ニュートリノ振動精密測定のための ニュートリノ原子核反応の研究

作田 誠 (岡山大学) 平成20年12月19日 @ ICRR

- 1. ニュートリノ原子核反応の研究 去年のまとめ
- 2. 今年の進展:電子散乱実験データ解析
 3. まとめと次の目標

共同研究者:中畑雅行、小汐由介、中村博樹(早稲田)、作田誠(岡山)

目的:1) PMTの精密較正、2)数%精度のニュートリノ原子核反応目標。 経費:旅費5万円(岡山一柏) 3月予定

電子-核子反応とニュートリノ-核子反応

 Electromagnetic current (J^{em}) and weak hadronic charged current (J^{CC}_a=V¹⁺ⁱ²_a-A¹⁺ⁱ²_a) is written in terms of form factors:

電磁相互作用
$$\langle N(p') | J_{\alpha}^{em} | N(p) \rangle = \overline{u(p')} \Big[\gamma_{\alpha} F_{1}^{N}(Q^{2}) + \frac{i}{2M} \sigma_{\alpha\beta} q^{\beta} F_{2}^{N}(Q^{2}) \Big] u(p),$$

弱い相互作用 $\langle p(p') | V_{\alpha}^{1+i2} | n(p) \rangle = \overline{u(p')} \Big[\gamma_{\alpha} F_{1}^{V}(Q^{2}) + \frac{i}{2M} \sigma_{\alpha\beta} q^{\beta} F_{2}^{V}(Q^{2}) \Big] u(p),$
 $\langle p(p') | A_{\alpha}^{1+i2} | n(p) \rangle = \overline{u(p')} \Big[\gamma_{\alpha} \gamma_{5} F_{A}(Q^{2}) + q_{\alpha} F_{p}(Q^{2}) \Big] u(p),$
 $G_{E}^{N}(Q^{2}) = F_{1}^{N}(Q^{2}) - \tau F_{2}^{N}(Q^{2})$ with $\tau = \frac{Q^{2}}{4M^{2}}$ p q
 $G_{E,M}^{N}(Q^{2}) = F_{1}^{N}(Q^{2}) + F_{2}^{N}(Q^{2})$ with $\tau = \frac{Q^{2}}{4M^{2}}$ p q
 $G_{E,M}^{V}(Q^{2}) = \frac{1}{2} \Big[G_{E,M}^{P}(Q^{2}) - G_{E,M}^{P}(Q^{2}) \Big]$
 $F_{1}^{V}(Q^{2}) = \frac{G_{E}^{V}(Q^{2}) + \tau G_{M}^{V}(Q^{2})}{1 + \tau}$ and $F_{2}^{V}(Q^{2}) = \frac{G_{M}^{V}(Q^{2}) - G_{E}^{V}(Q^{2})}{1 + \tau}$

e

P

去年のまとめと目標(@共同利用研究会)

- 電子核子散乱断面積の計算結果より、∆(1232)共鳴生成反応領域で∆(1232)共鳴のみでなく、非共鳴の計算の寄与が10-20%あることがわかった。
- 2. 境界領域でスペクトル関数による高運動量の効果+ △(1232)共鳴 +非共鳴で埋まることがわかった。準弾性領域から共鳴領域まで 定量的にもある程度合う。

→H.Nakamura, MS et al., Phys. Rev. C76, 065208 (2007).

次の目標

- 準弾性反応のBenharモデル、π生成のSato-Leeモデル(一部 Paschosモデル)と深部非弾性散乱の熊野モデルを統一的に結び つけ、テストモデルを作成してみる。
- ニュートリノ原子核反応計算に取って重要な運動量移行 Q²=0.02-0.3 (GeV)²領域の情報をもたらすJLAB-E04-001の電子 原子核反応データを解析して、統一モデルを高精度にする。

1. ニュートリノ原子核反応の研究

H.Nakamura, MS et al., Phys. Rev. C76, 065208 (2007).

単色E=880 MeV のニュートリノを酸素に当てて、32度のニュートリノのエネ ルギーを測れるとすると(相対的な大きさを除き)同様なスペクトルが見える はず。原子核効果を含むVector current 部分の精密な検証が可能。



MiniBOONE ニュートリノ実験の準弾性散乱断面積の 前方の不一致(PRL100,2008)

 MiniBooNE:MA=1.23+-0.20 GeV, with a Pauli suppression parameter, κ=1.019+-0.011.



