Sphaleron and Deformed Sphaleron in SU(2)xU(1) Electroweak Theory

Yu Hamada (KEK)

in preparation [2109.XXXXX?]

1. Introduction

Dashen+ '74, Manton '83 , Manton-Klinkhamer '84

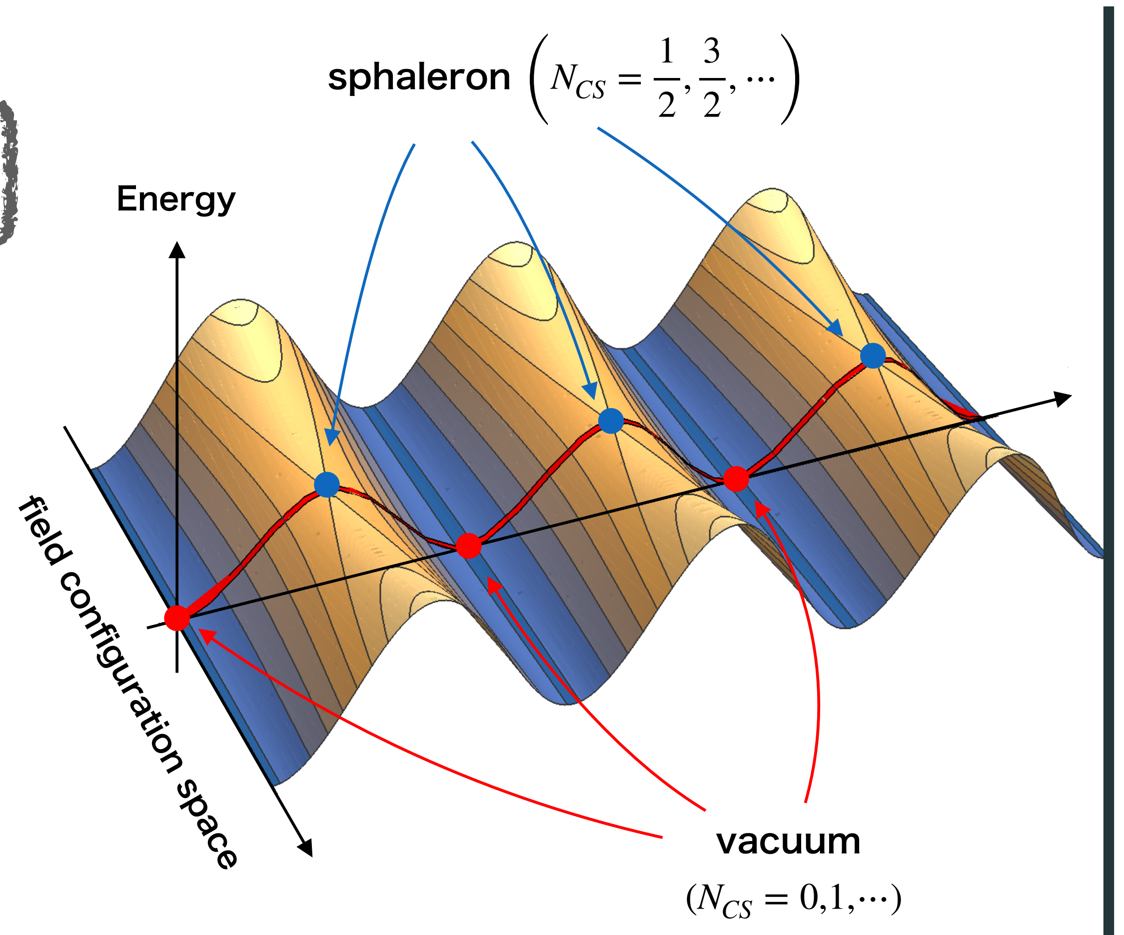
Sphaleron: SM電弱理論のEOMの不安定解

- ２つの真空をつなぐ最小エネルギー経路の頂点
- バリオン数生成過程で重要:

