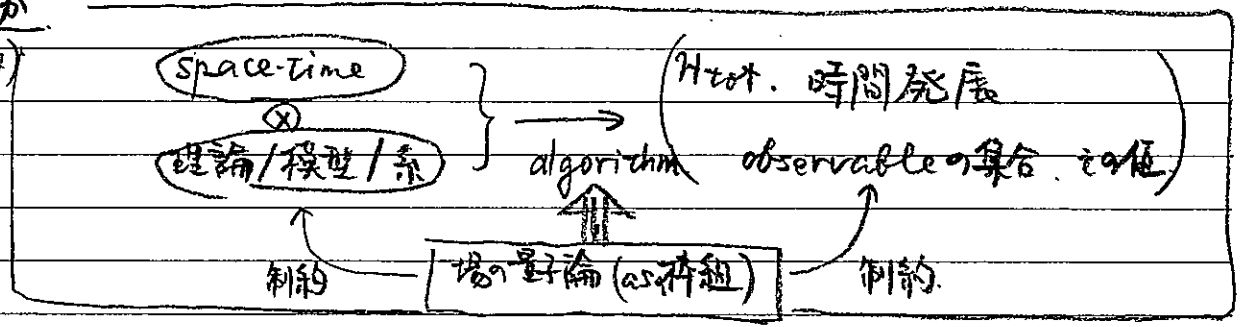


**才3週 formal theory / 一般論**

**場の量子論** 空間の各点に量子力学的自由度が付随している量子系であって  
局所性と因果律が意味するもの

あたりが物理屋工人の共有する def であるが 数学者の要求する水準での厳格な定場にはほど遠い。

何をやるか  
(希望と目的)



- ・ 個別系 for 現実の物理 ⇒ 現実 に 動機づけられた問題.
- ・ 一般論 (formal theory)

**★1 低エネルギー (長距離) 領域を調べる。**

平坦な時空の (粒子描像 + 弱い相互作用) を想定した場合... であっても。

小波長  $\Rightarrow$  小  $(\epsilon(\vec{k}) - \mu)$  相互作用のエネルギーと同程度の  
粒子のときもある @ 小  $k$  (長波長)

ハミルトニアン  $H$  の対角化問題が非自明  
粒子描像 + 弱い相互作用 が便利な近似でなく粒子

たとえば  $\mu \ll \sqrt{G_N}$  とか  $\mu \ll \frac{3}{4} \Lambda$  とかで便利だと言っているにすぎない

- 例:
- Weinberg-Salam 模型  $\Rightarrow$  4-fermi 模型.
  - QCD  $\Rightarrow$  核子- $\pi$  中間子有効理論, 重クォーク有効理論, 他.
  - 量子Hall系  $\Rightarrow$  Chern-Simons 理論.
  - 電子-格子系  $\Rightarrow$  Landau-Ginzburg 有効理論.

◎ (個別系での) 低エネルギーで有効な自由度の同定/抽出  
導出/理解. と: 相互作用パラメータの読みかえ則 (if possible)

① 「相」とは何か? 「だって、この相とあの相はなんかハッキリ違うし……」  
破れている「超対称性」の有効場の理論で区別する。それ以外の区別材量は?

② UV有効理論  $\Rightarrow$  IR有効理論 対応で「こういうことはおきない」ルールの発見。

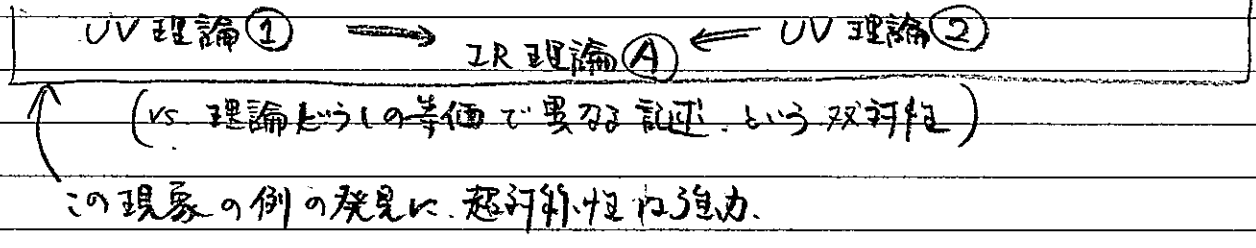
且  $\left( \begin{array}{c} \text{ドメインスケール不変な} \\ \text{UV有効理論} \end{array} \right) \Rightarrow \left( \begin{array}{c} \text{ドメインスケール不変な} \\ \text{IR有効理論} \end{array} \right)$  なら。

