

Implementacja MEC z modelu Nievesa w NuWro

Jakub Żmuda

Seminarium Zakładu Fizyki Neutrin, 30.11.2012

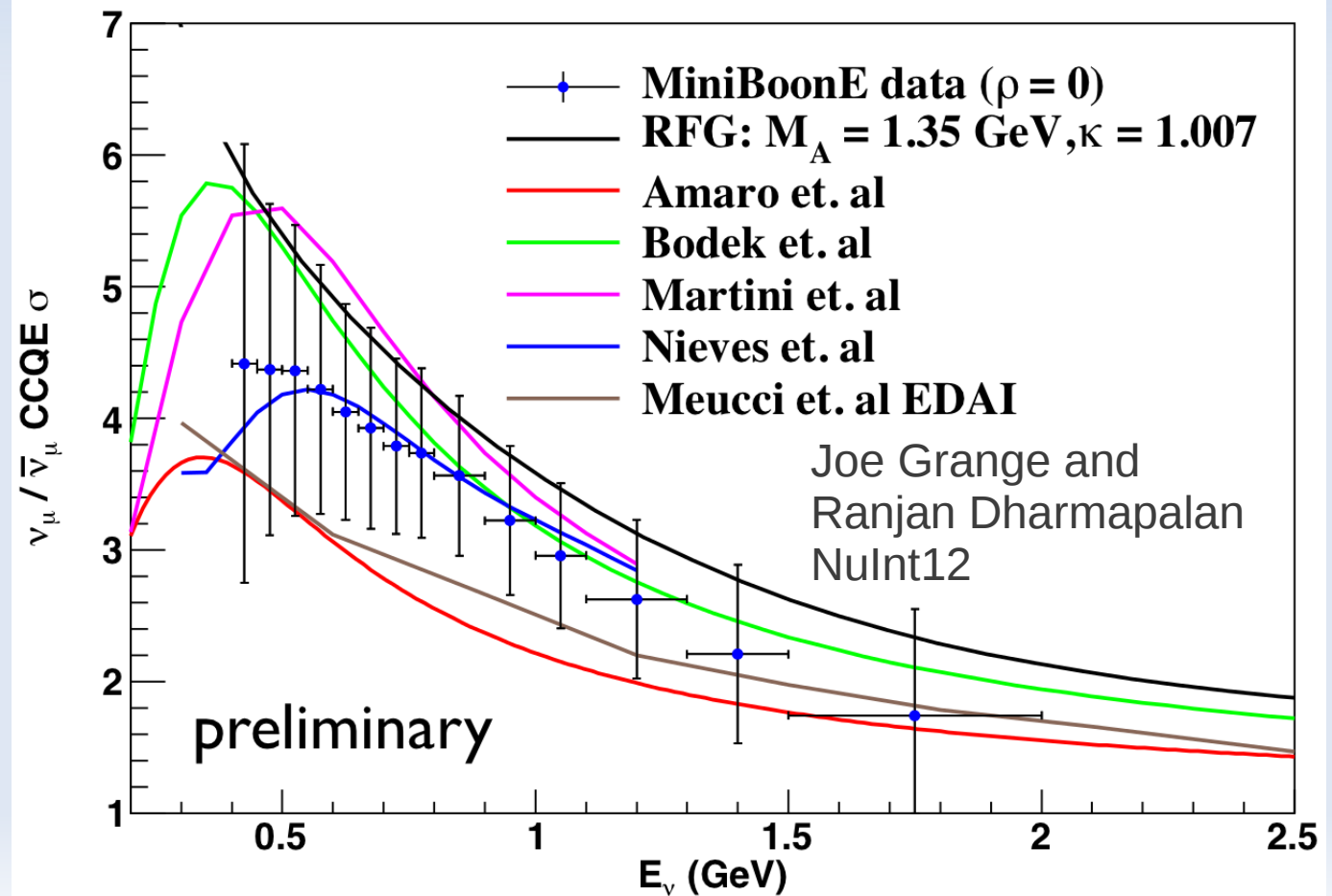


Uniwersytet
Wrocławski

Modele wzbudzeń $n\pi h$ NuWro

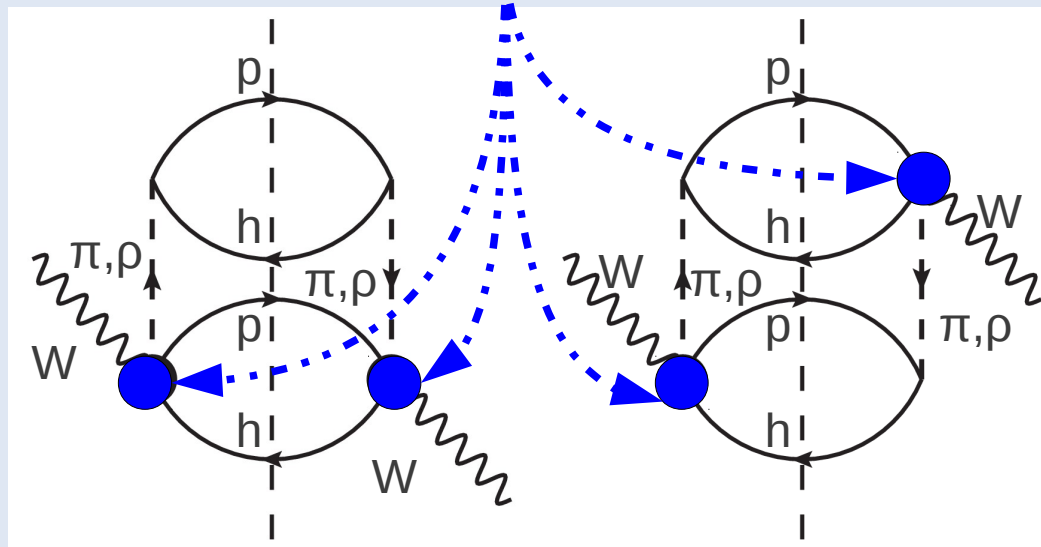
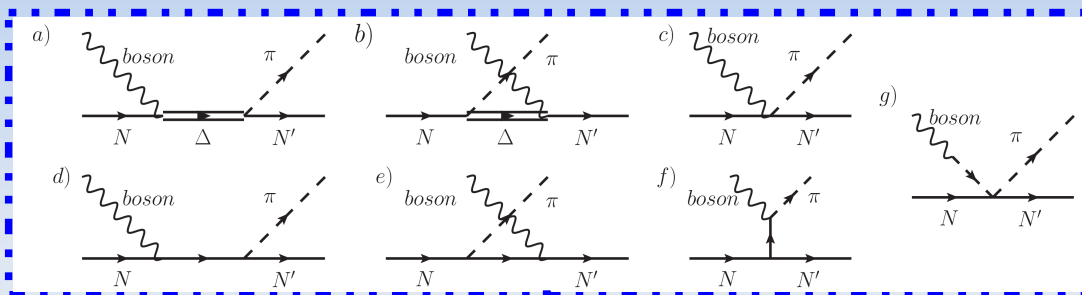
- Wcześniej zaimplementowane w NuWro: Marteau i Transverse Enhancement (TEM) (JS/TG).
- Wszystkie typy (anty)neutrin
- Wspólny model wybitcia nukleonu autorstwa JS (PhysRev **C86** 015504)

- Model Nievesa: najlepszy na rynku? (porównanie z MiniBooNE)



MEC w modelu Nievesa

- MEC-„prądy wymiany mezonów” -> wzbudzenie dwóch lub więcej nukleonów z jądra poprzez wymianę wirtualnych mezonów.
- MEC wg. Nievesa: diagramy na produkcję mezonów w ramach efektywnej teorii pola zaadoptowane do wirtualnych cząstek podłączonych do nukleonów w LFG.
- Głównie 2p2h, trochę 3p3h bezpionowych rozpadów $\Delta(1232)$ (model Oseta).