$$\Gamma_B \sim e^{-\frac{E_{sph.}}{T}}$$

$E_{sph.}$: Sphaleronのエネルギー

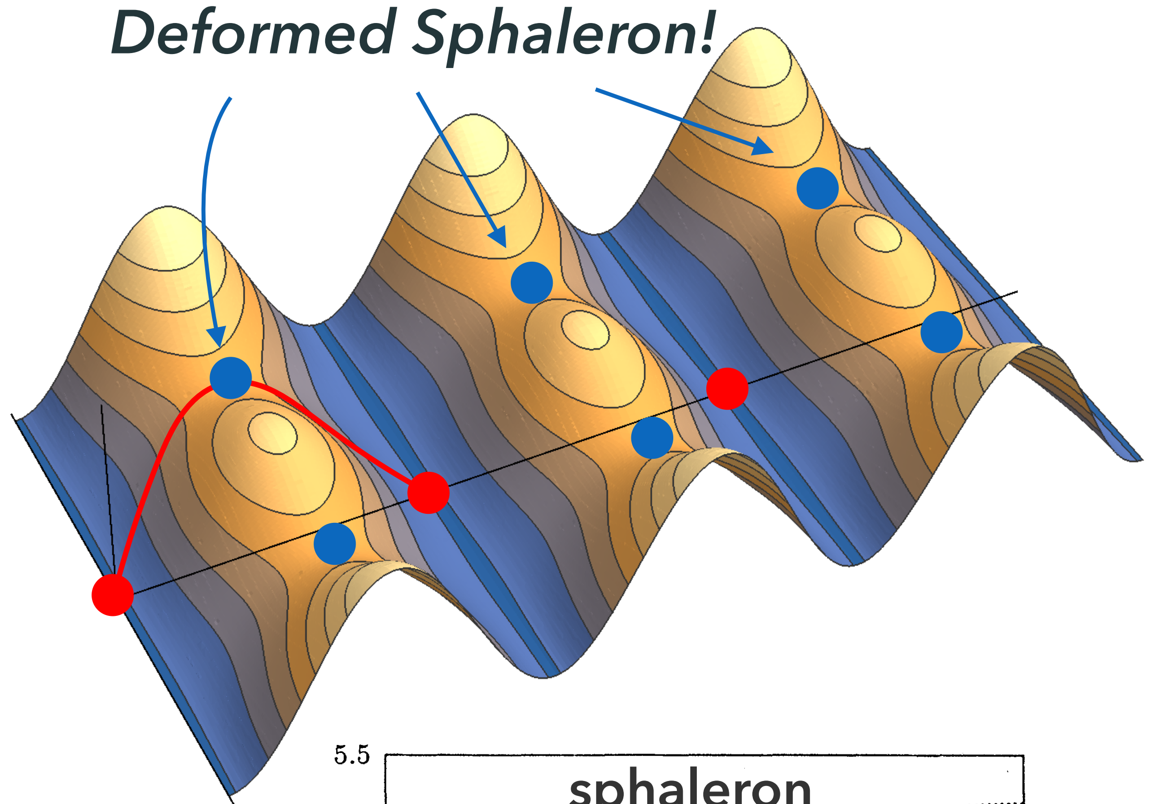
- 鞍点解であり、ある一つの不安定方向を持つ



2. Deformed Sphaleron with $g_Y = 0$ (review)

Yaffe '89
Klinkhamer '90

- M_H/M_W を大きくすると、新しい不安定解が現れる→ **Deformed Sphaleron**
- もとのsphaleron解は不安定方向が２つになる一方、deformed sph.の不安定方向は１つ