$\left\{ \text{ドメインスケール不変な理論} \right\} \rightarrow$  特徴量

$(\text{特徴量})_{UV} \geq (\text{特徴量})_{IR}$  である。

(特徴量 ~ 自由度の総量みたいなもの。)

③ IR対称性という現象。



④ 非摂動効果がど〜なるかを調べたい  $\rightarrow$  摂動級数を well-def にする  
 $\rightarrow$  低エネルギー・スケールでの非摂動理論  
 $\rightarrow$  そこに山があるから

超対称性のあり系だと、調べる技法がよえる。

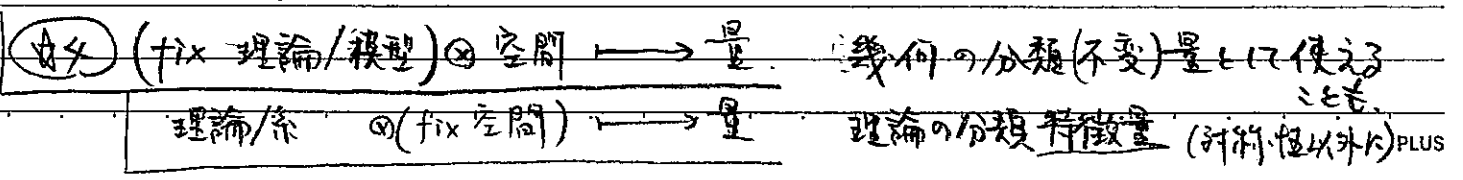
解けた系は稀/特殊なだけ。「なんかおかしな」部分が見られることもある。  
(e.g. 水素原子、調和振動子)

⑤ 場の量子論系はどれくらいあるか?

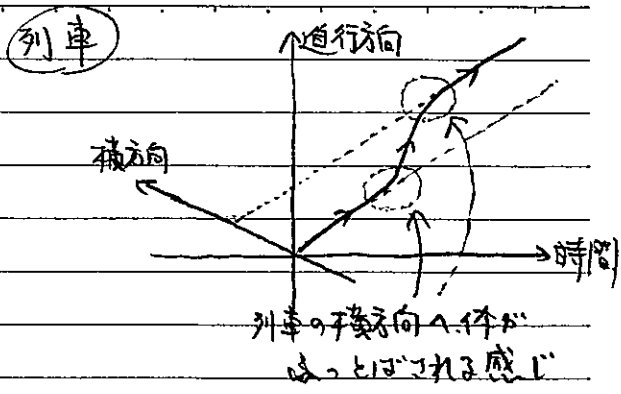
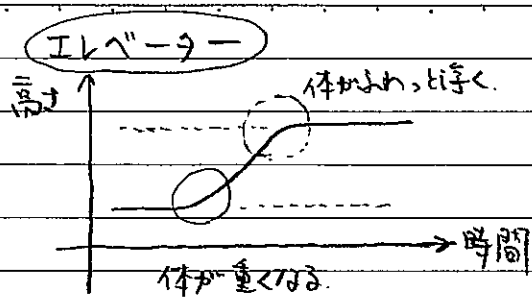
「素粒子とソリトンが同程度の質量をもつ系では、局所性が明快な有効理論(気球が)ありとは想定できないが、それでも、そんな系の存在を認めるための証拠がある。

超対称系: "push the boundary" で系の集合を推定する。

超共形対称系: 上記とあわせて、Howまで調べられることもある。



**重力とは**



(高工/位置/距離) の二階微分  $\Leftrightarrow$  重力

計量  $ds^2 = g_{mn}(x) dx^m \otimes dx^n$  の二階微分

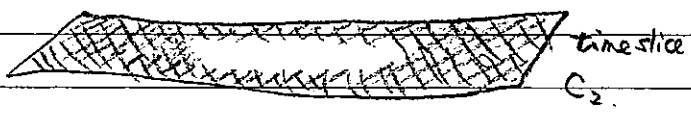
→ 座標の取り方に対して共変テンソル。座標と取り方の依存性が、物理の言語に影響を及ぼすかの定式化 (一般相対論)

