

Belle II 実験に向けた $B \rightarrow K_S \pi^0 \gamma$ の崩壊時間分布の研究

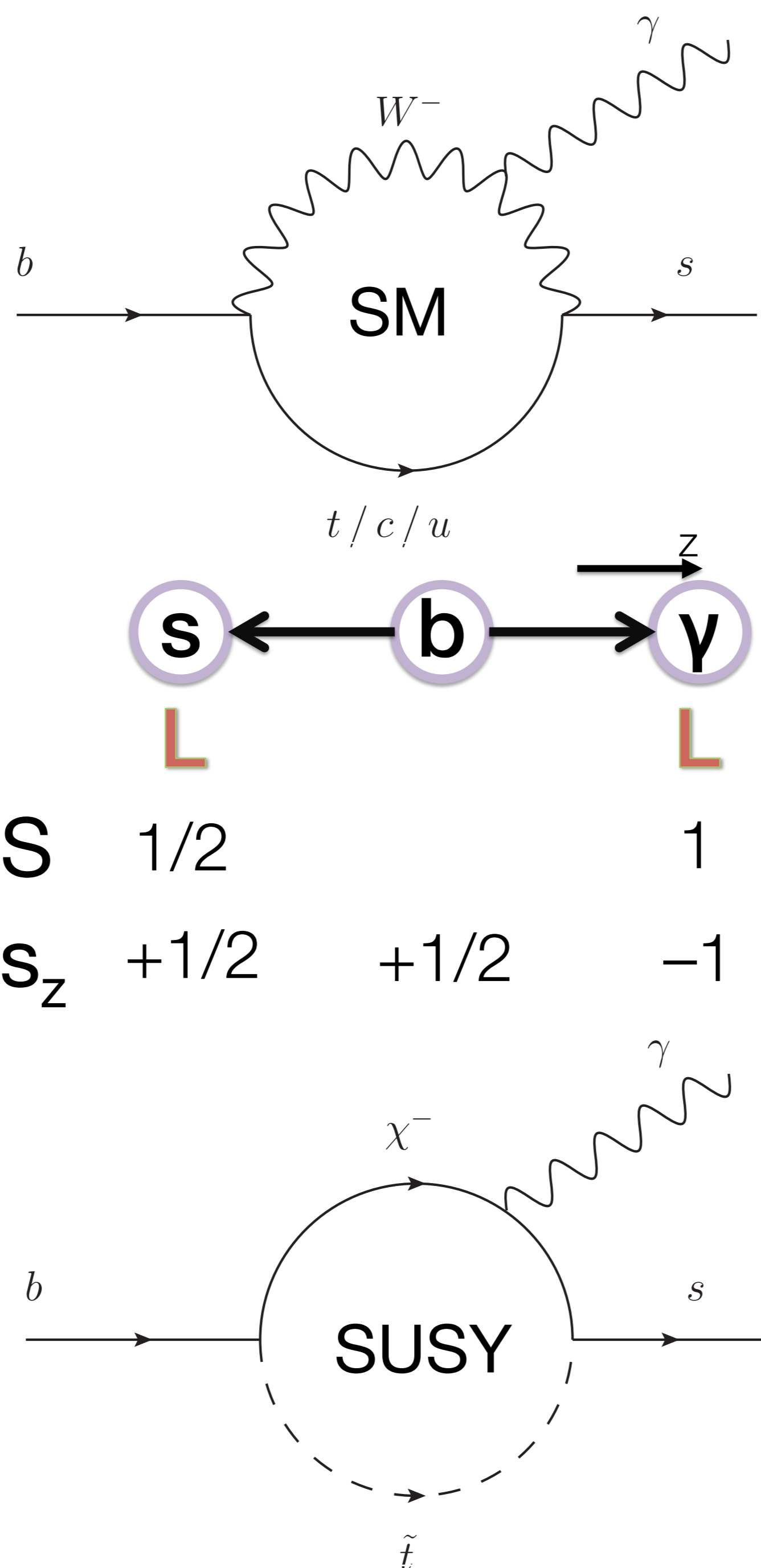


猪塚昌大 (東北大学 修士1年)

