

# 大きい初期値を持ったサクシオン場の振る舞い

東京大学 瀧本真裕 / 共同研究者: 諸井健夫、中山和則、向田享平 / JHEP 1306 (2013) 040

## Motivation

宇宙初期のスカラー場の発展

- ・メキシカンハット型ポテンシャルを用意。
- ・場が大きい初期振幅を持っているとする。

熱化

宇宙膨張

VS.

スカラー場のエネルギーが十分速く熱浴に渡れば原点にトラップされる。

宇宙膨張が速ければ、振動が減衰し、最下点に落ち着く。

宇宙論的に重要な問題

どちらが勝つのだろうか??

多くのパラメータ領域で、 $\Phi$ は原点にトラップされる

ことがわかった!!

以下の SUSY PQ 模型を考えた。

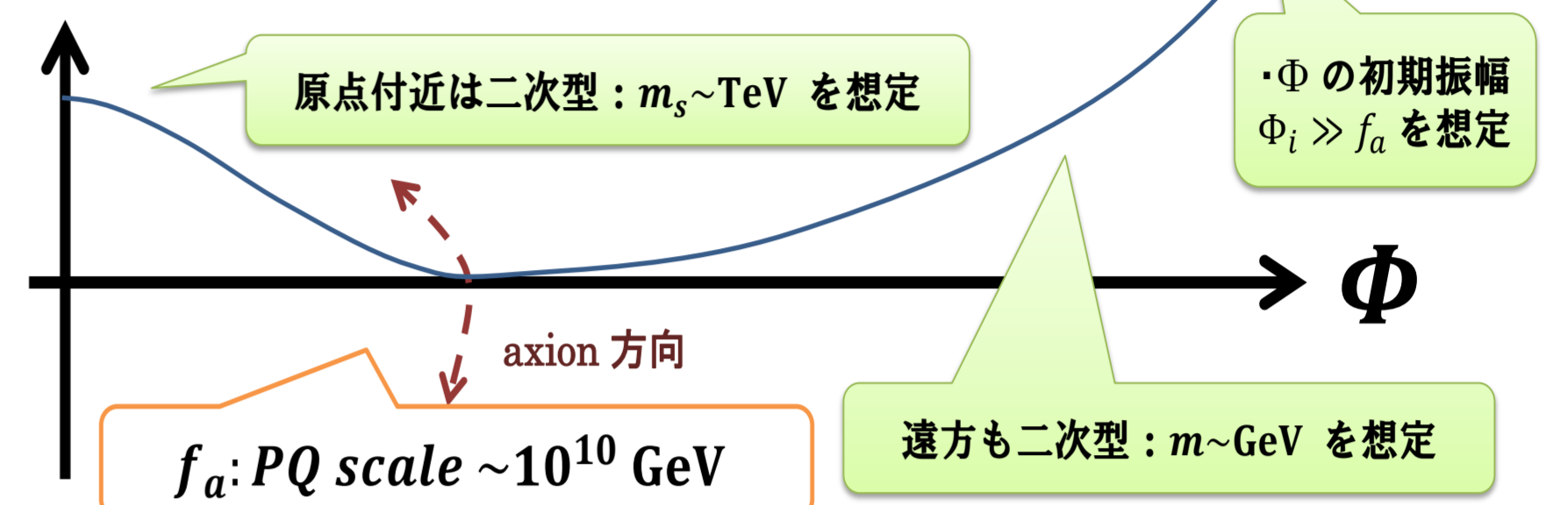
$$W = \lambda \Phi \bar{Q} Q$$

note:  $m_Q = \lambda |\Phi|$

	$\Phi$	$\bar{Q}$	$Q$
$U(1)_{PQ}$	+1	-1	0
$SU(3)_c$	1	$\bar{3}$	3

$\Phi$ : 動径方向「saxion」、位相方向「axion」

・零温度時のポテンシャル



熱浴との相互作用や非摂動的粒子生成の効果を取り入れ、ダイナミクスを追った結果...

