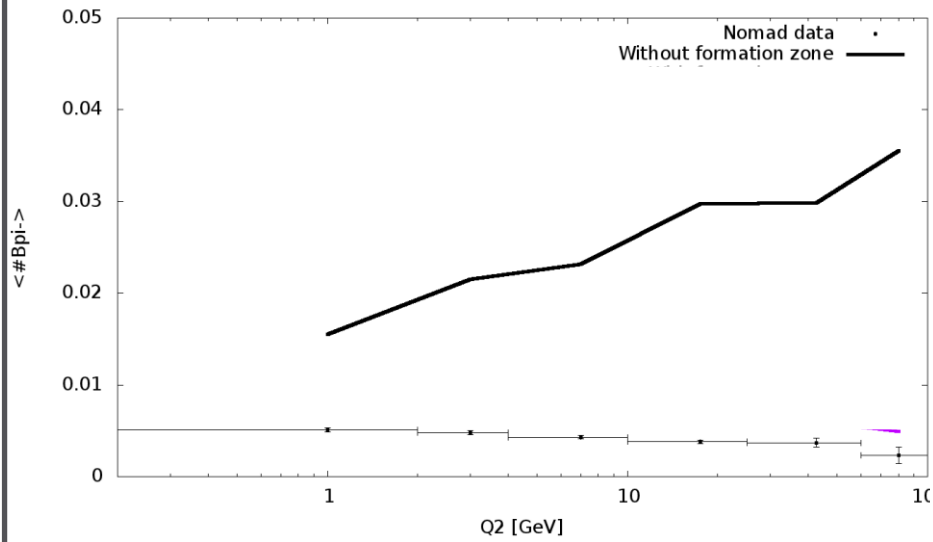
B. Clasic et al. PRL99 (2007) 242502

Nomad – wsteczne piony

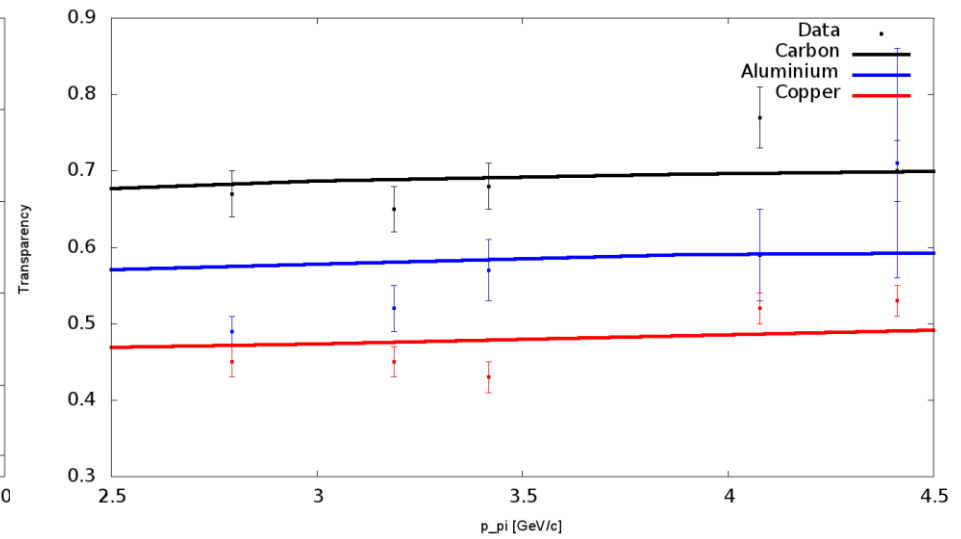
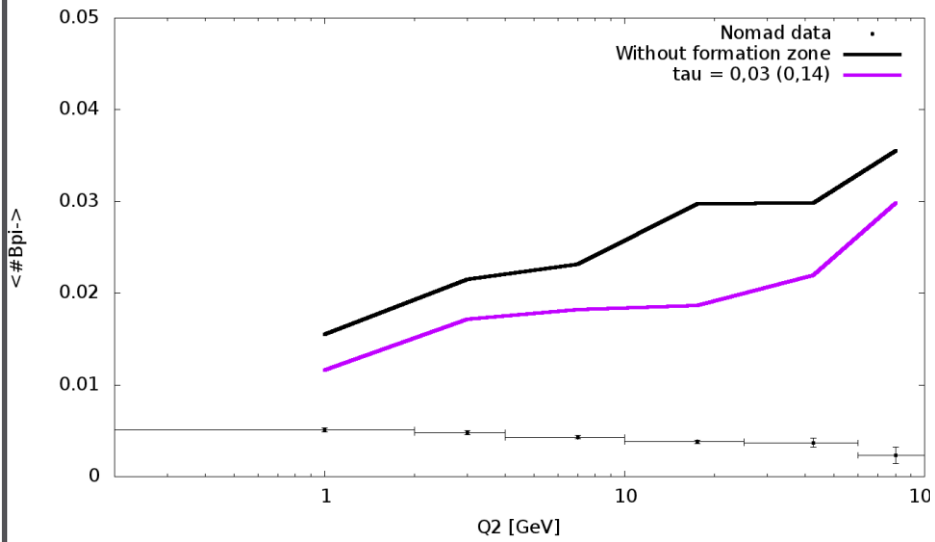