(pionowa linia przerywana przecina propagatory cząstek w stanie końcowym) ₃

Implementacja efektywna: nierówne binowanie danych i interpolacja

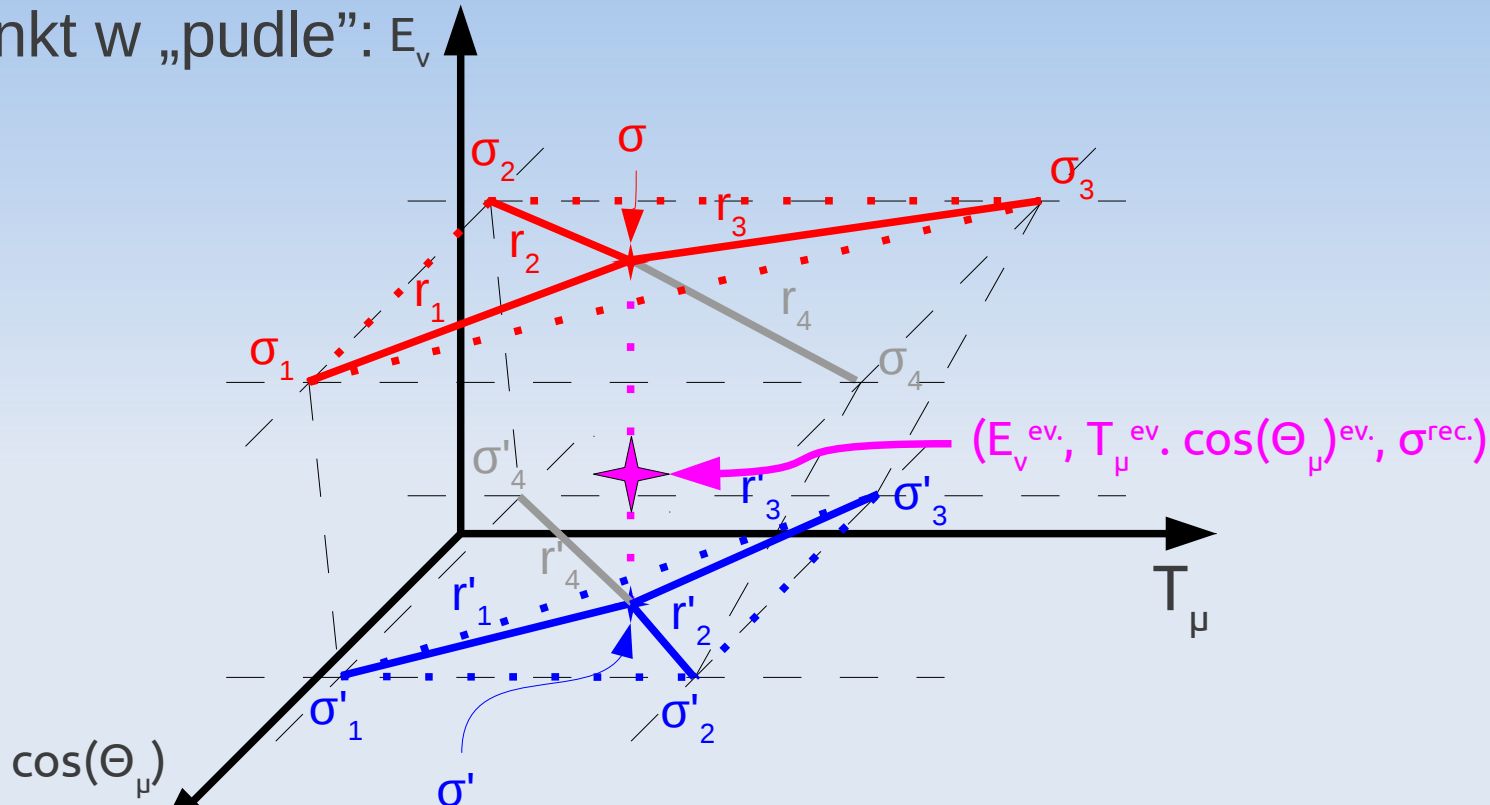
- Juan Nieves dostarczył dane na inkluzywne rozpraszanie $^{12}\text{C}(v_{\mu}, \mu^-)$. Podwójny różniczkowy przekrój $d^2\sigma/dT_{\mu} d\cos\Theta_{\mu}$. 40 wartości E_v między ~ 155 i 2995 [MeV], dla każdego z nich siatka 40×40 w $\cos\Theta_{\mu}$ i T_{μ} . W sumie 64000 punktów
- Problem: nierówne (kwadratura Gaussa) odstępy we wszystkich zmiennych, np..
 $E_v = 154.8959, 175.67, 212.533, \dots, 2974.33, 2995.104$ [MeV]
- Użyteczna obserwacja: w $\cos\Theta_{\mu}$ zawsze te same 40 wartości, natomiast rozmieszczenie w T_{μ} zależne od energii (1600 niezależnych wartości).
- Konieczne sprytne uporządkowanie danych. Optymalny? Wybór: zmiana E_v co 1600 punktów, $\cos\Theta_{\mu}$ co 40 punktów i T_{μ} co punkt. (wszędzie kolejność rosnąca)

Implementacja efektywna: nierówne binowanie danych i interpolacja

- Zamiast jednej wielkiej tablicy na 256000 liczb:
 - 1) Tablica z 40 wartościami E_v^{dane}
 - 2) Tablica z 40 wartościami $\cos\Theta_\mu^{\text{dane}}$
 - 3) Tablica z 1 600 wartościami T_μ^{dane} (E_v^{dane} rośnie co 40)
 - 4) Tablica z 64 000 przekrojów czynnych w odpowiedniej kolejności
- Dla każdego zdarzenia z $E_v^{\text{zdarz.}}$ NuWro losuje $T_\mu^{\text{zdarz.}}$ i $\cos\Theta_\mu^{\text{zdarz.}}$.
Szybkie wyszukiwanie:
 - 1) Pozycja najbliższej $E_v^{\text{dane}} < E_v^{\text{zdarz.}}$ z tablicy 1.
 - 2) Pozycja najbliższego $\cos\Theta_\mu^{\text{dane}} < \cos\Theta_\mu^{\text{zdarz.}}$ z tablicy 2.
 - 3) Pozycje najbliższego $T_\mu^{\text{dane}} < T_\mu^{\text{zdarz.}}$ dla najbliższej $E_v^{\text{dane}} < E_v^{\text{zdarz.}}$ in najbliższego $T_\mu^{\text{dane}} < T_\mu^{\text{zdarz.}}$ dla najbliższej $E_v^{\text{dane}} > E_v^{\text{zdarz.}}$ z t. 3)