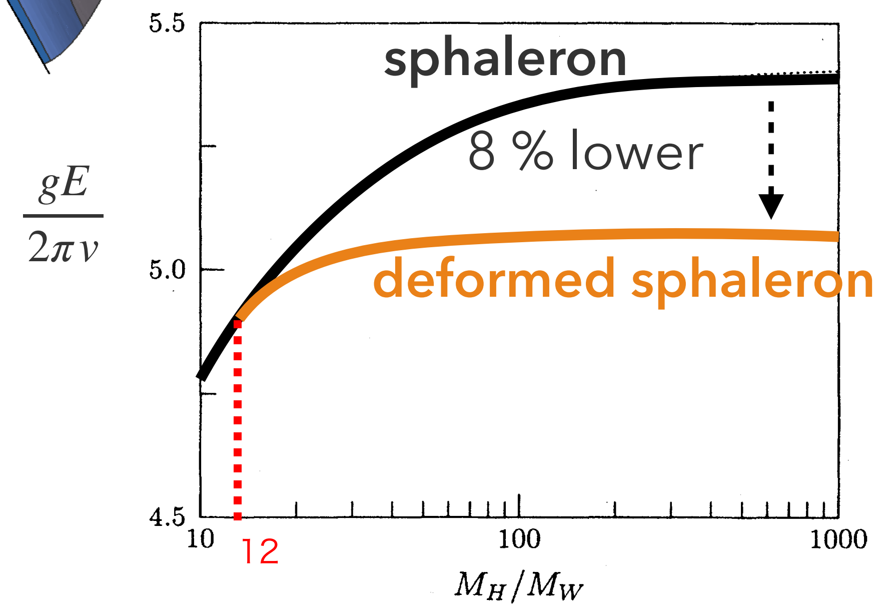


→もとのSph.ではなくDeformed Sph.を通る経路が経路積分に最も効く

$$\Gamma_B \sim \underline{2} \times e^{-\frac{\boxed{E_{DS}}}{T}}$$

経路が二通り

E_{DS} : Def. Sph. energy



- 一般に $N_{CS} = 1/2$ からずれる (e.g. $N_{CS} = 1/2 \pm 0.3$)
- $g_Y \neq 0$ の時にdeformed sphaleronがあるのかは知られていない！**実験値 $\theta_W \simeq \pi/6$ ではどうか？**

3. Numerical Method

- 従来は、$N_{CS} = 1/2$ にfixして、Sphaleronしか求まらないようなansatzを仮定して解いている

→最も一般的なansatzのもとで解く！ z軸回りの軸対称性のみを課した

- Modified gradient flow method を用いる: *Chigusa-Moroi-Shoji '19*, ***YH**-Kikuchi '20*

$$\partial_s X_A(x,s) = \underbrace{-\frac{\delta E[X]}{\delta X_A(x,s)}}_{\text{gradient of energy}} \underbrace{+C(s)\,\mathcal{G}_A(x,s)}_{\text{lifting term}}$$

$$X_A = (\Phi^t, W_i^a, Y_i) \qquad \mathcal{G}_A(x,s) \equiv \frac{\delta N_{CS}[X]}{\delta X_A(x,s)}$$

$$C(s) \equiv \beta \int d^3x \sum_A \frac{\delta E[X]}{\delta X_A(x,s)} \mathcal{G}_A(x,s)^\dagger$$

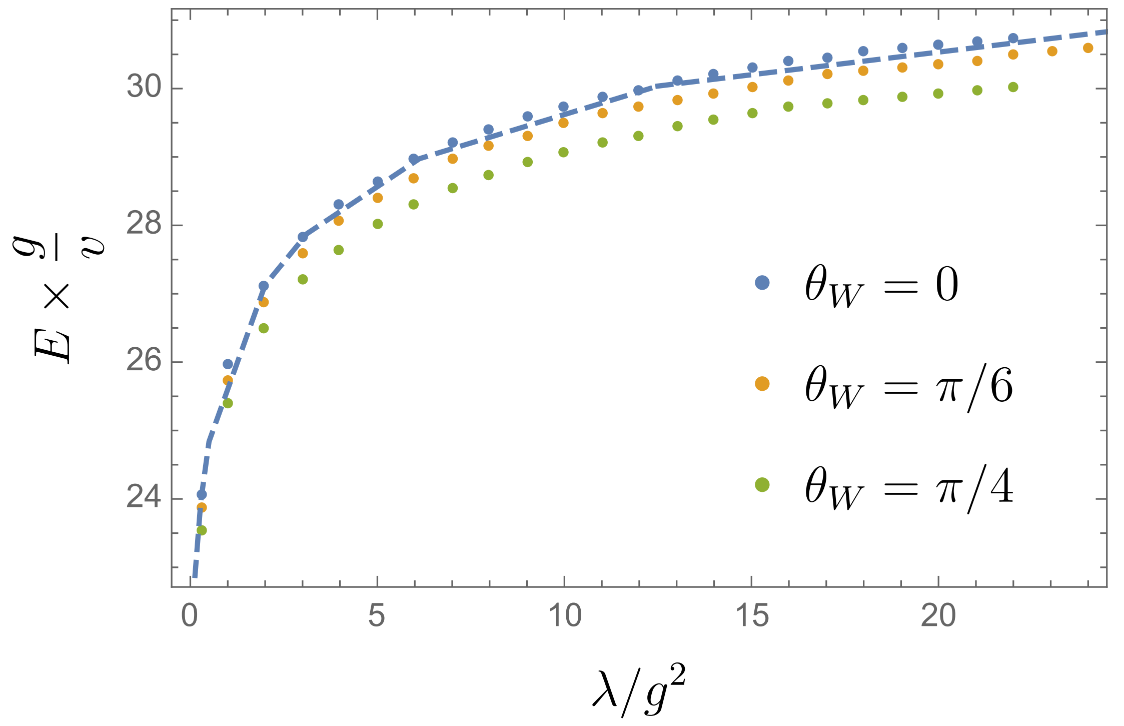
- 適当な配位を $s = 0$ で与えて、Flow方程式に従って時間発展させる

