

MEG実験における 2γ 事象を用いた 軽いスカラー粒子の探索

名取寛顕 他MEGコラボレーション

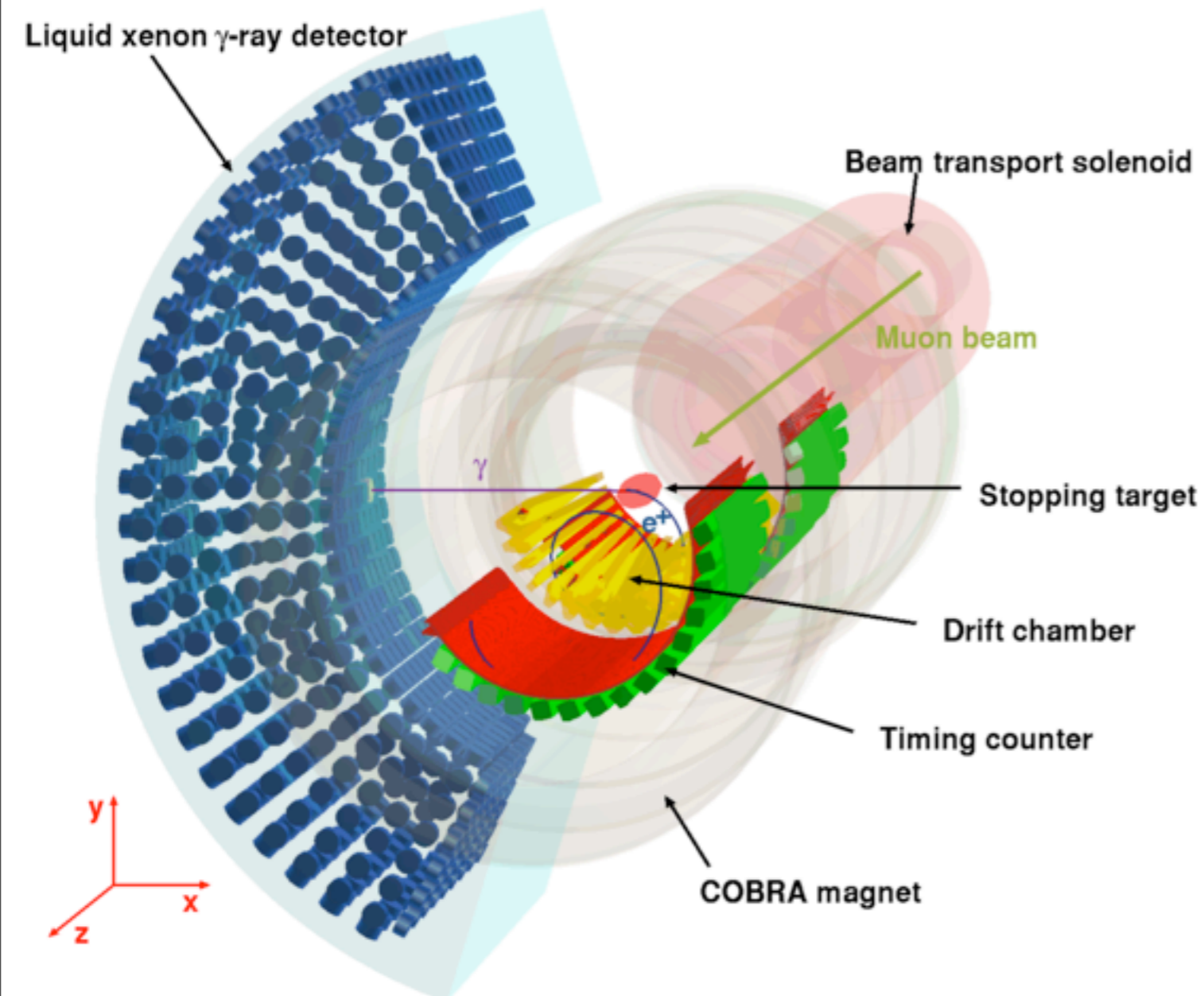
Contents

- Introduction
- $\mu \rightarrow e\gamma\gamma$ 崩壊について
- 軽い粒子 ϕ を媒介とした $\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow \gamma\gamma$ について