Implementacja efektywna: nierówne binowanie danych i interpolacja

- Punkt w „pudle”: E_ν

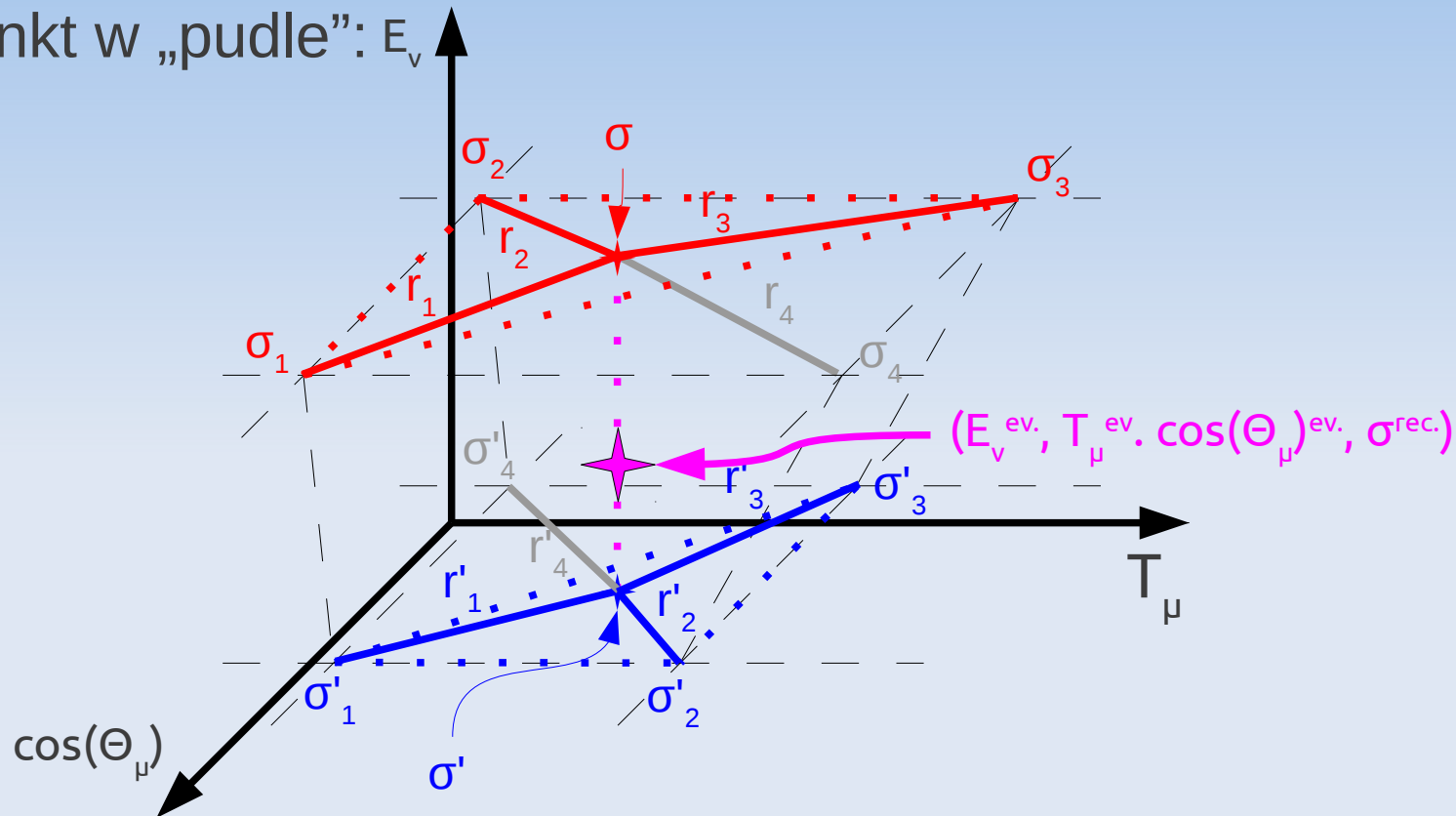


- Projektcja na płaszczyzny danych o równych energiach neutrin.
 2 Punkty o przekroju danym średnią harmoniczną

$$\sigma^{(i)} = (1/r^{(i)}_1 \sigma^{(i)}_1 + 1/r^{(i)}_2 \sigma^{(i)}_2 + 1/r^{(i)}_3 \sigma^{(i)}_3) / (1/r^{(i)}_1 + 1/r^{(i)}_2 + 1/r^{(i)}_3)$$
- σ^{rec} = interpolacja liniowa po energii między σ i σ' .
- Bardzo szybki i dość dokładny algorytm

Implementacja efektywna: nierówne binowanie danych i interpolacja

- Punkt w „pudle”: E_ν



- Punkty leżące pomiędzy $\sim \pm 0.995$ a ± 1 w $\cos\Theta_\mu^{dane}$ poza danymi: ten sam przekrój, co dla ± 0.995
- Poza górną granicą w T_μ dla niższej energii, ale w granicach dla wyższej energii neutrina: rekonstrukcja z $\sigma'=0$.

Problem granicy kinematycznej

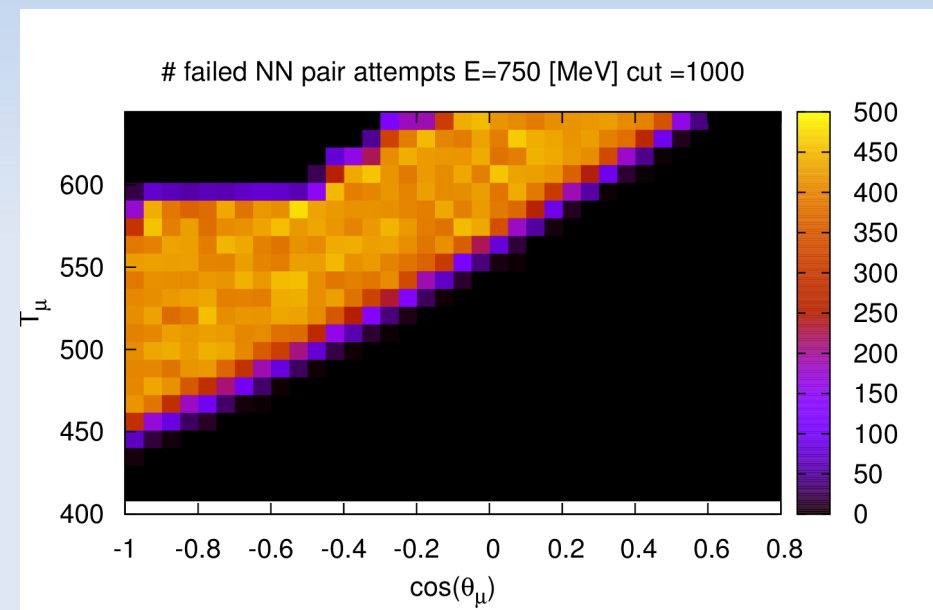
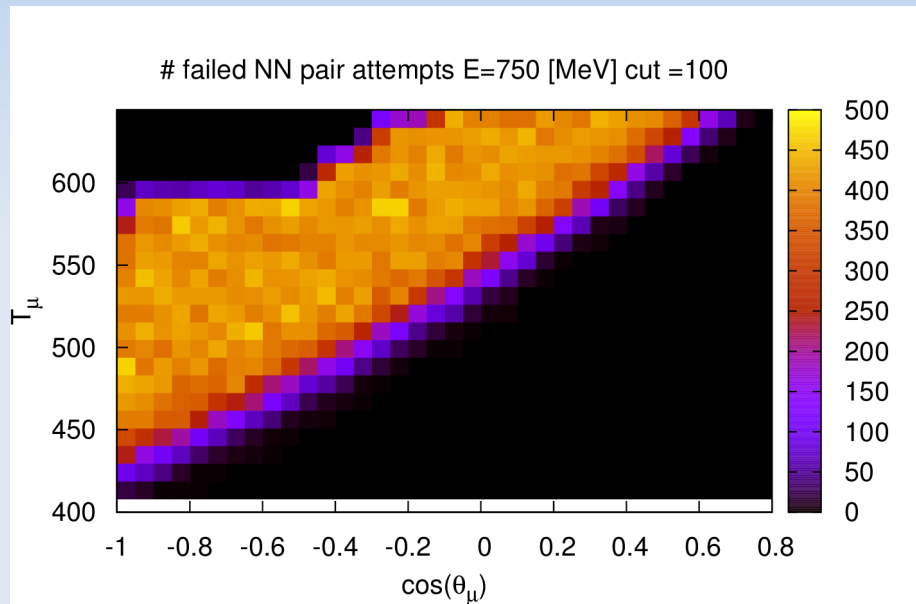
- Po obliczeniu wagi (przekroju czynnego) algorytm JS do losowania nukleonów:
 - 1) Losowanie dwóch nukleonów z dystrybucji LFG o czteropędach p_1 i p_2 .
 - 2) Obliczenie sumy 4-pędu układu hadronowego $(q+p_1+p_2)$
 - 3) Boost do CMS dla $(q+p_1+p_2)$.
 - 4) Izotropowy rozpad w CMS na 2 nukleony
 - 5) Boost z powrotem
- Krok 1) powtarzany aż $(q+p_1+p_2)^2 > 4M_N^2$, czyli produkcja dwóch nukleonów na powierzchni masy.