## いつ振動を開始するのか

・ $\Phi$  の effective な質量  $\sim H$  (ハッブル) の時、振動開始

Typical case: 宇宙再加熱前に零温度質量で振動を開始する場合

$$H \sim \frac{T^4}{M_* T_R^2} = m \Rightarrow T_{os} \sim \sqrt[4]{m M_* T_R^2}$$

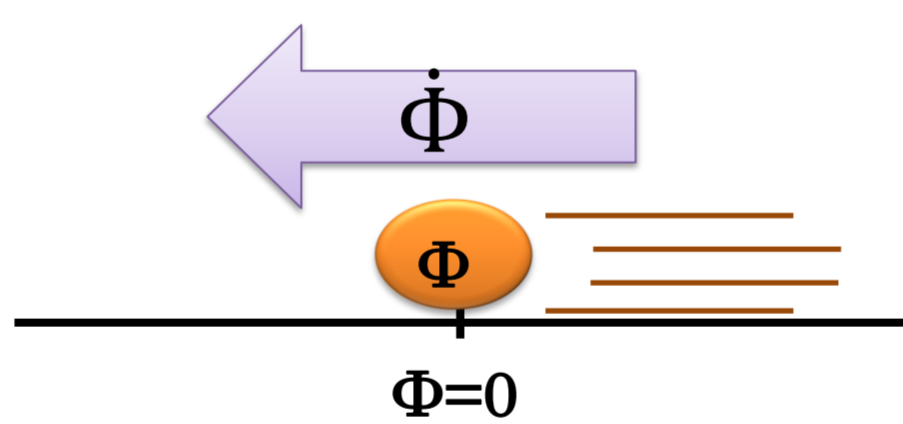
Inflaton dominant

Note: 多くの場合  $T_{os} \gg m$

・振動開始直後の原点付近の速度:  $\dot{\Phi} \sim m \Phi_i$