Introduction

- レプトンフレイバーを保存しない $\mu \rightarrow e \gamma$ 崩壊探索の為、MEG実験では大量の μ^+ の崩壊データを取得している。
- このデータを用いて $\mu \rightarrow e \gamma$ 以外の物理事象探索を行うことは可能か？

MEG 検出器

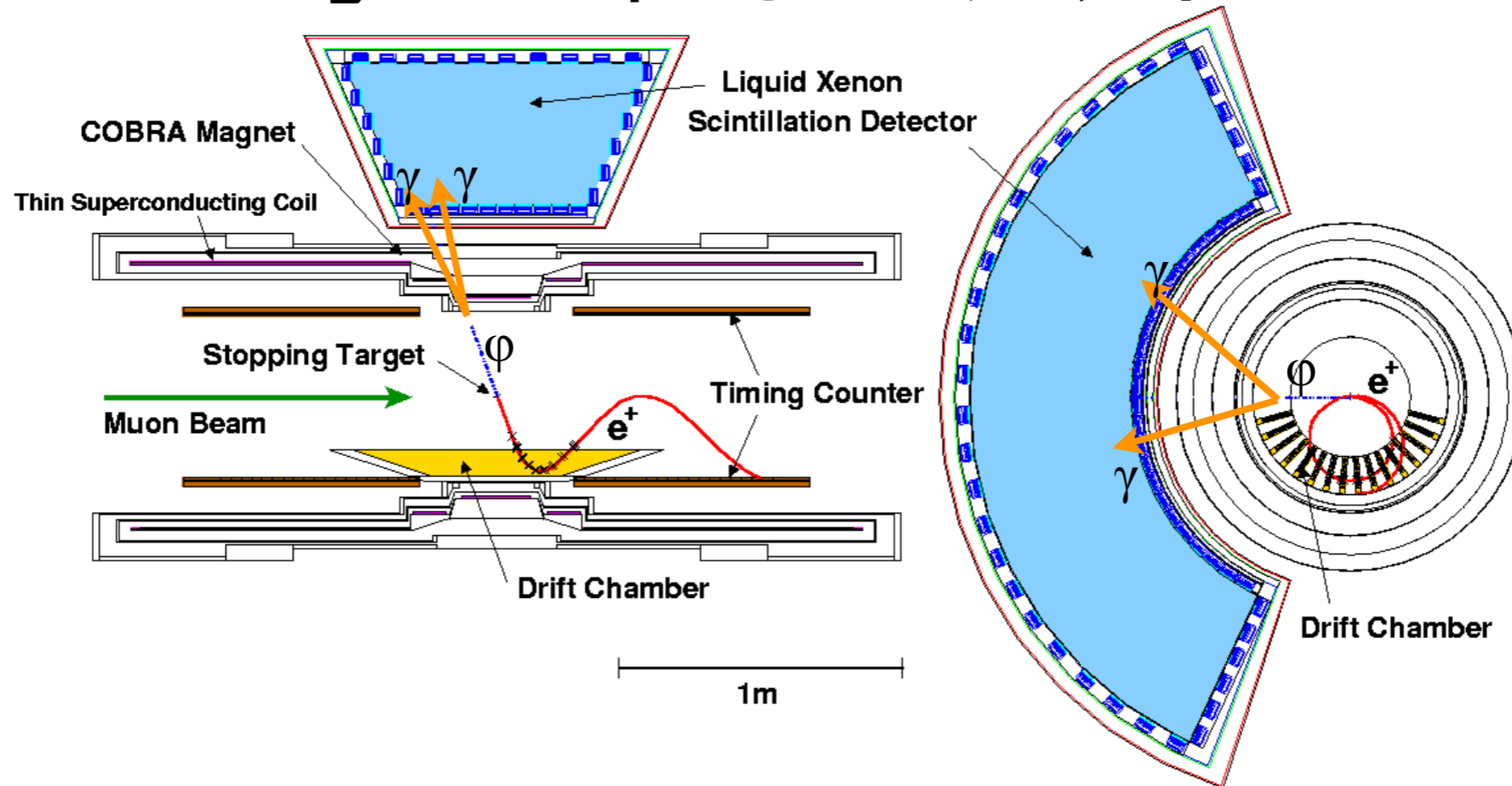


- γ 線検出器
 - 900l liquid Xe + 846PMTs
 - $\Omega/4\pi \sim 10\%$
- 陽電子スペクトロメータ
 - 勾配磁場Solenoidal coil + Drift chamber + Timing counter
 - optimize for 52.8MeV e^+ $\Omega/4\pi \sim 10\%$
 - smaller acceptance for e^+ with lower momentum