Problem granicy kinematycznej

- Problem: interpolacja to nie dokładne obliczenie przekroju. Niezerowe wagi poza obszarem, gdzie można znaleźć $(q+p_1+p_2)^2 > 4M_N^2$.
- Problem Nievesa? - zdarza się niezerowy przekrój dla $q^0 \sim 100$ MeV i $|\mathbf{q}| \sim 1$ GeV!
- Na szczęście pomijalnie mały przekrój w tym rejonie ($< 10^{-3}$ przekroju całkowitego).
- Brak prostego rozwiązania analitycznego w LFG: pozwolenie na co najwyżej N losowań pary nukleonów (zazwyczaj $N=100$). Niepowodzenie: waga=0.
- Jaki jest kształt i zasięg „kłopotliwego” obszaru?

Problem granicy kinematycznej

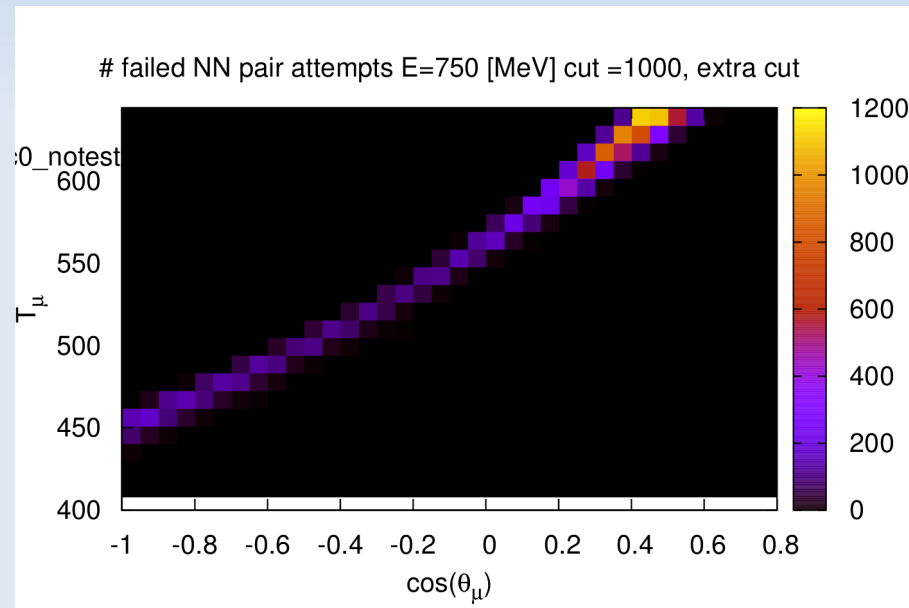
- Mapy obszaru z niezerowym interpolowanym przekrojem czynnym i porażka w poszukiwaniu pary nukleonów do 100 i 1000 powtórzeń



- Kolor pomarańczowy: biny wykluczone (losowanie przerwane po 100 lub 1000 prób w więcej, niż 400 zdarzeniach testowych przy przeciętnej liczbie zdarzeń testowych na bin~ 415)
- Minimalne różnice, w NuWro pozwalam na 100 losowań.- pomijalna różnica przekroju, ale duża w prędkości!

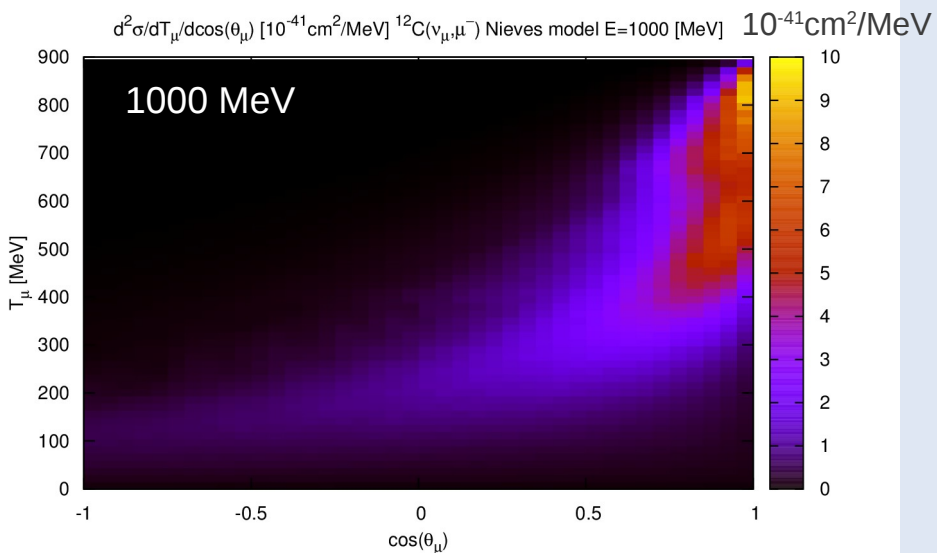
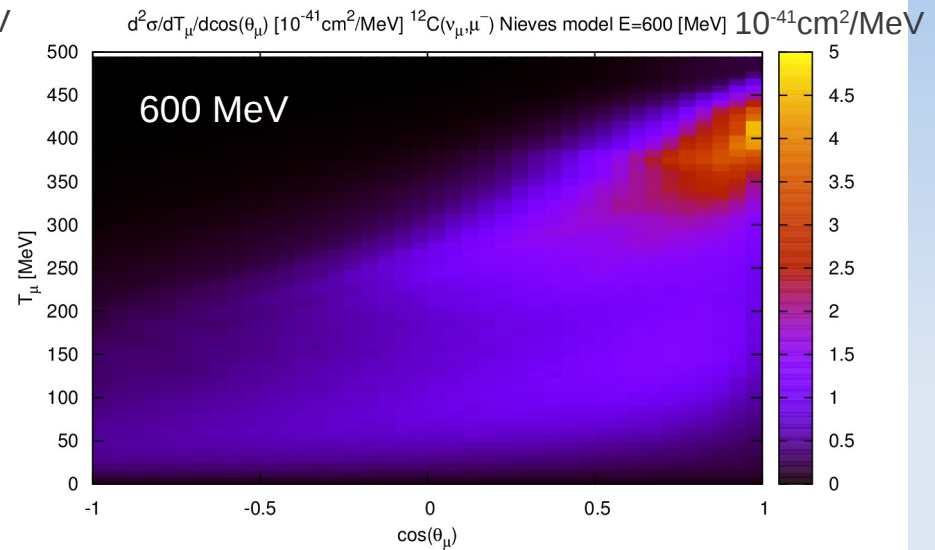
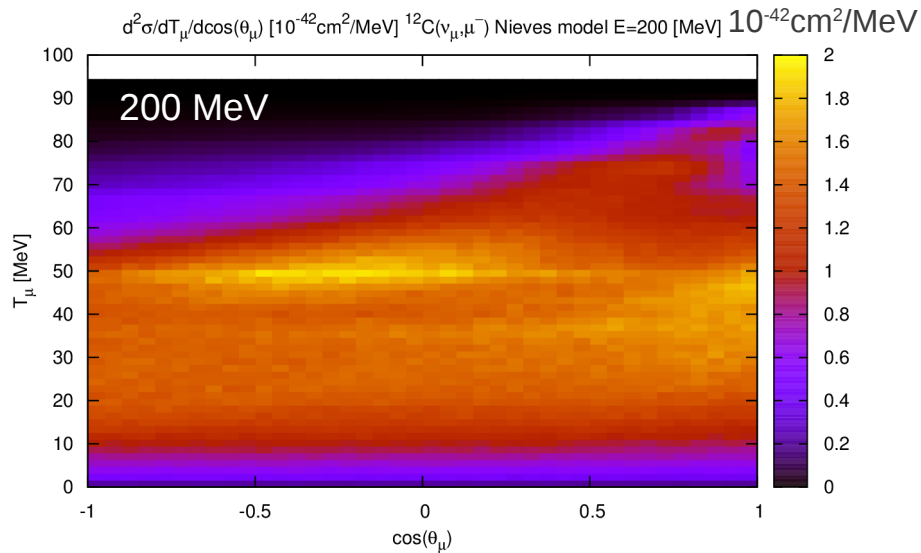
Problem granicy kinematycznej