研究目的: Belle II で収集したイベントから適切な条件を課して $B \rightarrow K_S \pi^0 \gamma$ 崩壊を選別し、 B^0 と反 B^0 の時間分布から時間依存CP非対称度を決定する。その結果によって新物理を探索する。

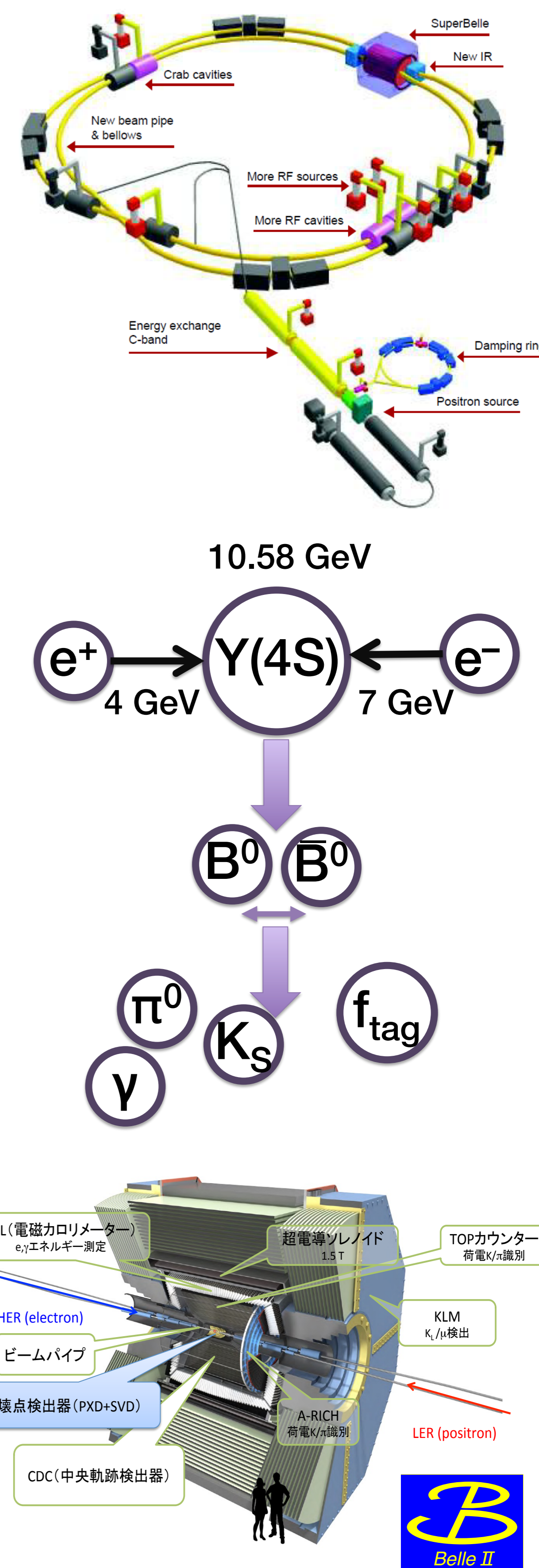
$b \rightarrow s \gamma$ の光は左巻き?