$\mu \rightarrow e\gamma\gamma$ 探索について

- Current upper limit: 7.2×10^{-11} (Crystalbox)
- general local interaction を仮定し、MEG実験の2009年取得データ (6.5×10^{13} muon stop) を使ったときの
Expected S.E.S $\sim 5 \times 10^{-9}$
 - 2γ 間の角度分布で角度の大きい所にピーク
 - e^+ のエネルギーのピークは検出器のアクセプタンス外
- 軽い粒子の媒介を仮定するモデルではアクセプタンスが大きくなるかもしれない

軽い粒子の媒介を仮定した場合に 考えられるメリット



- e^+ の運動量が52.8MeVに近くなる為、MEG検出器でのアクセプタンスが高くなり、また運動量が単色。
- Lorentz boost で γ 線間の角度が小さく、中間粒子がvirtual でなく γ 線のvertexが検出器に近くなることでアクセプタンスが高くなる

Implication of a very light pseudoscalar boson on lepton flavor violation

(Phys. Rev. D 72, 117701 (2005))

- 標準理論ではHiggs boson の他の粒子とのカップリングは決まっているが、スカラー粒子が加わるとfree parameterが増え、新しいHiggs bosonによるtree levelでのlepton flavorを保存せず、flavor を変える neutral currentが現れる
- Massが小さくても、相互作用が非常に小さいために、未発見の粒子が存在する可能性がある
- Higgs potentialの全てのパラメータに不自然なfine tuningをしないと軽いスカラー粒子を作ることはできないが、approximate global symmetry があれば可能となる