のちのダイナミクスを決める重要な量

- ・ $M_*$ : planck mass  $\sim 10^{18}$  GeV
- ・ $T_R$ : 宇宙再加熱温度
- ・ $T_{os}$ : 振動開始時の温度



## 振動開始直後、原点で速度が遅い場合

### 原点における Q の生成過程

・原点付近において  $m_Q < T$  となる。

・ $m_Q < T$  領域を通過する時間幅:  $\Delta t$

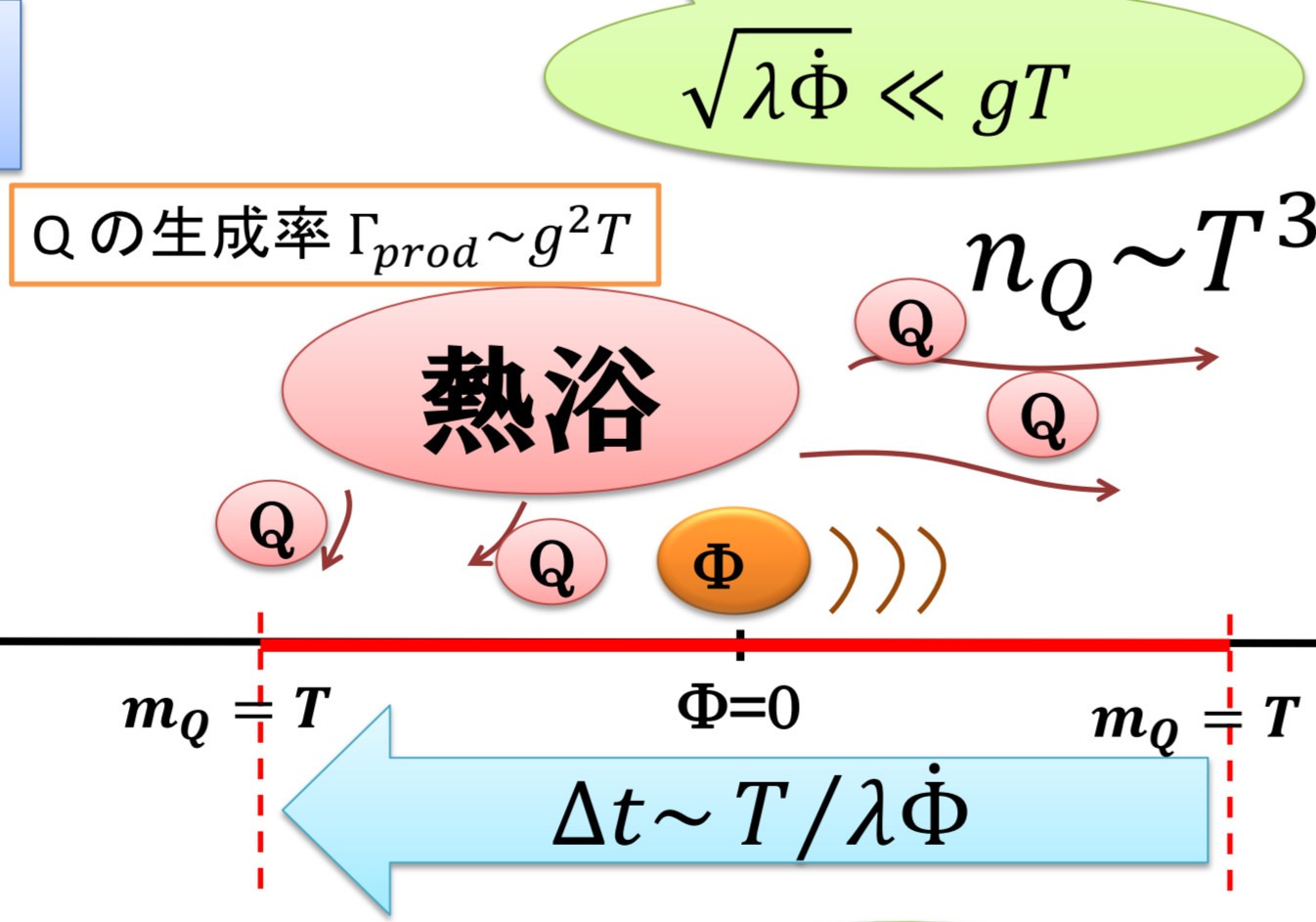
$$\Rightarrow \Delta t \sim T / \lambda \dot{\Phi}$$