- Próba wycięcia obszaru niedozwolonego: wielomian dla nukleonów o przeciwnych pędach = k_F dopasowany „na oko”
($q_{\max}^2 = 8q_0^2 + 4(q_0 E(2k_F) + (2k_F)^2)$, cięcie w kącie mionu)



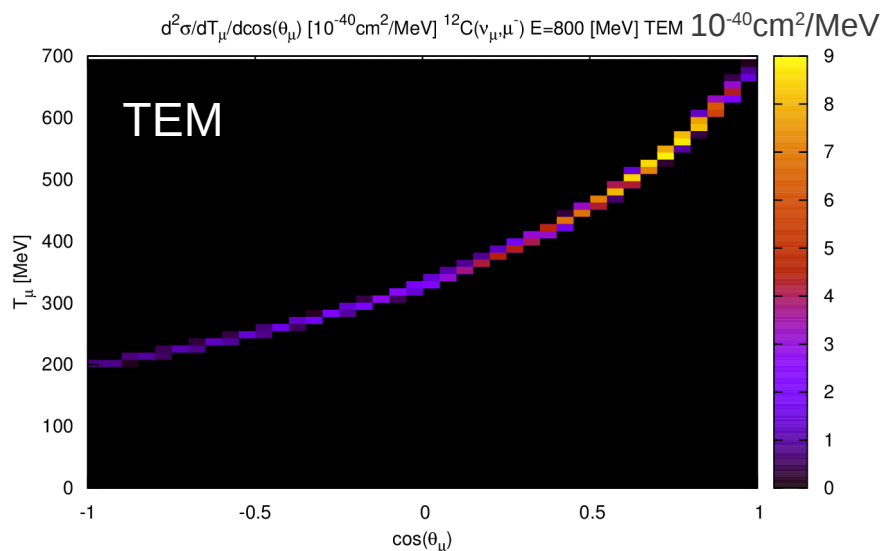
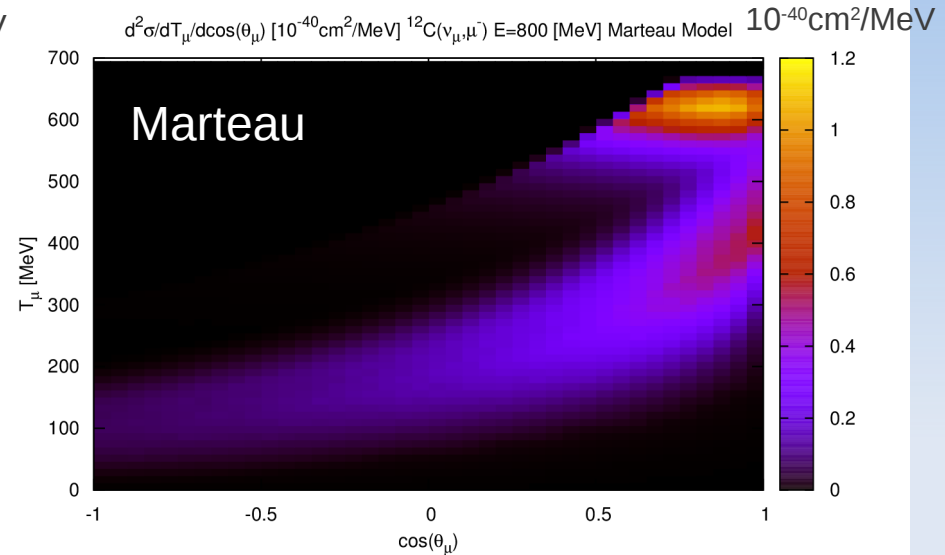
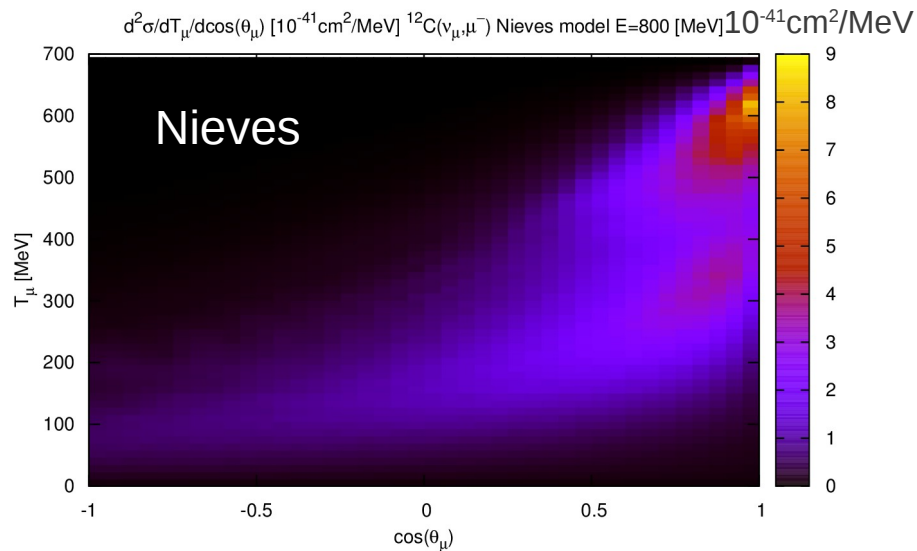
- Dla węgla wycina większość „złych” binów, dobre zachowanie przy wszystkich energiach

Przykładowe przekroje różniczkowe



- NuWro, 8 000 000 zdarzeń próbnych, 40 x 60 binów w kącie i energii mionu.
- Stabilne zachowanie i płynne przejścia od energii do energii
- Szybki