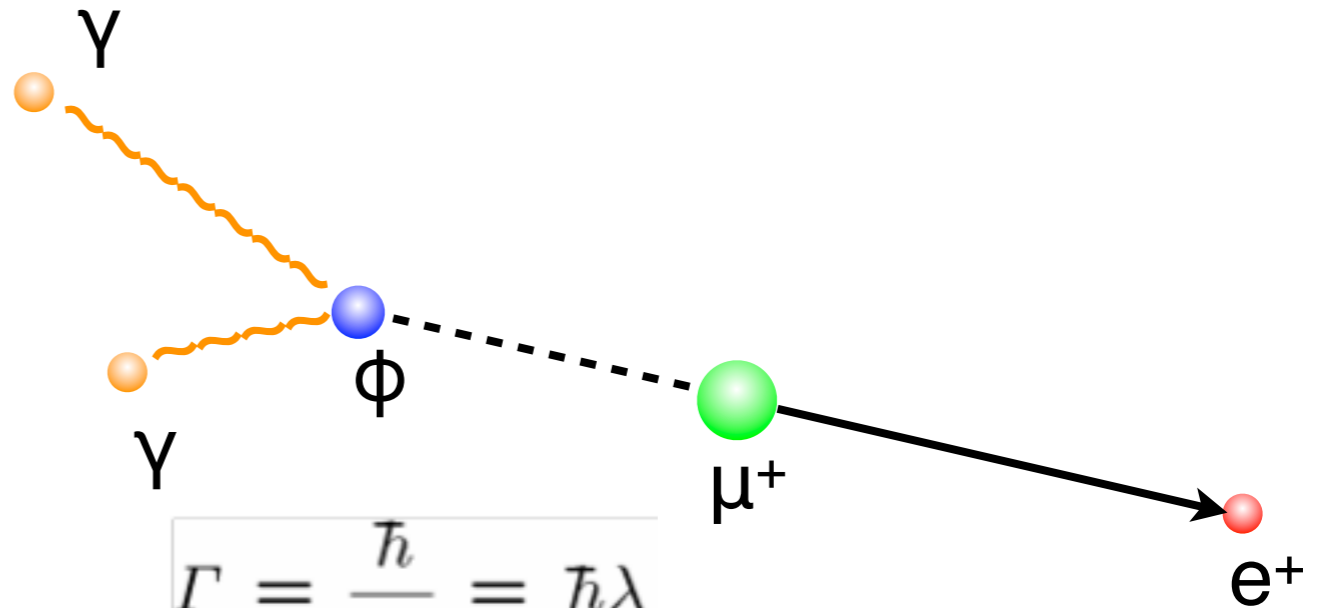
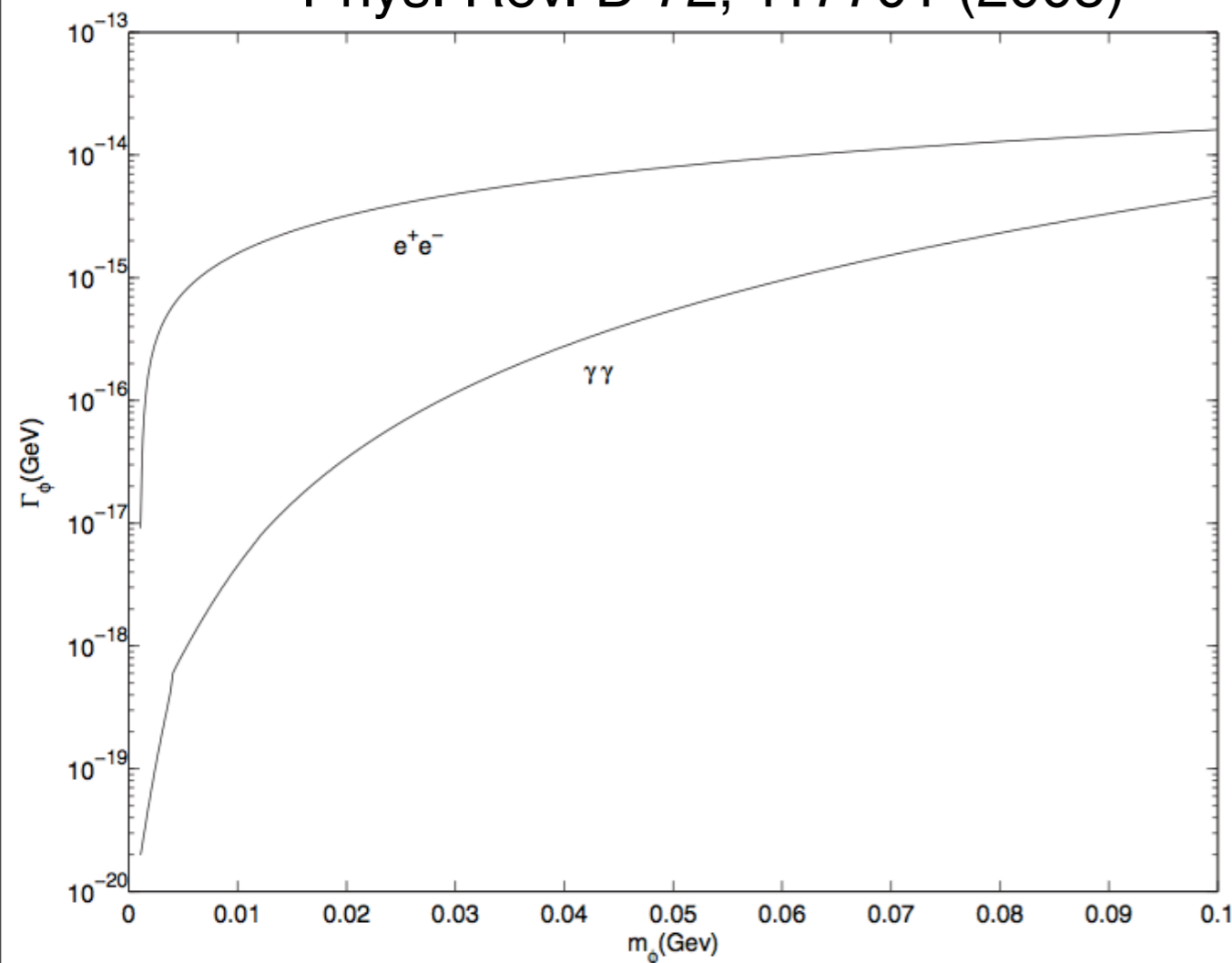
軽い擬スカラー粒子

- Symmetry があり、自発的に破れていれば、massless の Goldston bosonが発生するが、approximate symmetryが存在し、自発的に破れているのであれば、massive stateが存在し、軽い
- 例: two-Higgs doublet model の擬スカラー粒子Aは小さなパラメータに比例したmassを持ち($m_A = -\lambda_5 v^2$)、 $\lambda_5 \rightarrow 0$ の極限でHiggs potential はexact global $U(1) \times U(1)$ symmetry を持つ