① この座標点、あの座標点 という概念の意味がない。

この粒子が存在可能な点とあの粒子が存在可能な点との距離は必ずしも

② 座標を補助的に使うことは、全く問題ない。(vector空間の基底のようにもてる)

★ 今本種が無限大の空間を扱う場合。



漸近領域上は Riemann 多様体 (計量) として 2つ指定されている。中央部のみ異なる RN 範囲では大場の配位の空間を

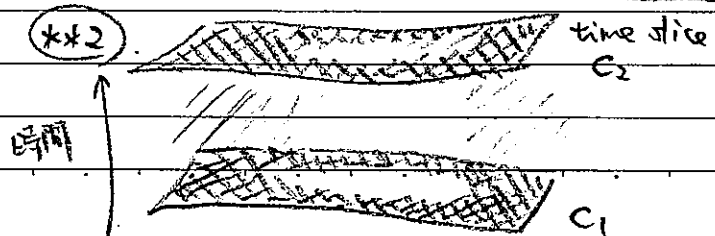
分類し、分類ごとに個別に扱っている。★★

正当化: (相互作用が時空の存在点でおきる)  $\Leftrightarrow$  局所性のある場の理論で一般に...

2つの状態  $|\hat{\phi}(x) = \phi_1(x) @ t_i; t_f\rangle$  と  $|\hat{\phi}(x) = \phi_2(x) @ t_i; t_f\rangle$  の内積は

$\prod_x (1 - \delta_{\phi_1(x) \neq \phi_2(x)}) \Rightarrow \neq 0$  only if  $\phi_1(x) = \phi_2(x) @$  少数の点  $x$  のみ

だから ★★ の別分類の状態間の干渉は考慮してよい。各分類ごとの study 可能は十分。



$C_1$  上分類1の state から  $C_2$  上分類2の state への遷移振幅が  $\neq 0$  になるのは  $C_1 \sim C_2$  間の漸近領域上 Einstein eq の解で与えられる必要がある。★★

量子重力理論での散乱理論は、この分類では行方。

(散乱振幅の行列は well-defined か? というのが研究者もいる)

量子重力理論において「因果律」を要求するとしたら、

それは、この漸近領域での計量を適用することになる。

★ 超弦理論は量子重力理論の候補だけれど、他の候補は何があるの?

一般相対論で重力を量子化する  $\Rightarrow$  エネルギー  $\sim 1/\sqrt{G_N}$  がそれ以下で、

何らかの補正がかかるはず。

(散乱振幅の行列はユニタリ性を保つべし)

強結合:  $1/\sqrt{G_N}$  がギリギリまで補正がかかる。

弱結合:  $1/\sqrt{G_N}$  よりいっくら下のエネルギースケールで補正がかかる。

弱結合の場合 + 因果律  $\Rightarrow$  spin > 2 の massive 粒子が無限個存在  
双対共鳴模型様の散乱振幅になる

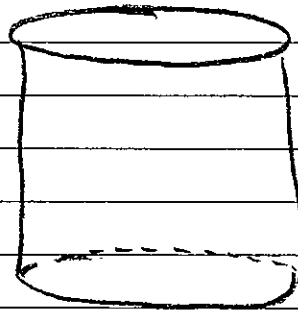
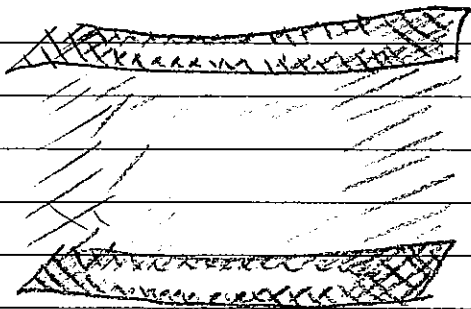
この主張が正しい

<https://arxiv.org/abs/1407.5597>  
<https://arxiv.org/abs/1607.04253>

★ ホログラフィー

量子重力理論

場の量子論の系



漸近領域での時空の計量は指定した範囲  $d+1$  次元時空。

$(d-1)+1$  次元時空 (fixed 計量)

① 証拠集め

② この範囲/系に対応があるか?

③ 利用して、対応逆側の情報を得る。

対称性、H.c.t. observable の集合 etc  
量子系として完全に等しいという範囲の系  
の対応がある。と予想

④ 予想だけでなく原理として扱う。量子重力理論の候補と絞り込む。

(ハドロン物理、物性物理への応用) (弦理論の非摂動効果と場の理論側で深めよう)