Obserwujemy średnią ilość wstecznych pionów. Czujęm na formation zone, ponieważ wsteczne piony są efektem oddziaływań stanów końcowych.

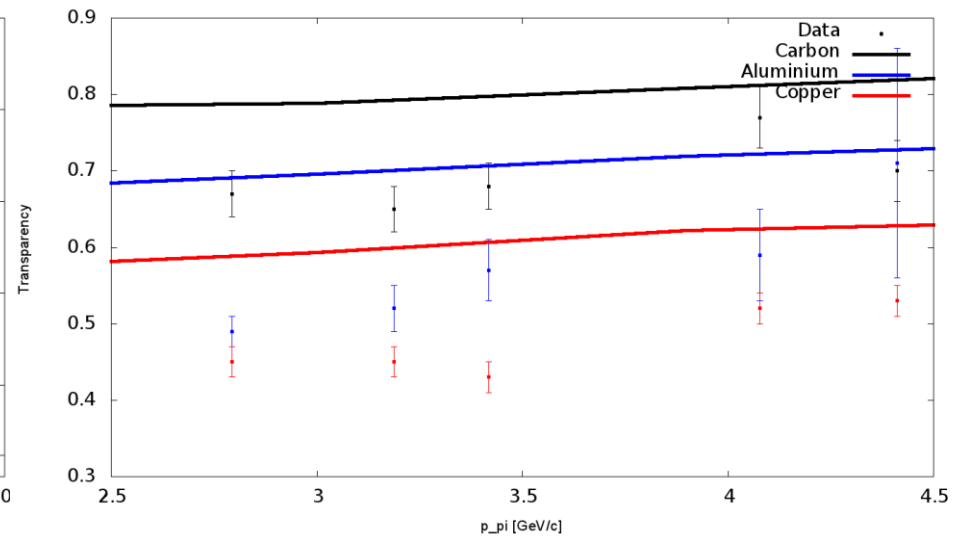
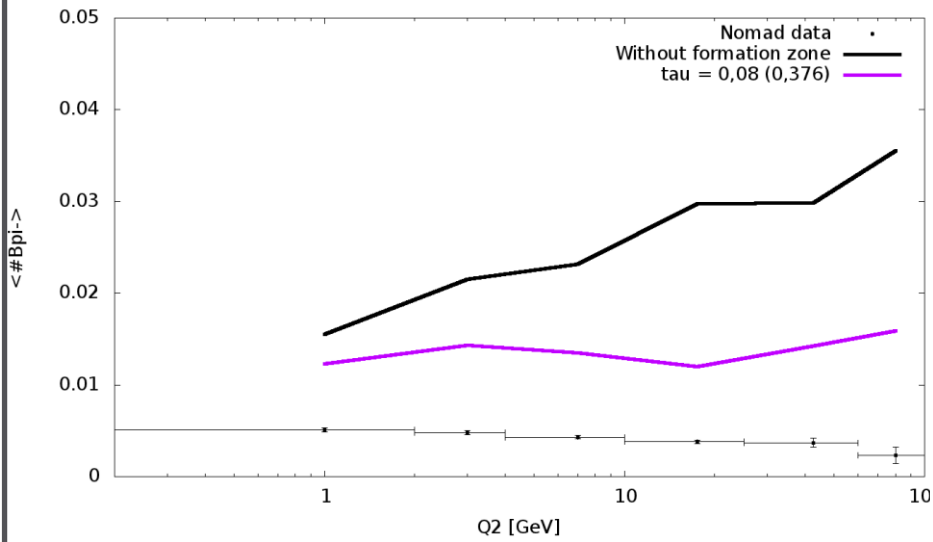
Bez formation zone