$M_\phi < M_\mu$ の擬スカラー粒子 ϕ が存在するなら

$\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow ee$ or $\gamma\gamma$ の崩壊が存在しうる

Decay width of $\phi \rightarrow ee$ and $\phi \rightarrow \gamma\gamma$
calculated by
Phys. Rev. D 72, 117701 (2005)



$$\Gamma = \frac{\hbar}{\tau_m} = \hbar\lambda$$

$M_\phi \sim 30 \text{ MeV}$ の時 ($\Gamma \sim 10^{-16}$)

ϕ の寿命 $\tau \sim 6.6 \text{ ns}$

M_ϕ が大きいと e^+ の運動量が小さく、
アクセプタンスが減る。

M_ϕ が小さいと ϕ の寿命が長くなり、
検出器を突き抜ける事象が増え
アクセプタンスが減る

軽いスカラー粒子を媒介とした
 $\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow \gamma\gamma$ の検出感度の見積もり

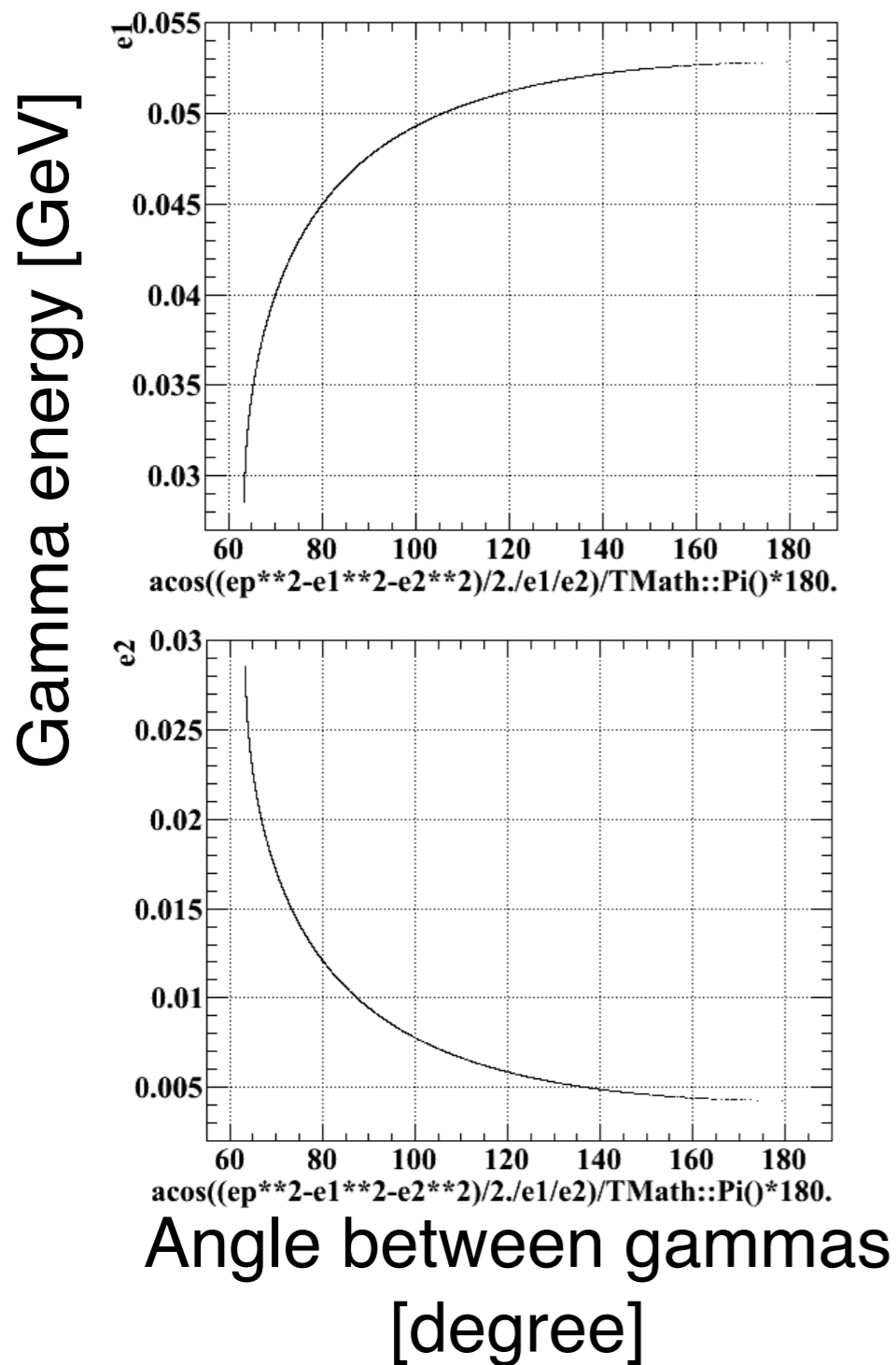
- $M\phi=30\text{MeV}$ 、 40MeV の場合のシミュレーションデータを作成
- $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索データを用いる事を考慮し、大きく影響すると考えられるMEGトリガーの e^+ と γ のdirection match を適用
- アクセプタンスのカット、 γ の Energy depositの和 = 元のEnergy $\pm 10\%$ 以内、低いエネルギーの γ のdeposit $> 10\text{MeV}$ のカットをして計算