・ $m_Q < T$  領域における Q の生成率:  $\Gamma_{prod}$

$$\Rightarrow \Gamma_{prod} \sim g^2 T$$

$$\Gamma_{prod} \Delta t \sim \frac{g^2 T^2}{\lambda \dot{\Phi}} \gg 1 \Rightarrow n_Q \sim T^3 \text{ 程度 Q が生成される。}$$

Q が thermalize



## Φ のトラッピング

・原点付近で Q が熱分布  $\Rightarrow \Phi$  のポテンシャルが原点で下げられる。  $V_{th} \sim -T^4 + T^2 |\Phi|^2$

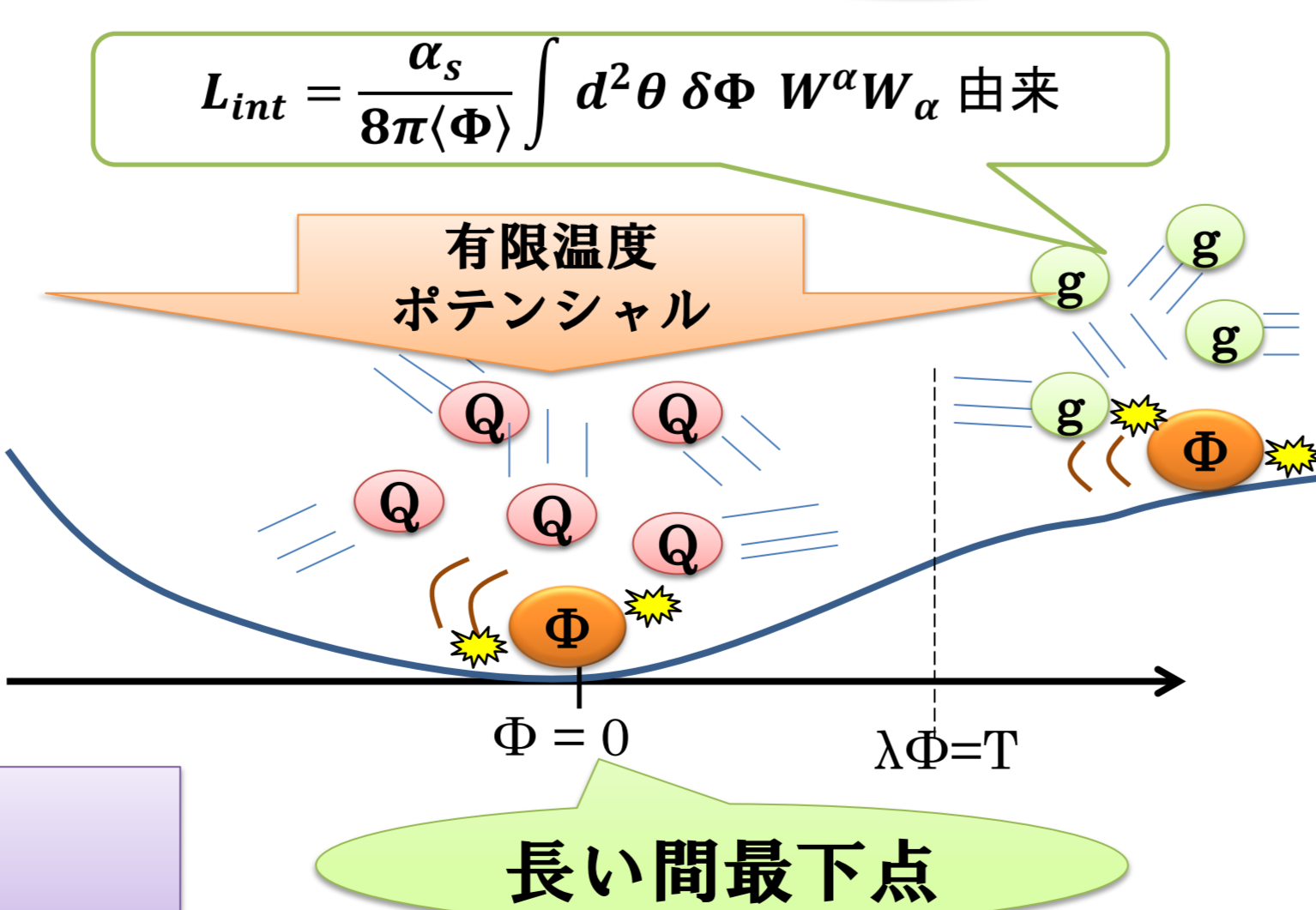
・原点付近における Q 粒子との相互作用や、原点遠方における gluon との相互作用による減衰率が大きい。

多くのパラメータ領域で、 $\Phi$ は原点にトラップされる

Typical case: Q decay 有,  $T_{os} > T_R, T_{os} > \lambda M$

・Effective な減衰率  $\Gamma \sim \lambda \alpha T^2 / \Phi$  ( $\Phi$  は振幅)  $\Rightarrow H$  と比べて同程度  $\Rightarrow$  速やかに減衰

・トラップされる条件:  $T_R \gg 10^{-3} \text{ GeV} \left( \frac{m_s / \lambda}{1 \text{ TeV}} \right)^2 \left( \frac{m}{1 \text{ GeV}} \right)^{1/2}$