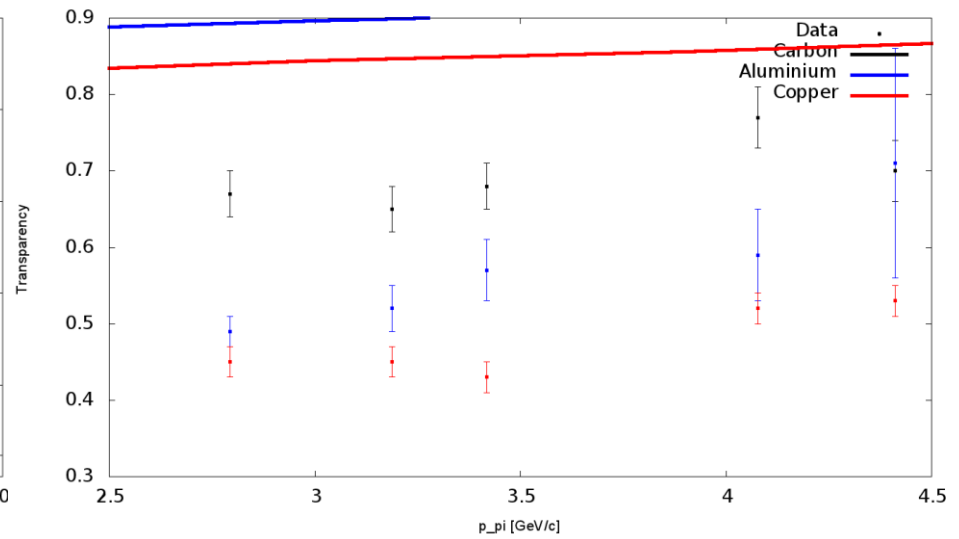
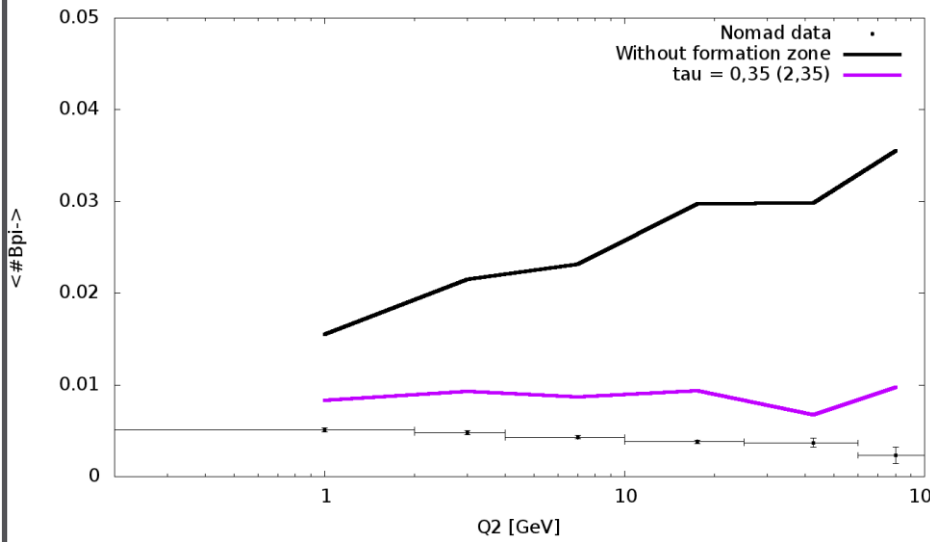
Formation zone $\tau = 0,03 (0,14)$