Flavor Changing Neutral Current $b \rightarrow s$ は、ループをもつペンギンダイアグラムで表される高次での遷移である。SMでの輻射崩壊はWボソンの交換によって起こる。Wは左巻き粒子と結合するため、ここに現れるクォークは質量ゼロの極限で左巻きとなり、角運動量保存則から光子のヘリシティも左巻きになる。質量をもつことによってヘリシティを反転できるが、sが軽いので($m_s/m_b \sim 0.02$)その割合は小さい。LRSMやSUSYなどの理論では新粒子がループの中を回り、その結果右巻き光子が放出される。



Belle II 実験での測定

2018年10月に始まる計画のBelle II実験では、大型の円形加速器SuperKEKBにより e^+ と e^- を衝突させ、B中間子対を生成する ($\sigma=1.1$ nb)。約半数は B^0 -反 B^0 の対で、 $Y(4S)$ の重心系ではほぼ静止し、一方が崩壊するまで互いに状態が振動する。系のブースト $\beta\gamma=0.283$ により、崩壊時間と実験室系での崩壊位置には $\Delta t = \Delta z / \beta\gamma c$ の関係がある。前身のBelleと比べると、目標ルミノシティは40倍の $8 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ で、全データ量は50倍の 50 ab^{-1} 、崩壊点検出器は占有空間が増えて外側2層目の半径は6 cmから11.5 cmに増加するため、 K_S の崩壊点分解能のよいイベントが30%増す。Sの統計誤差は0.039まで減らすことができる。



$B \rightarrow K_S \pi^0 \gamma$ でCPVを探る

B^0 と反 B^0 は、時間発展で互いに振動する。終状態がCP固有であるようなBの崩壊では、 B^0 と反 B^0 の崩壊確率が $\sin(\Delta mt)$ に比例する。

$B \rightarrow K_S \pi^0 \gamma$ は、 $K_S \rightarrow \pi\pi$ 、 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ の崩壊後の粒子が検出される。D、Kに比べるとBではQCDの寄与が小さく、電弱崩壊で記述できる。その非対称度は

$$\frac{\Gamma_{B^0 \rightarrow X s \gamma} - \Gamma_{\bar{B}^0 \rightarrow X s \gamma}}{\Gamma_{B^0 \rightarrow X s \gamma} + \Gamma_{\bar{B}^0 \rightarrow X s \gamma}} = S \sin(\Delta mt) + A \cos(\Delta mt)$$