$$M\phi = 30\text{MeV}, \tau = 5.5\text{ns}, Ee = 48.6\text{MeV}$$

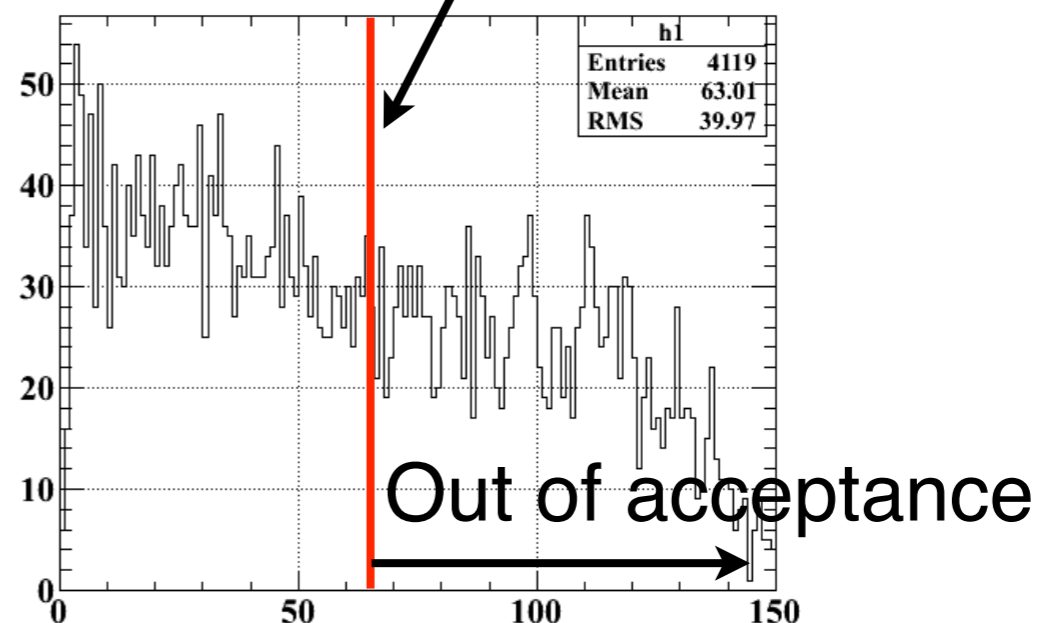
2009年データ ($5.6 \times 10^{13} \mu \text{ stop}$) を使った場合の

$$\text{S.E.S} : 8.5 \times 10^{-11} / \epsilon_{\text{cut, reconstruction}}$$

cut, reconstruction efficiencyはB.G.との兼ね合いになるが、1に近い値になることを目指す



Detector
inner face (67.85cm)