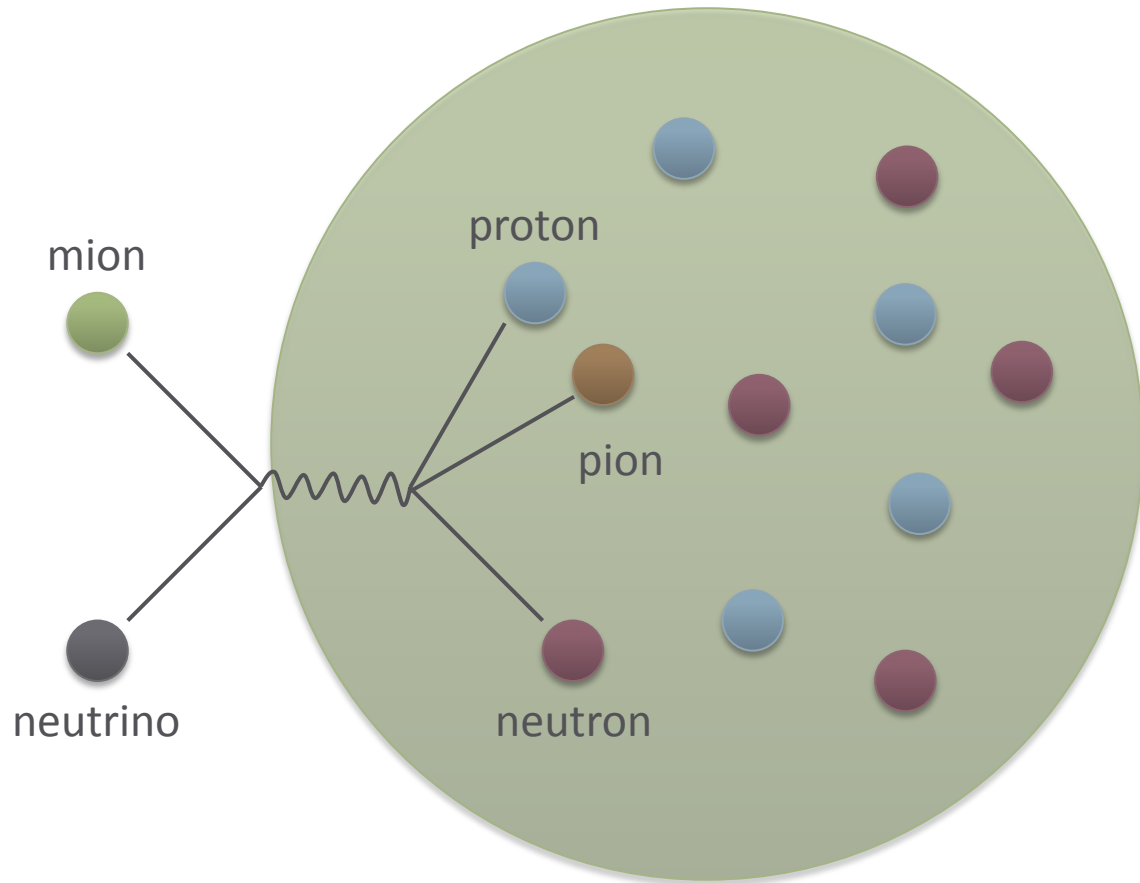
Formation zone $\tau = 0,08$ (0,376)