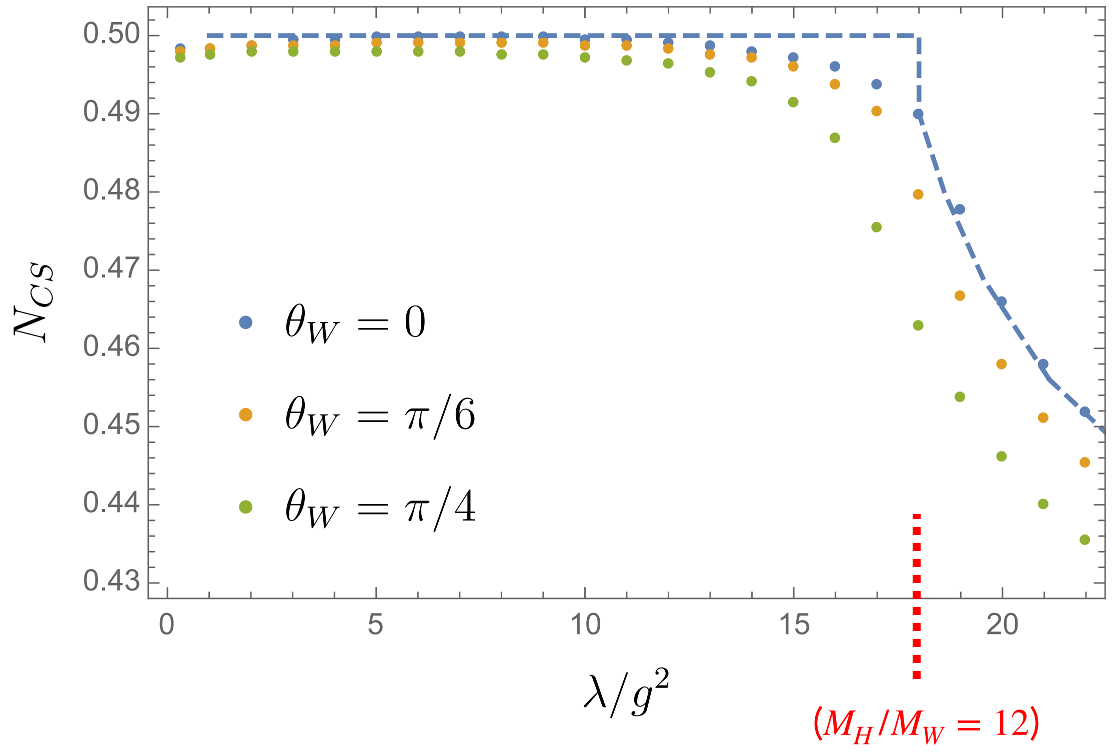
Deformed sph.が存在しないとき → 普通のsphaleron解に収束 ($N_{CS} = 1/2$)

Deformed sph.が存在するとき → Deformed sph.に収束 ($N_{CS} \neq 1/2$)

4. Result

青破線はいずれも$\theta_W = 0$での文献値 [Yaffe '89]





- $\theta_W = 0,\ \pi/6$ の両方とも、$\lambda/g^2 \gtrsim 18$ ($\Leftrightarrow M_H/M_W \gtrsim 12$) で ようやくDeformed sph.が現れる
- **結論：SM with 125 GeV Higgs では、deformed sphaleronは存在せず通常のsphaleronのみ！**
- Future work: Higgs sectorを拡張した場合は非自明 (特にstrongly 1st order PTする模型)