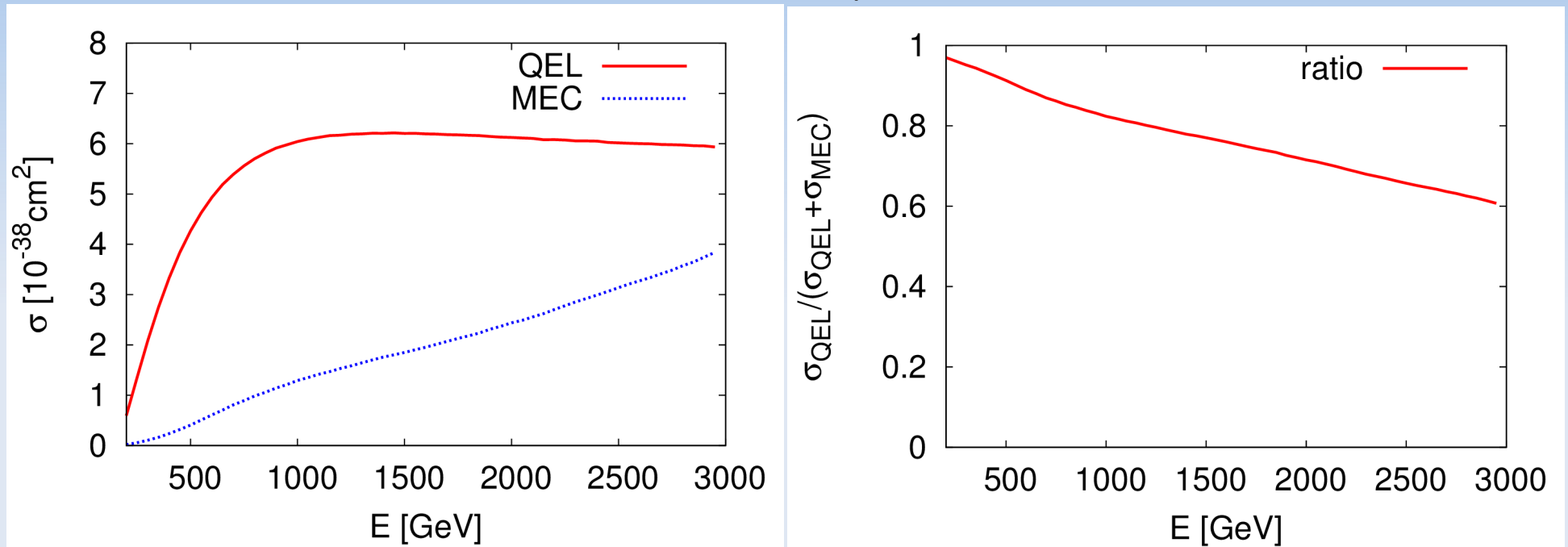
Porównanie różnych modeli MEC w NuWro (E=800 [MeV])



- Ilość zdarzeń próbnych i binowanie to samo.
- Pewne podobieństwo między Nievesem i Marteau
- TEM: początkowy nukleon w spoczynku → wąski dozwolony region kinematyczny

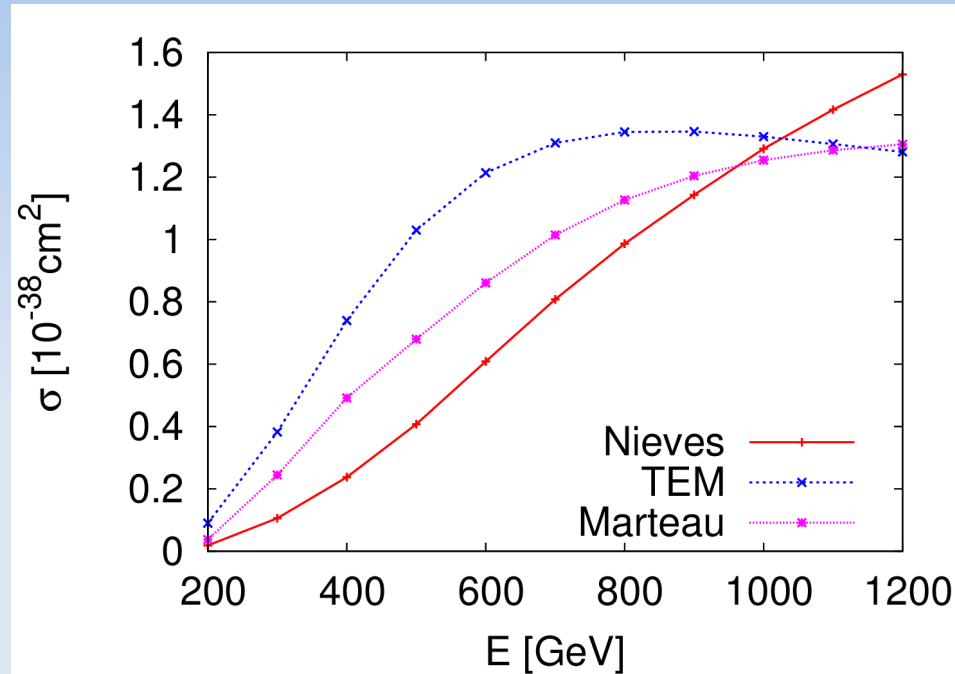
Wpływ MEC na przekroje całkowite.

- Porównanie QEL i MEC dla $^{12}\text{C}(\nu_{\mu}, \mu^{-}) M_A = 1050$ [MeV]:



- MEC Nievesa: duży ułamek przekroju całkowitego
- Stosunek QEL/(QEL+MEC): ciągły spadek z energią? Nieves poleca, by jego modelu używać dla neutrin o energiach <1.5 [GeV]! (stosowalność EFT, przybliżenia kinematyczne, region DIS etc.)

Porównanie różnych modeli MEC w NuWro $^{12}\text{C}(\nu_{\mu}, \mu^{-}) M_A = 1050$ [MeV]



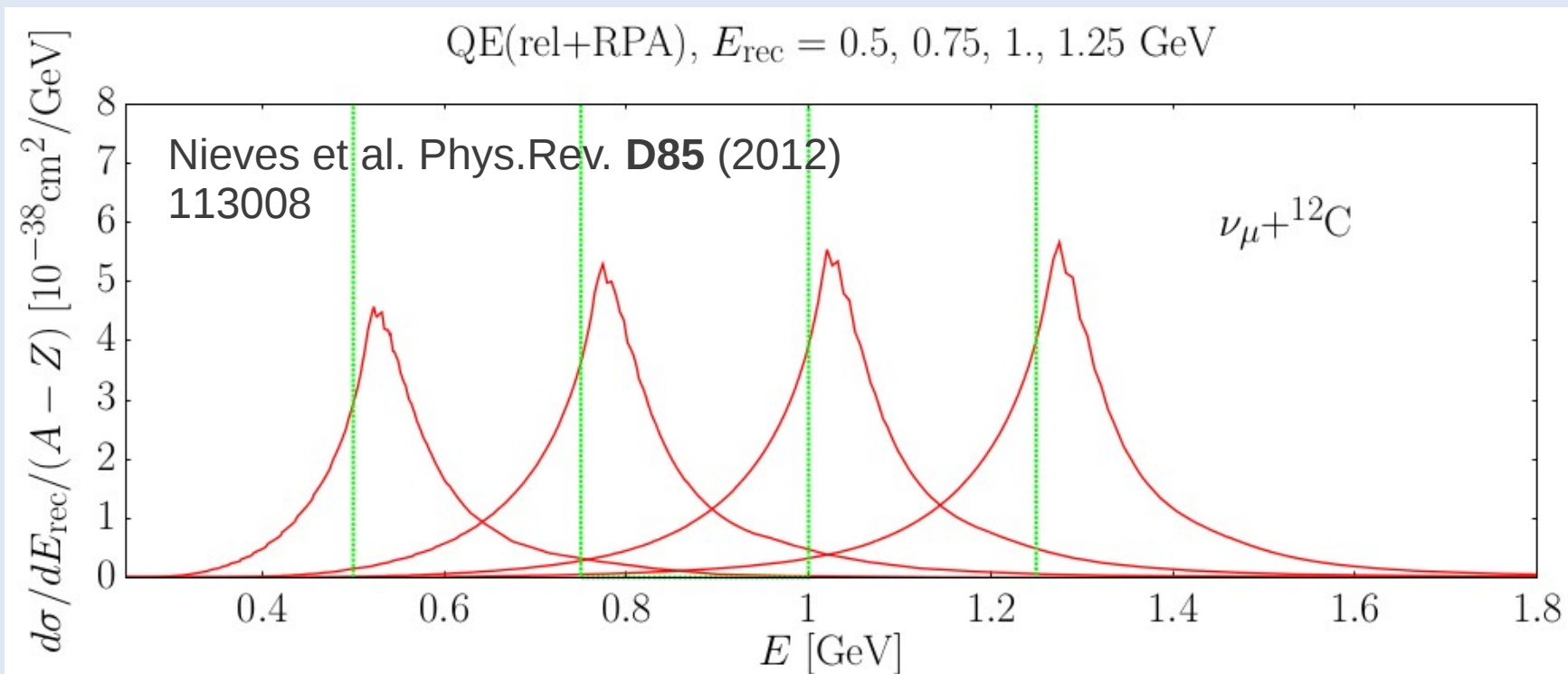
- Nieves przewiduje najniższy przekrój MEC poniżej 1 [GeV], ale wkład ten rośnie z energią.
- Największy przekrój MEC poniżej 1 [GeV]- najprostszemu TEM. Marteau- gdzieś pomiędzy Nievesem a TEM