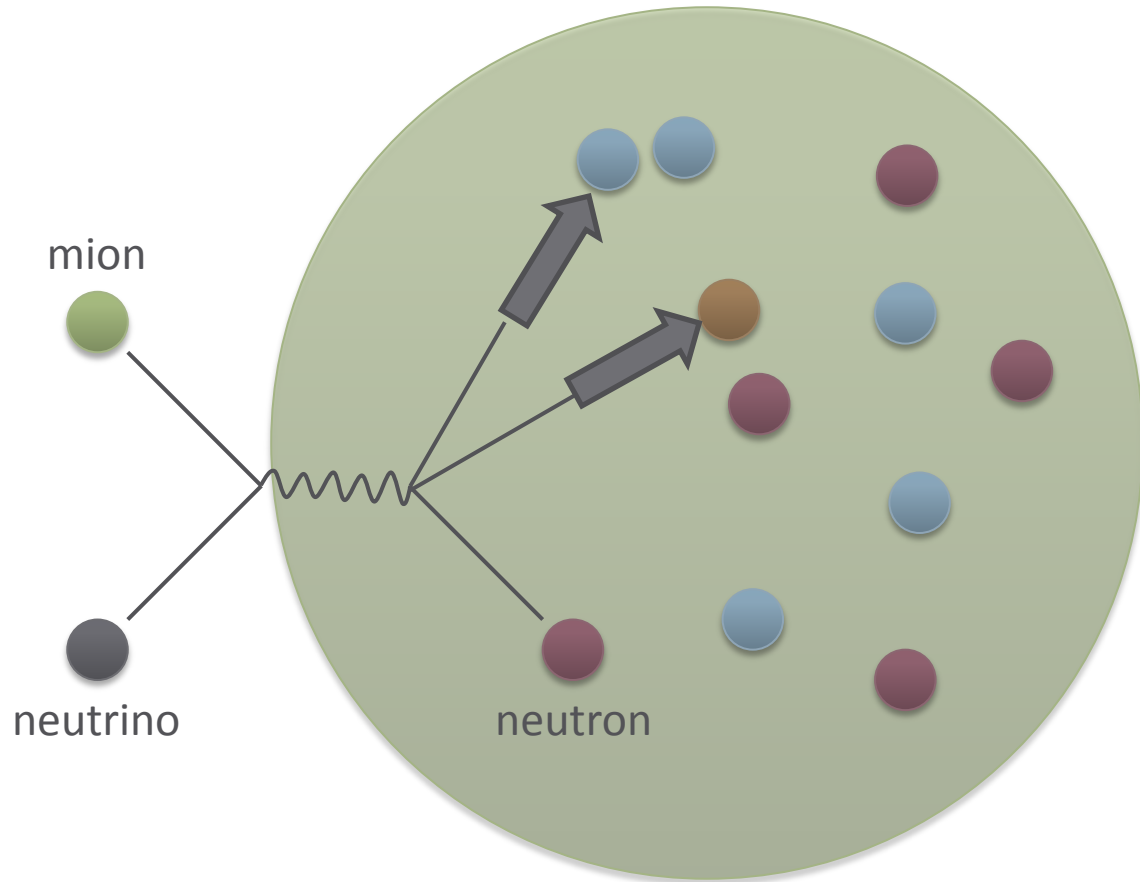
Formation zone $\tau = 0,35$ (2,35)