## 振動開始直後、原点で速度が速い場合

### 原点における Q の生成過程

$$k_* \equiv \sqrt{\lambda \dot{\Phi}} \gg gT: \text{原点付近の Q の温度 mass}$$

・原点付近で Q 粒子の adiabaticity が壊れる。

$\Rightarrow$  non-perturbative production

$\Rightarrow n_Q \sim k_*^3$  程度の粒子生成

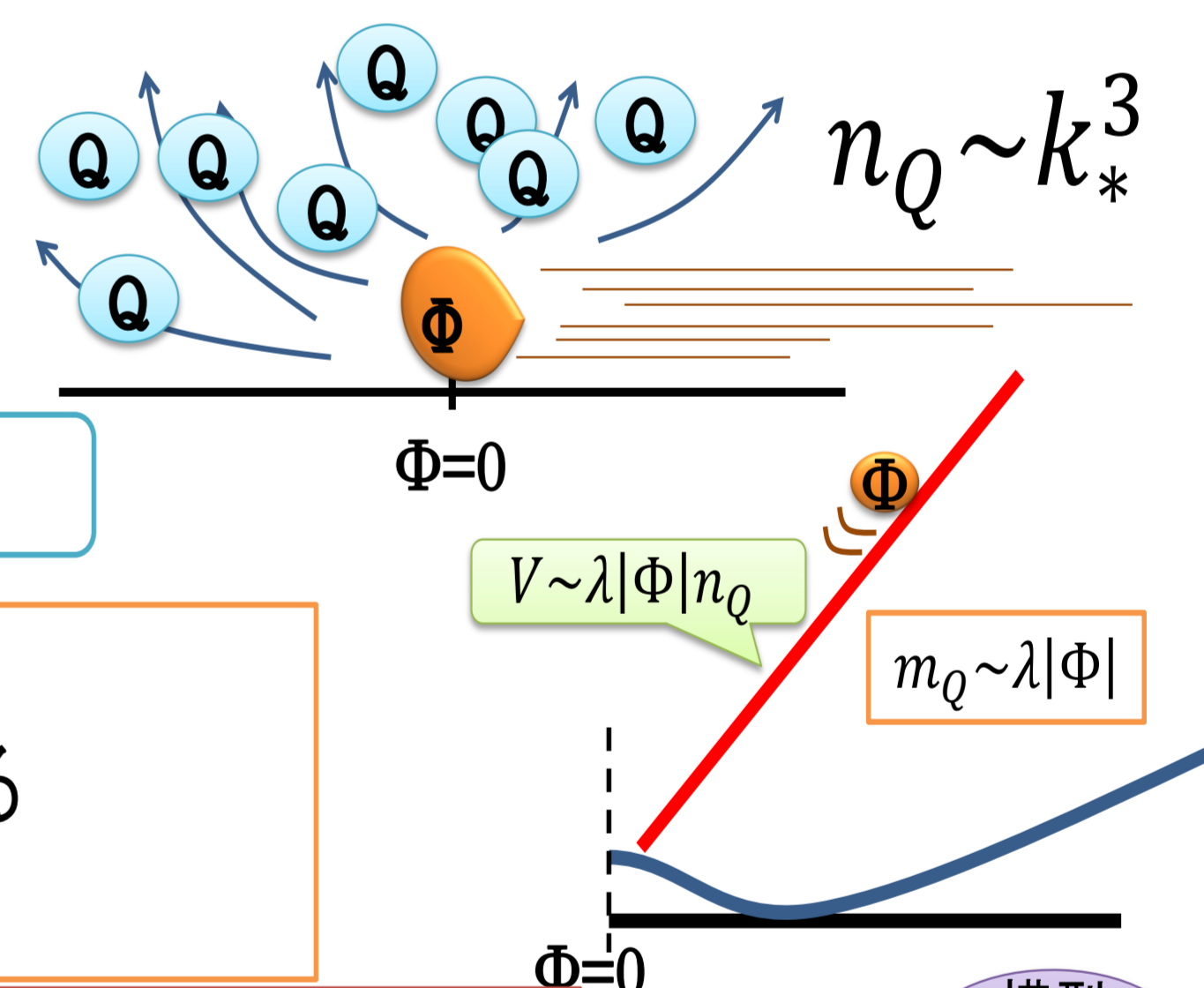
原点通過後、原点遠方では...