Rekonstrukcja energii w ksperymentach oscylacyjnych

- Potrzebne spektrum energii neutrin. Prawdopodobieństwo oscylacji $\sim L/E$.
- W detektorze: miony. „Kwazielastyczna” formuła rekonstrukcji energii z mionu:

$$E_{\text{rec}} = \frac{ME_{\mu} - m_{\mu}^2/2}{M - E_{\mu} + |\vec{p}_{\mu}| \cos \theta_{\mu}}$$

Zdarzenia kwazielasyczne:
dobrze rekonstruowana energia

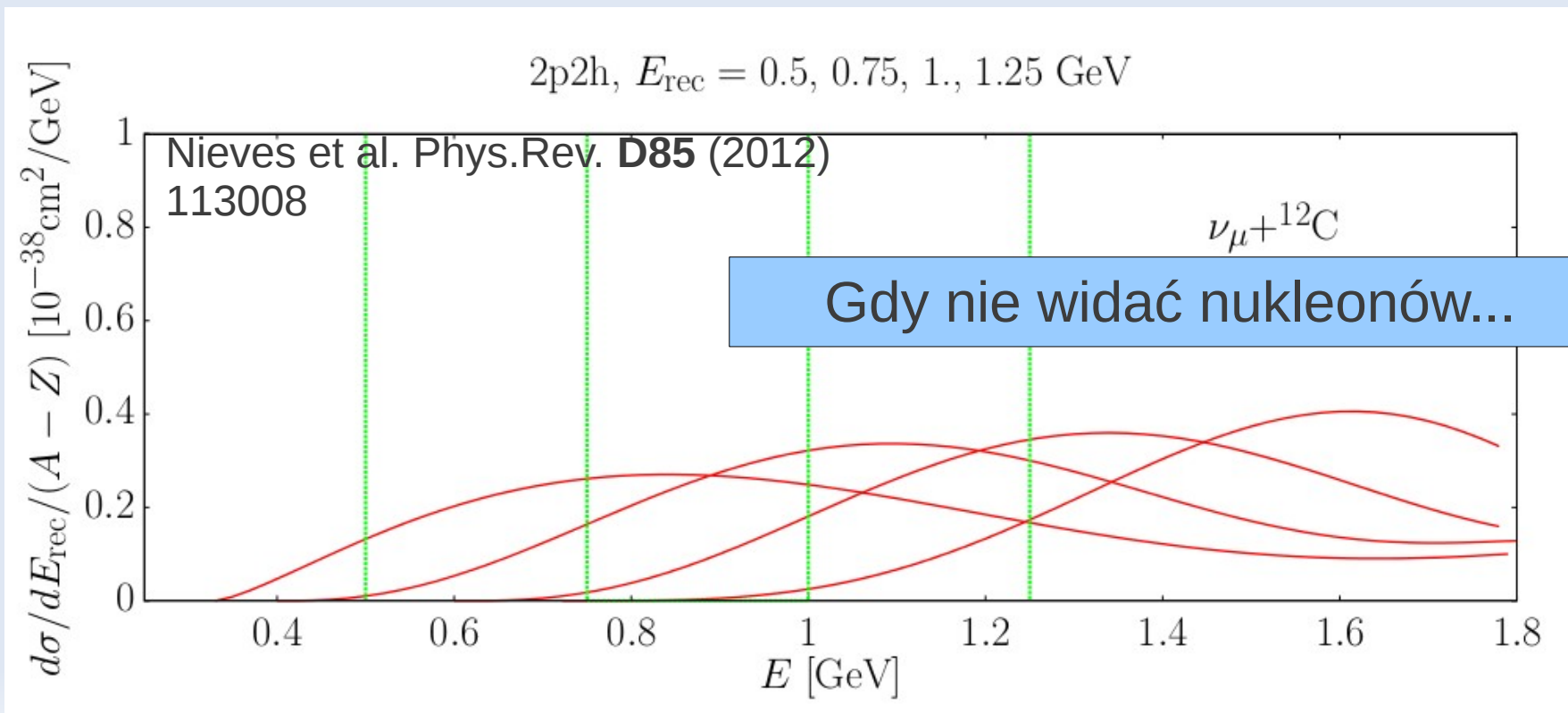


Rekonstrukcja energii w ksperymentach oscylacyjnych

- Potrzebne spektrum energii neutrin. Prawdopodobieństwo oscylacji $\sim L/E$.
- W detektorze: miony. „Kwazielastyczna” formuła rekonstrukcji energii z mionu:

$$E_{\text{rec}} = \frac{ME_{\mu} - m_{\mu}^2/2}{M - E_{\mu} + |\vec{p}_{\mu}| \cos \theta_{\mu}}$$