Formation zone

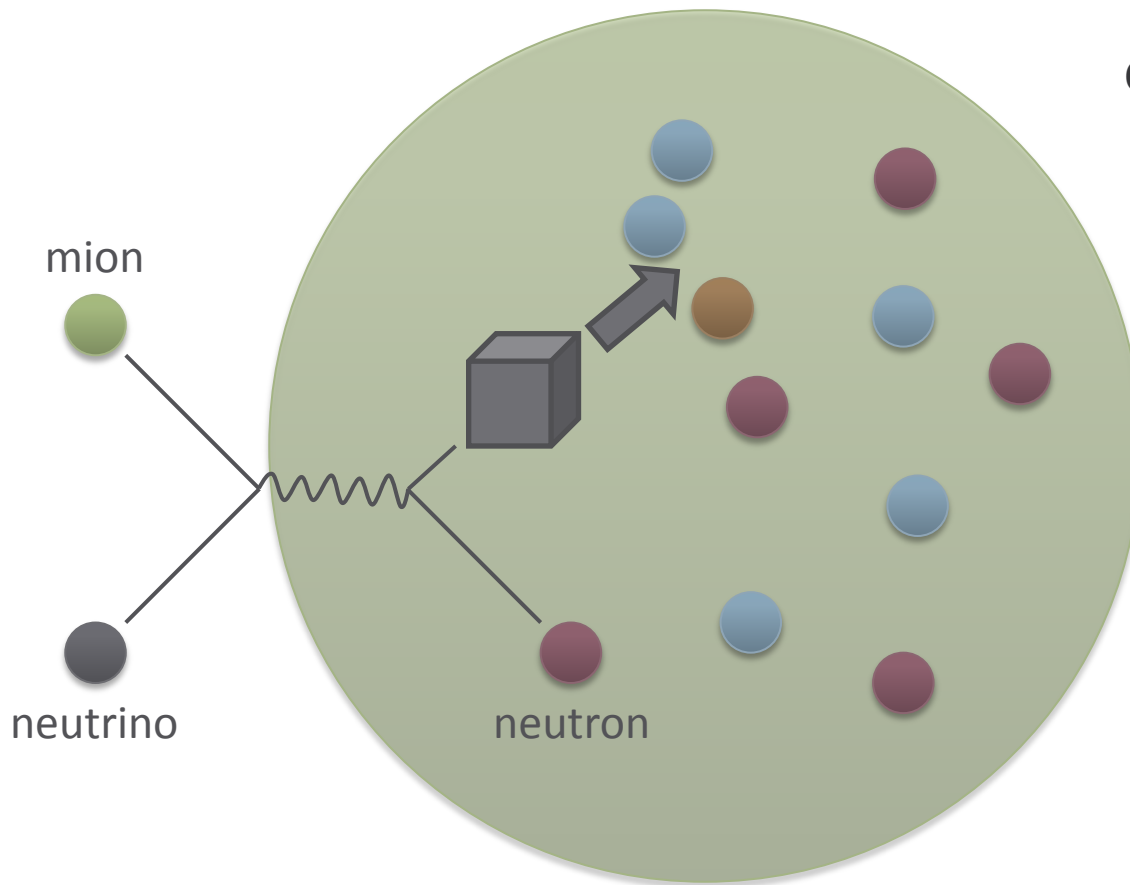


Formation zone



$$x = v\gamma\tau = \frac{|\vec{p}|}{M}\tau$$

Formation zone



Czteropęd 

$$p = \sum p_i$$

Czas kreacji w układzie spoczynkowym

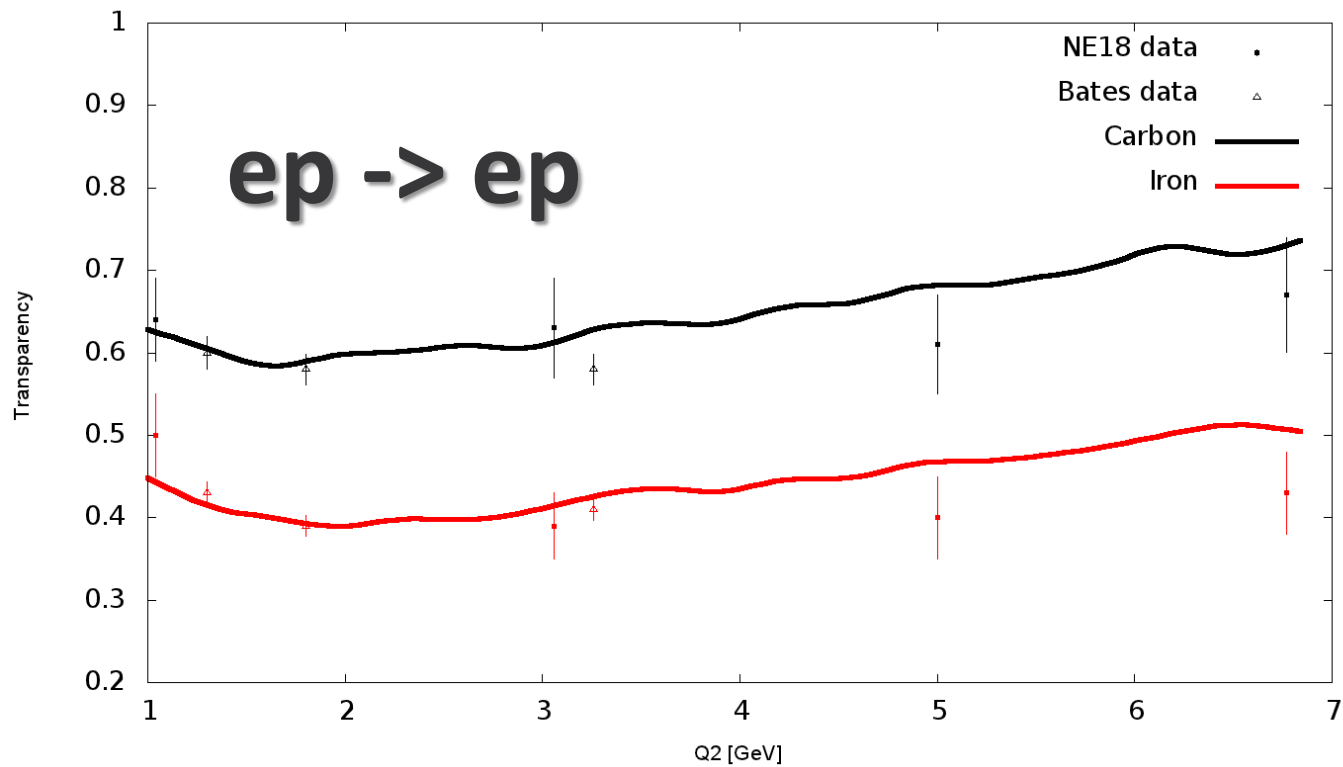