・リニアなポテンシャル  $V \sim \lambda |\Phi| n_Q$  が生じる

・Q の質量が増加する。  $m_Q \sim \lambda |\Phi|$

Q が崩壊できるかどうかダイナミクスを決める上で重要

$$k_* \equiv \sqrt{\lambda \dot{\Phi}} \ll gT$$

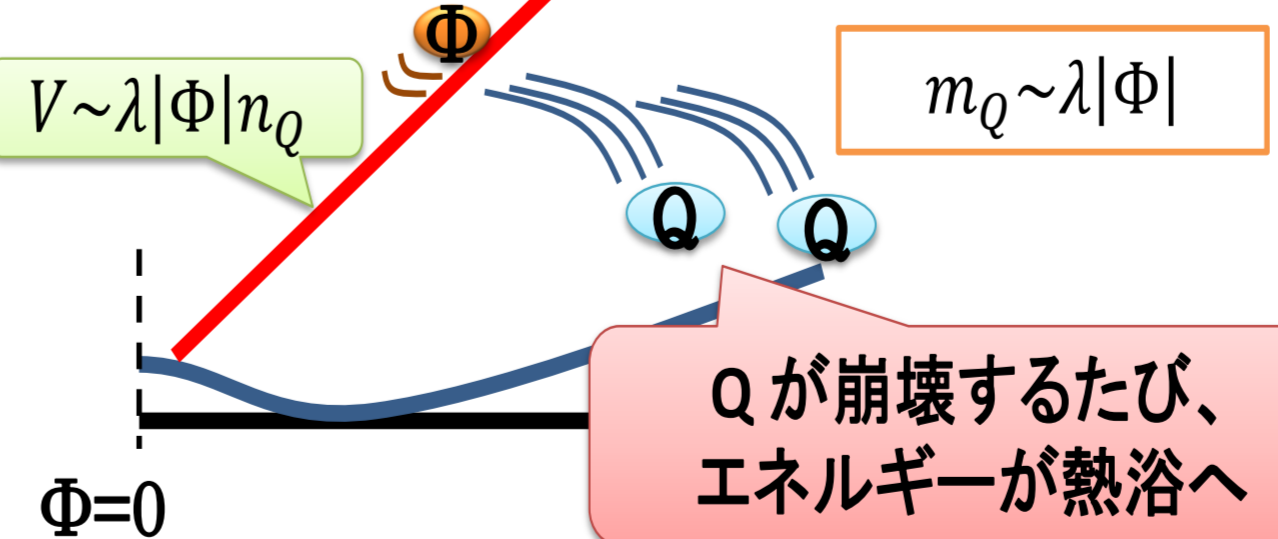


## Φ のトラッピング

Q が崩壊できる場合

一回の振動毎に Q の崩壊を介して  $\Phi$  のエネルギーが熱浴に受け渡されていく。

その結果、熱浴が暖められ、原点にトラップされやすくなっていく。



Q が崩壊できない場合

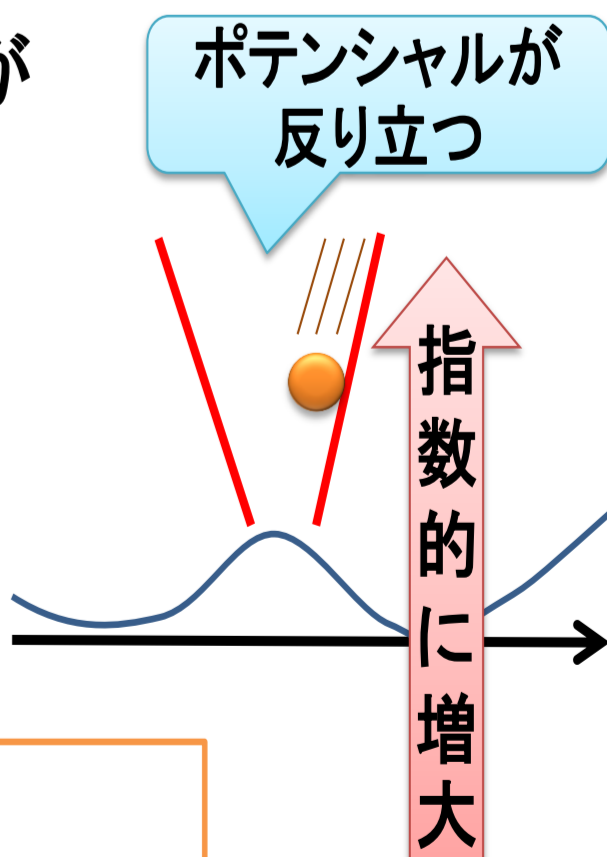
・ $\Phi$  が原点を通過する毎、Q が生成される。

$\Rightarrow$  Q のスカラー成分の数密度が指数的に増大。

$\Rightarrow$  原点が最下点になる。

・その後、Q の対消滅でエネルギーが  $\Phi$  から熱浴に渡る。

Typical case:  $\Phi_i > 10^8 \text{ GeV} \frac{g^2}{\lambda} \left( \frac{m_s / \lambda}{1 \text{ TeV}} \right)^2 \left( \frac{m}{1 \text{ GeV}} \right)^{-1}$  でトラッピング



多くのパラメータ領域で、 $\Phi$ は原点にトラップされる

## まとめ

・大きい初期振幅を持った saxion 場のダイナミクスを考えた。

・熱浴の影響や、non-perturbative production の寄与を注意深く取り入れた。

・多くのパラメータ領域で saxion が原点にトラップされることを見た。

・用いた解析は、他の対称性が破れた形のポテンシャルを持ったスカラー場にも適用できると期待できる。