Zdarzenia npnh:
Katastrofala rekonstrukcja

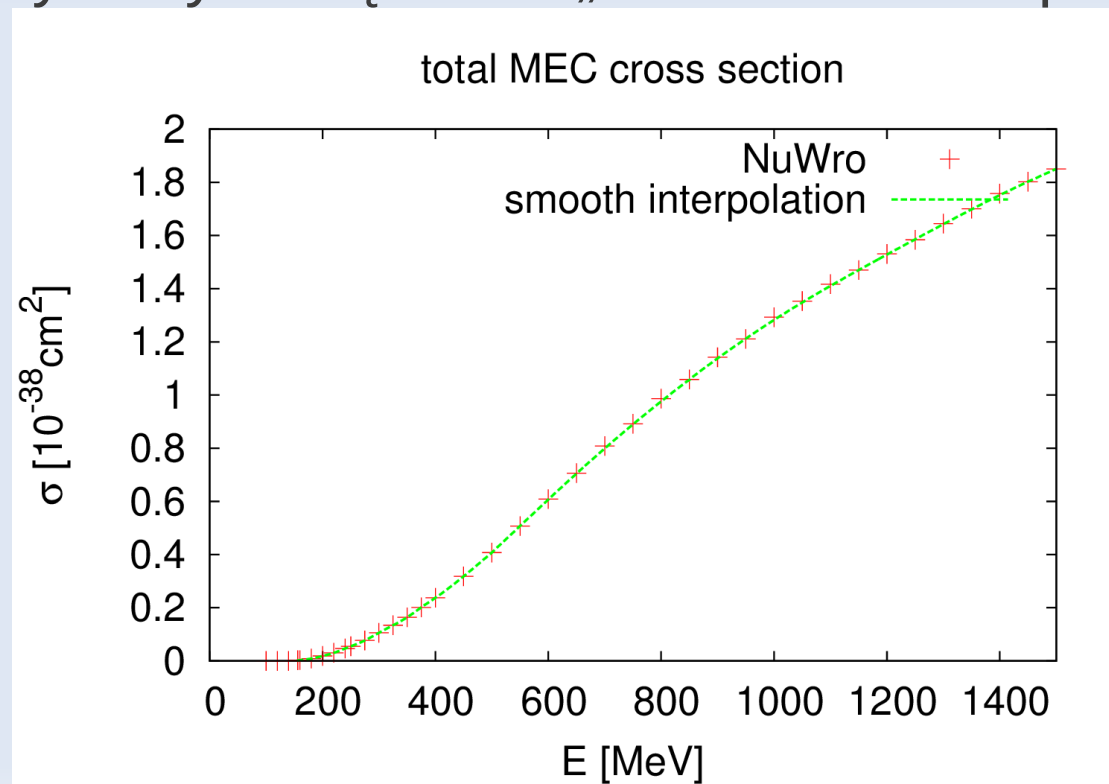


Praca dla T2K

- T2K: bardzo zainteresowane modelami MEC i możliwościami NuWro.
- Chcą przekroje na tlenie i węgla dla neutrin mionowych i elektronowych.
- Problem: nie ma tlenu i elektronowych w modelu Nievesa.
- Tlen: jądro symetryczne, średni pęd Fermiego bliski węgla. Założenie: ten sam przekrój MEC na nukleon.
- Elektronowe: na razie się nie da :((prośba o dodatkowe tabele do Juana).
- Próbki z 13M zdarzeń z płaskim rozkładem między 200 i 1500 [MeV] dla CCQEL grid SF oraz MEC Juana. Potrzebna w analizie osclacyjnej.

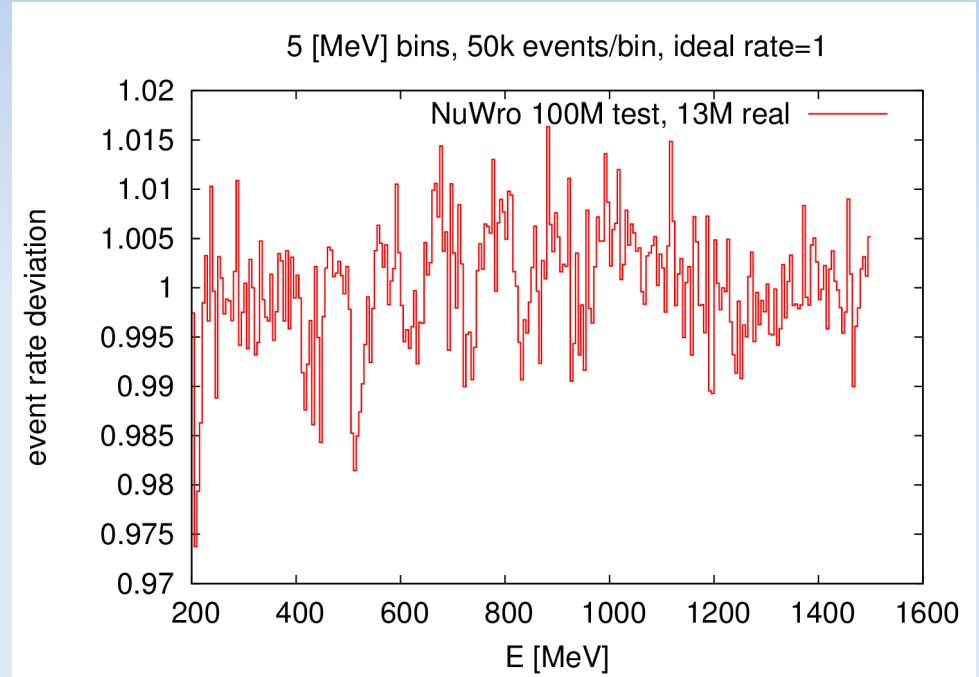
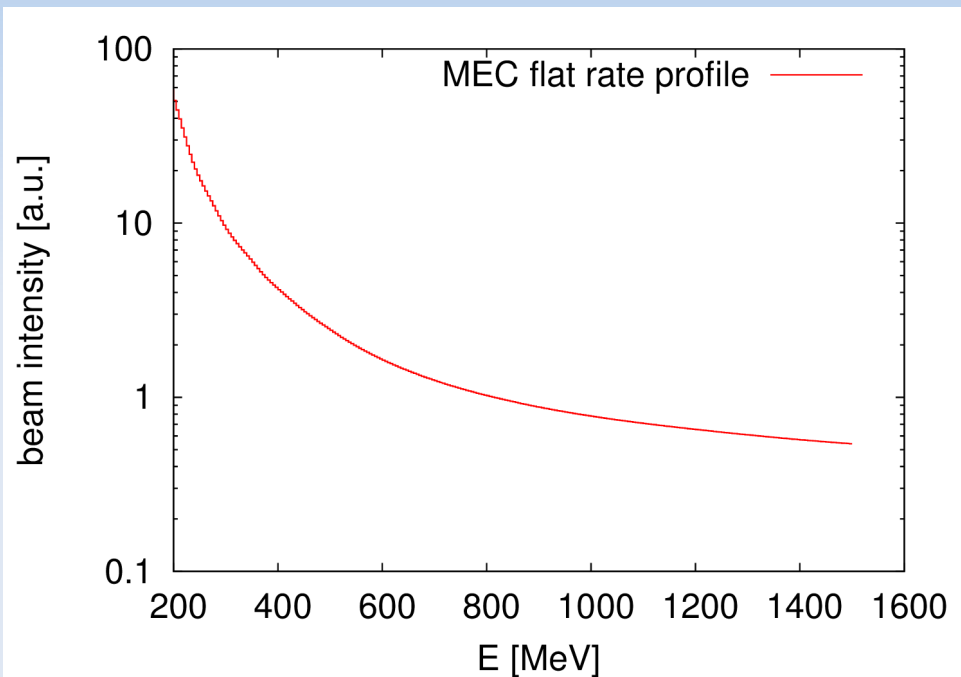
Praca dla T2K

- Płaski rozkład zdarzeń: nie zależy od energii.
- Rozwiązanie: profil wiązki~ 1/przekrój całkowity
- Dużo punktów w przekroju, binowanie co 5 MeV. Czasochłonne
- Rozwiązanie: mniej punktów+ interpolacja gnuplotem „smooth cspline” przy małych błędach i „smooth bezier” przy dużych



Praca dla T2K

- Profil wiązki dla MEC na węglu i tlenie i test „płaskości”



- Próbkę trafiły do T2K, możliwe użycie w analizie oscylacyjnej!

Podsumowanie

- NuWro ma 3 dostępne modele MEC, przynajmniej dla $^{12}\text{C}(\nu_{\mu}, \mu^{-})$.
- T2K: bardzo zainteresowane NuWro. Możliwy udział w analizie oscylacyjnej.
- Model Nievesa na poziomie szybkiej interpolacji z siatki danych.
- Inne jądra, np. tlen: zakładamy ten sam przekrój „na nukleon”
- Antyneutrino i neutrino elektronowe: chwilowo nieosiągalne w modelu Nievesa (czekamy na tabele...)
- Problem niefizycznej granicy kinematycznej rozwiązany przez cięcie w dozwolonej liczbie losowań par nukleonów oraz efektywnym wielomianem.