$$\tau = \sum \tau_i$$

przy czym $\tau_\pi \neq \tau_N$

Formation zone -> $x = v\gamma\tau = \frac{|\vec{p}|}{\sqrt{p^2}}\tau$

„Fitowanie” τ

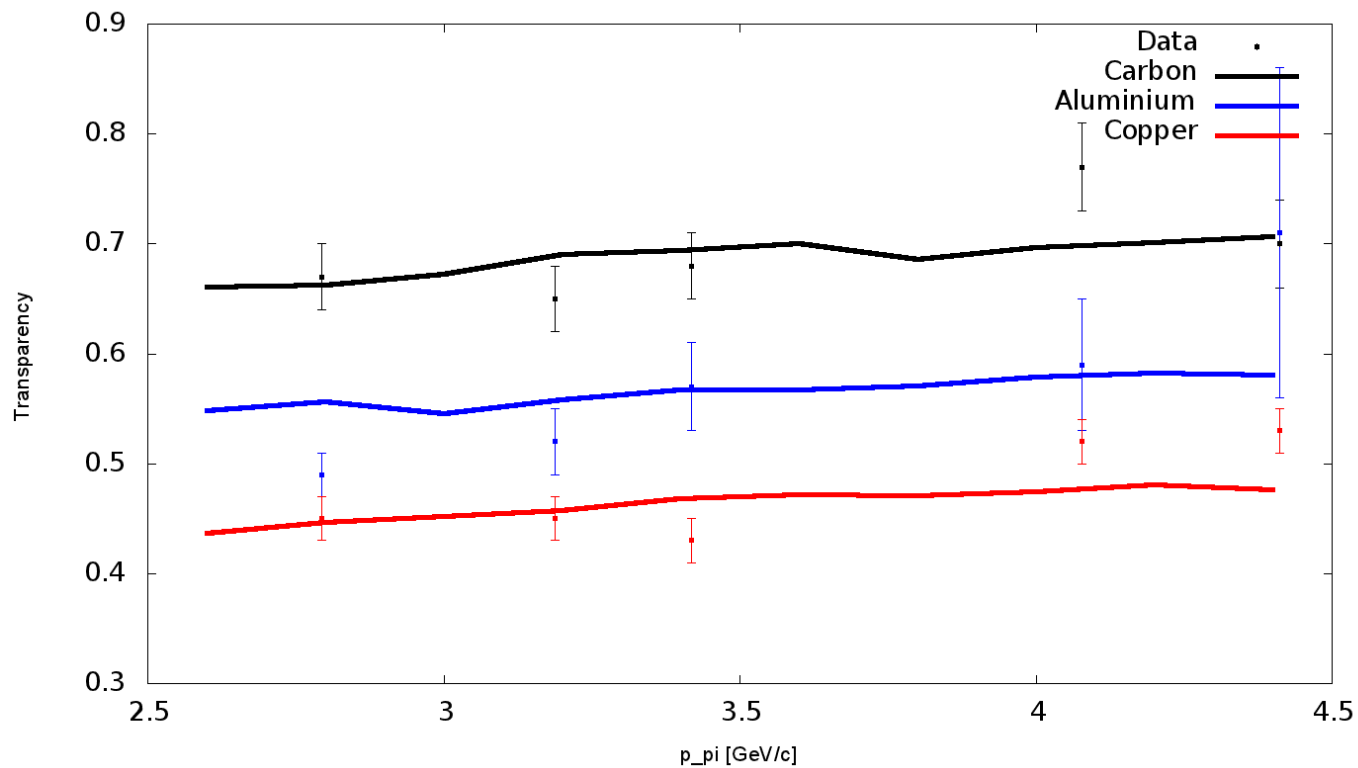
Przezroczystość jądra dla nukleonów $\rightarrow \tau_N$