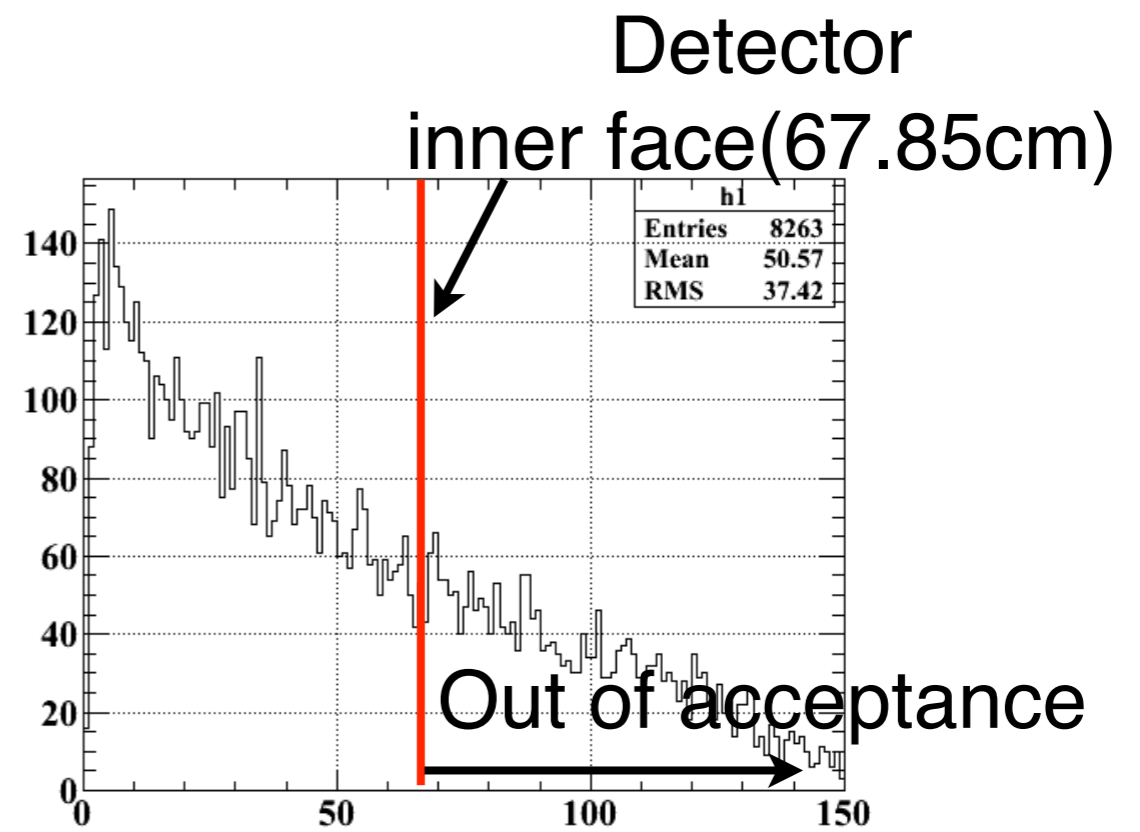
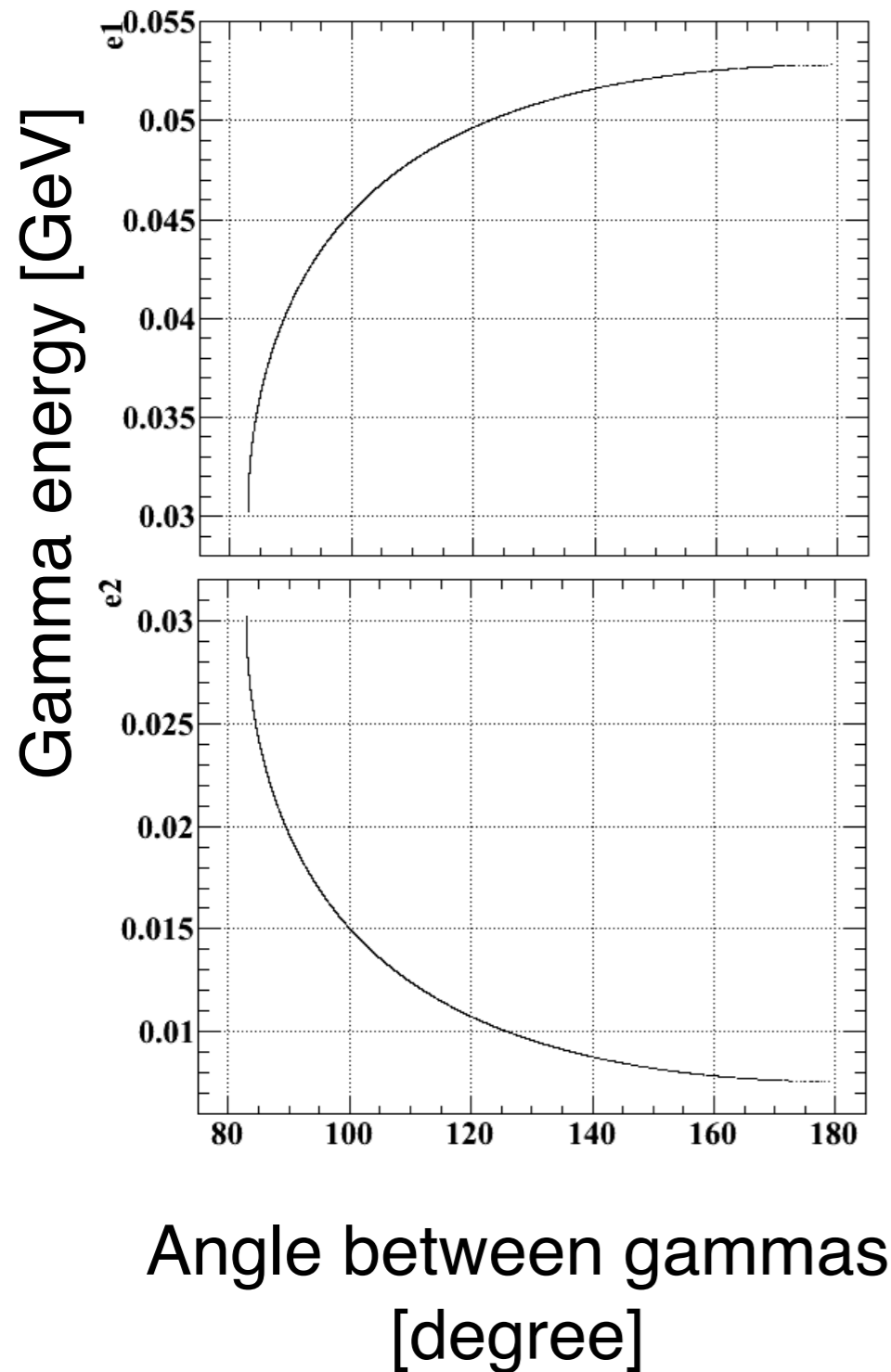