2. JLAB E04-001実験のデータ解析進展

元は△領域におけるHighQ²の 散乱断面積、原子核効果を測定する実験

1.2GeVでの電子・原子核(H,D,C)反応

2004年11月

2004年1月5日 2005年1月26日 2005年2月~ JLABに前方散乱断面 積(Low Q²)の測定要請 測定開始 測定終了 解析開始



Beam energy $1\sim6(GeV)$ Beam gain1.2 (GeV)Beam energy uncertainty $\sim 10^{-3}$





JLAB E04-001 1.2 GeV data A(e,e'), A=H,D,C,AI in the low Q² region



QE and Δ with H,D,C(e,e') at Ee=1.2 GeV ^{各データにつき、600K events→統計誤差0.13%}. この領域で唯一の系統的なデータ。Q²=0.05-0.6 (GeV/c)².

			E' (GeV)						
		Q ² (ela)	1.15	0.966	0.811	0.682	0.573	0.481	0.404
角度 (deg)	10.8	0.0499	С	С	С	С	С	С	С
	13	0.0715	H2, <mark>D2</mark>	H2, <mark>D2</mark> ,C	H2,C				
	16	0.1063	H2	D2,C	D2,C	D2,C	D2,C	D2,C	
	19	0.1467		D2	С	С	С	С	
	22	0.1918		H2, <mark>D2</mark> ,C	D2,C	H2, <mark>D2</mark> ,C	H2, <mark>D2</mark> ,C	H2, <mark>D2</mark> ,C	
	28	0.2932	H2,C	H2,C	H2,C	H2,C	H2,C	С	
	45	0.6136		H2,C	H2, <mark>D2</mark> ,C	H2,C	H2, <mark>D2</mark> ,C	H2, <mark>D2</mark> ,C	H2, <mark>D2</mark> ,C
	55	0.7946			H2, <mark>D2</mark> ,C	H2, <mark>D2</mark> ,C	H2, <mark>D2</mark> ,C	H2, <mark>D2</mark> ,C	H2, <mark>D2</mark>
	70	1.029				H2, <mark>D2</mark> ,C	H2, <mark>D2</mark> ,C	С	



Electron Spectrometer



 $^{27 \}text{ m}$







19 Dec, 2008

作田 誠@ICRR

原子核効果が実験的に求まる

 $\sigma(q^2, C)$ $\sigma(q^2, D)$ $\sigma(q^2, H)' \sigma(q^2, H)$

1.2GeV D,C 標的での断面積の比を取る。



微分散乱断面積中の系統誤差(今のところ) 統計誤差は<1%以下。

Quantity	Uncertainty (%)		
Incident e ⁻ energy	0.2-0.3		
Scattered e energy	0.1		
Scattering e ⁻ angle	0.7-0.8		
Target density	0.7		
Total beam current	≤1		
Tracking Efficiency	0.5		
Detector Efficiency	0.9		
Dead Time Correction	0.5		
Radiative Correction	1.0		
Bin Centering Correction	1.7		
Acceptance Correction	1.5		
Total	3.1		

C(e,e') 1.2GeV, 19deg (JLAB E04-001 データ) 超前方 Q² = 0.11 (GeV²) FG モデルは大きな溝を作る。H.Nakamura, MS, AIP 981 (2008)



3. まとめ

- H,D, C(e,e')電子原子核反応データの準弾性散乱、共鳴領域も 解析が進んできた。ニュートリノ原子核反応断面積に重要なベクトル型形状因子の原子核効果を実験的に数%精度で与えることが出来る。
- ニュートリノ原子核反応モデルの精度の良いテストができる。

¹⁶O(e,e'), Ee=1200MeV, θ=32°



作田 誠@ICRR

Sato-Lee (PRC), Mosel (next talk) and Nieves (yesterday) による同じ仕事

C(e,e') 1100MeV, 37.5deg:,

400

300

200

100

0

0.8

 $4^{-1}d^2\sigma/d\Omega dE$ (nb/GeV sr)



Beam energy 880 MeV

0.7

0.8

0.6

1.4

finite nuclei:

D.Rohe@nuint05

shell structure



 definite number of nucleons in each shell (IPSM): ≤ 2 j + 1

Spectroscopic factor
$$Z_{\alpha}$$

 k_{F}
 $Z_{\alpha} = 4 \pi \int dE dk k^{2} S(E, k)$
single particle

= number 206 nucleons in shell