$$\tau_N = 0.35 fm/c$$

„Fitowanie” τ

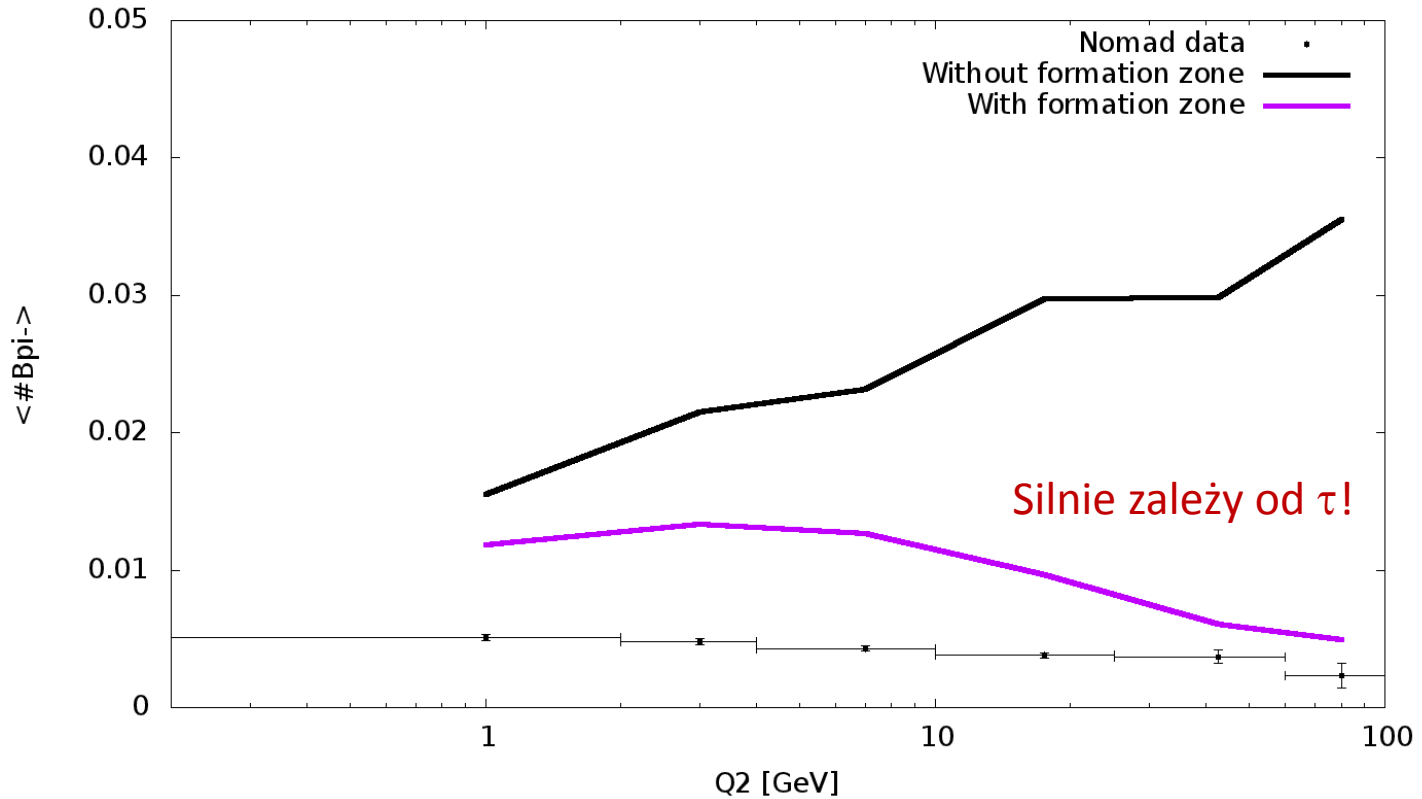
Przezroczystość jądra dla pionów $\rightarrow \mathcal{T}_\pi$



$$\tau_\pi = 0.01 fm/c$$

Test

Z ustalonymi τ dla nukleonów i pionów sprawdzamy model dla wstecznych pionów



Podsumowanie

- formation zone może mieć duży wpływ na wyniki
- obecne na rynku modele zależą od parametru, którego dofitowana wartość zależy od energii leptonu
- możliwe rozwiązanie:
 - przyjęcie że $\tau = \tau(E)$ – jak miałyby zależeć od E ?
 - stosowanie formation zone dla wszystkich cząstek tak, jakby były jednym obiektem – jakie wartości parametrów τ ?

Dziękuję za uwagę.