Distance between ϕ decay point
and target center [cm]

$$M\phi = 40\text{MeV}, \tau = 2.4\text{ns}, E_e = 45.3\text{MeV}$$

2009年データ ($5.6 \times 10^{13} \mu$ stop) を使った場合の

$$\text{S.E.S} : 1.1 \times 10^{-10} / \epsilon_{\text{cut, reconstruction}}$$



Distance between ϕ decay point and target center [cm]

$\mu \rightarrow e\gamma\gamma$ の上限値との比較

- $\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow \gamma\gamma$ 探索は過去になされていないが、参考のため $\mu \rightarrow e\gamma\gamma$ の上限値からスケールした値と比較する
- $M\phi=30\text{MeV}$ 、 40MeV の場合のシミュレーションデータを作成。シミュレーションデータに対し、Crystalbox検出器の場合のアクセプタンスのカット、Crystalboxで課されているエネルギー、運動量保存のカットをし、 $\mu \rightarrow e\gamma\gamma$ の上限値 7.2×10^{-11} をスケール
- $M\phi=30\text{MeV} : < 9.3 \times 10^{-10}$ ($8.5 \times 10^{-11} / \epsilon_{\text{cut,reconstruction}}$ by MEG2009 data)
- $M\phi=40\text{MeV} : < 3.8 \times 10^{-10}$ ($1.1 \times 10^{-10} / \epsilon_{\text{cut,reconstruction}}$ by MEG2009 data)

Summary

- MEG実験取得データを用いた $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊以外の事象の探索について考えた
- $\mu \rightarrow e\gamma\gamma$ 崩壊の探索では、重い粒子を仮定したgeneral local interactionの場合、MEGでは $\mu \rightarrow e\gamma\gamma$ に対してのアクセプタンスが低く、Crystalboxの感度を越えることはできない
- 軽い擬スカラー粒子を媒介とした $\mu \rightarrow e\phi$ 、 $\phi \rightarrow \gamma\gamma$ 反応について $M\phi=30\text{MeV}$ 、 40MeV の場合についてモンテカルロシミュレーションを用いて調べた。