CRC 将来計画シンポジウム、2010年9月16日

GADZOOKS!



中畑 雅行 神岡宇宙素粒子研究施設/ 数物連携宇宙研究機構

+0.1%ガドリニウム



VOLUME 93, NUMBER 17

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending 22 OCTOBER 2004

Antineutrino Spectroscopy with Large Water Čerenkov Detectors

John F. Beacom¹ and Mark R. Vagins²

¹NASA/Fermilab Astrophysics Center, Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois 60510-0500, USA ²Department of Physics and Astronomy, 4129 Reines Hall, University of California, Irvine, California 92697, USA (Received 25 September 2003; published 20 October 2004)

We propose modifying large water Čerenkov detectors by the addition of 0.2% gadolinium trichloride, which is highly soluble, newly inexpensive, and transparent in solution. Since Gd has an enormous cross section for radiative neutron capture, with $\sum E_{\gamma} = 8$ MeV, this would make neutrons visible for the first time in such detectors, allowing antineutrino tagging by the coincidence detection reaction $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$ (similarly for $\bar{\nu}_{\mu}$). Taking Super-Kamiokande as a working example, dramatic consequences for reactor neutrino measurements, first observation of the diffuse supernova neutrino background, galactic supernova detection, and other topics are discussed.

DOI: 10.1103/PhysRevLett.93.171101

PACS numbers: 95.55.Vj, 29.40.Ka

Gadolinium Antineutrino Detector Zealously Outperforming Old Kamiokande, Super!



ガドリニウムは中性子捕獲断面積が大きい物質。 捕獲後、総計8MeVのガンマ線が放出される。





超新星背景ニュートリノ(SRN)の観測

- 未発見のSRNの観測。

・ <u>原子炉ニュートリノ</u>

- 高統計観測による振動パラメータの精密測定。

• <u>超新星爆発ニュートリノ</u>

- 電子散乱事象をenhanceすることにより方向決定の向上。
- Si燃焼過程のニュートリノを捉え、爆発の予知。

また、中性子の同定は以下の物理にも役立つ。

• <u>陽子崩壊のバックグラウンドの低減</u>

- 陽子崩壊は中性子を出しにくいが、大気ニュートリノ反応は 中性子を出す。

<u>超新星背景ニュートリノ</u>

宇宙には10²⁰個の恒星がある。(10⁹個の銀河、10¹¹星/銀河) 全恒星の約0.3%が超新星爆発に至る。 したがって、宇宙の開闢から今までに約10¹⁷回の超新星爆発がおき てきたことになる。それにともなうニュートリノ(超新星背景ニュートリ ノ)は宇宙に満ちている。



<u>超新星背景ニュートリノのスペクトル</u> (理論的な計算) 超新星背景ニュートリノ(Supernova Relic Neutrino(SRN))が観測されれば、 星形成の歴史をニュートリノで探ること ができる。

S.Ando et al., Astrophys.J.607:20-31,2004.

<u>超新星背景ニュートリノと暗黒エネルギー</u>

Probing Dark Energy via Neutrino & Supernova Observatories

Lawrence J. Hall,¹ Hitoshi Murayama,¹ Michele Papucci,¹ and Gilad Perez¹

w = p/p dark energyの状態方程式

hep-ph/0607109



<u>超新星背景ニュートリノ(SRN)のスペクトル</u>



<u> 超新星背景ニュートリノ(SRN)観測の現状</u>



SKによって得られたSRN強度の 上限値は、理論的な予想値の3 倍程度のところまできている。 M.Malek et al.(SK-I), Phys.R ev. Lett. 90,2003.

SKの今のSRN観測方法では バックグラウンドで制限されてし まっており、このままでは観測の 向上は望めない。



Relic model: S.Ando, K.Sato, and T.Totani, Astropart.Phys.18, 307(2003) with flux revise in NNN05.

もし、中性子タグでバックグラウンドを落とせれば、



Gd中性子タグを用いた原子炉ニュートリノ



振動パラメータの測定感度(10年データ)



超新星爆発との方向分布



超新星との方向分布



events/bin



Thomas, Sekikoz, Raffelt, Kachelriess, Dighe, hep-ph/0307050v2





Neutrino flux and spectrum from Livermore simulation

<u>Si燃焼からニュートリノによる爆発の予知</u>

A.Odrzywolek, M.Misiaszek, M.Kutschera, astro-ph/0311012



<u>Super-Kで中性子タグのテスト</u>





Number of Delayed Signals

<u>SKへGdを入れるための開発研究</u>



直径6mぐらいのテスト水タンクを作って以上のことをスタディしている。

<u>ガドリニウムテストタンク</u>











- SKに0.1%の濃度でGdを溶かすことにより、実りある 反電子ニュートリノ物理が展開できる。
- 200トンの試験用タンクを作り、R&Dを行っている。
- R&Dの今後の予定
 - 2011年3月までに循環システムを完成させ、まずPMT取り 付け前の試験。
 - 2011年4月以降、PMT240本を取り付け、総合的な試験。
 2012年3月までにR&Dを完了させる予定。
- SKへ導入する具体的な時期については、R&D後に SK collaborationに提案して議論。

Tagging efficiency and BG reduction

SRN



- \rightarrow Tagging efficiency is 67%
- While the chance coincidence prob. is estimated to be $\sim 2 \times 10^{-4}$
- It almost satisfy the requirement to remove remaining spallation background at 10 MeV.



$p \rightarrow e^+ \pi^0$ BG reduction by neutron

Beacom and Vagins PRL93:171101(2004)

Many BG are accompanied by neutrons

Background events for $p \rightarrow e^+ \pi^0$ (4.5Megaton years)

	ν interactions	secondary interactions in water
1	νn→e⁻pπ⁰	Neutron production by the proton
2	vp → e⁻pπ⁺	Neutron by π^+
3	νp→e⁻p(π⁺)π ⁰	
4	$vn \rightarrow vp\pi^{-}\pi^{0}$	
5	vn→e⁻p	Neutron by the proton
6	vn→e⁻nπ⁺π⁻	
7	νp→e⁻p(π⁺)π ⁰	
8	νρ→νρρ	
9	νO→e⁻Oπ⁺	Neutron by π^+
10	vn→np	neutron and π^- by the neutron

More *n* should be there because

 Secondary interactions of protons in residual nucleus; pp→pp, pn→pn, pn→np sometimes produce neutrons (not simulated)



• π^+ or π^- absorbed by medium will cause particle (neutron) emission (not counted)

Further BG reduction is possible if WC detector can tag neutrons. (need studies by experimental tests and full MC simulation) Fraction of BG accompanied by neutron is roughly ~90%.

M.Shiozawa@NNN09

超新星との方向分布



超新星との方向分布