と書ける。Aはdirect CPVで、Sはmixing-induced CPVと呼ばれる。

SMで予測される非対称度は、

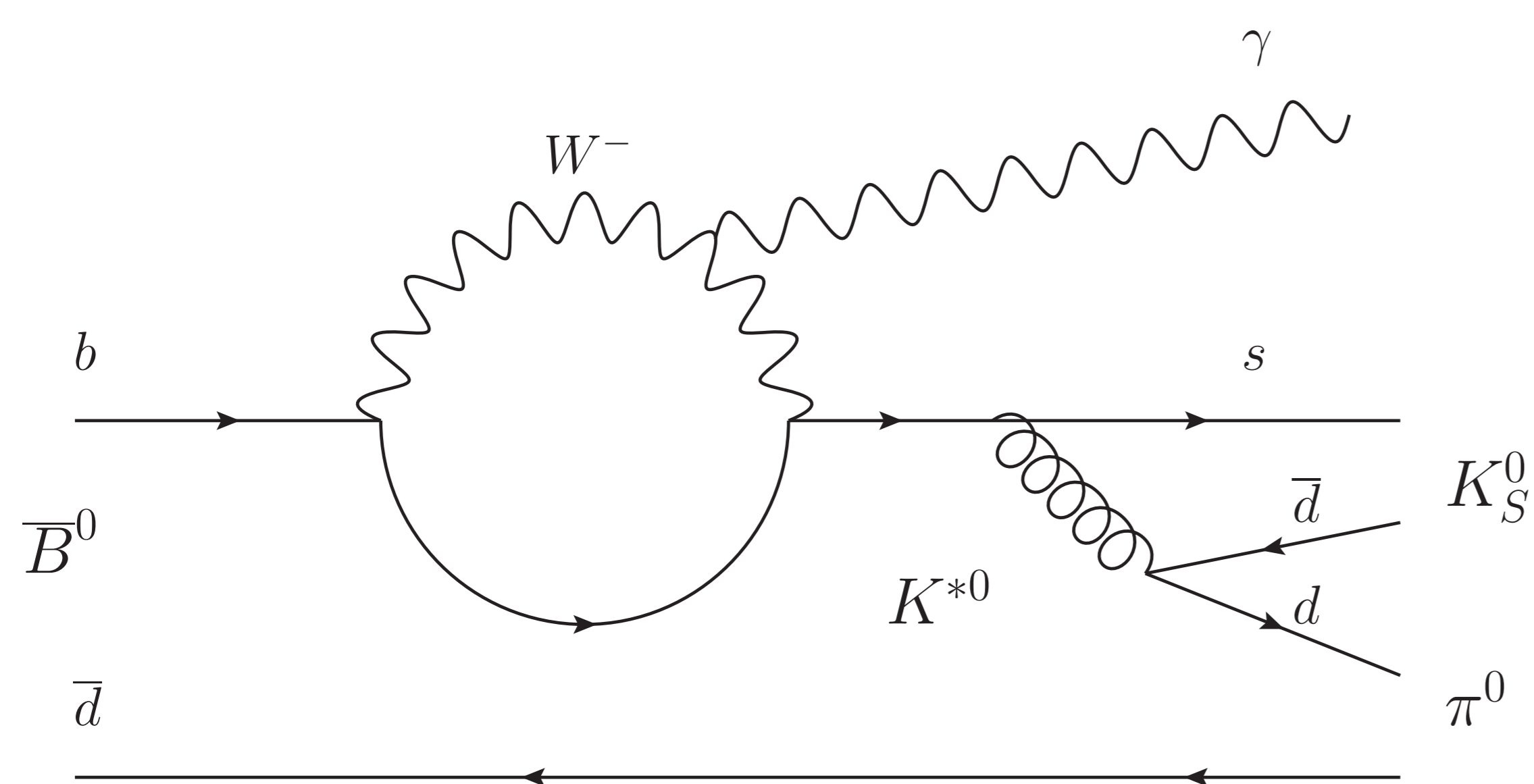
$$S_{SM} \sim 2m_s/m_b \sin(2\phi_1) \sin(\Delta mt)$$

ここで $-\phi_1$ は V_{td} の位相である。ヘリシティ抑制 $2m_s/m_b$ によって大きさが $\sim 4\%$ に収まる。

Sの測定はBABAR、Belleによってなされ、

$$S = -0.10 \pm 0.31(\text{stat}) \pm 0.07(\text{syst})$$

が得られている[Belle 2008]。



K_S finder

$K_S \rightarrow \pi\pi$ を荷電粒子の軌跡から高い効率と精度で選別することは、 $K_S \pi^0 \gamma$ モードを研究するために重要である。Belleでは、中野 (東北大) 石川 (同) 住澤 (KEK) が開発したNIS K_S finderが、検出器内で一定距離飛ぶなどといった K_S の性質に基づいた多変数解析によって、純度94.0%に対して86.9%の高い選別効率を得た。用いた変数は、軌跡へのxy平面上での距離 dr 、 $IP \rightarrow$ 崩壊点方向と運動量方向の間の角、など20個である。Belle IIでは、精度をさらに向上するために、再構成軌跡の誤差を考慮に入れて dr を確率的に評価するといった改良を予定している。この開発は私の研究テーマの一つである。

$B \rightarrow K_S \pi^0 \gamma$ の再構成 (今後の研究)

$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ を含む終状態の光子はECLでエネルギーを測定される。

遷移で放出する γ は重心系で $m_b/2 \sim 4.4$ GeV近くのエネルギーをもつので、損失を加味して選別する。

$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ は不変質量を用いて選別し、 K_S と組み合わせる。Bのフレーバーはもう一方のBのフレーバーから決まる。

qq continuum BGは再構成の過程で抑制する。

最終的に、崩壊時間に対する $B \rightarrow K_S \pi^0 \gamma$ の分布に、MCシミュレーションから得たシグナルPDFとBGのPDFを合わせてフィットし、SとAの値を決定する。