

40年の定説を覆す：AIと物理学の新たな地平

GPT-5.2による「シングルマイナス」グルーオン散乱振幅の発見と証明

1986 – 2026

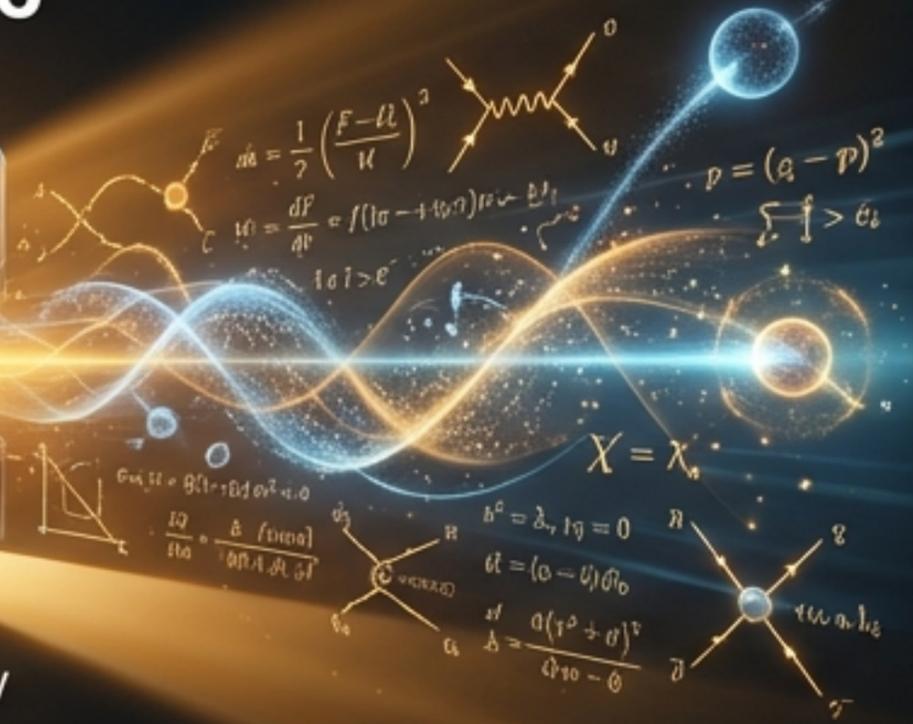


The Zero Assumption
(定説)

Feb 2026



The Discovery
(発見)



THE EVENT

2026年2月、GPT-5.2 Proが素粒子物理学の40年来の信条を覆した。

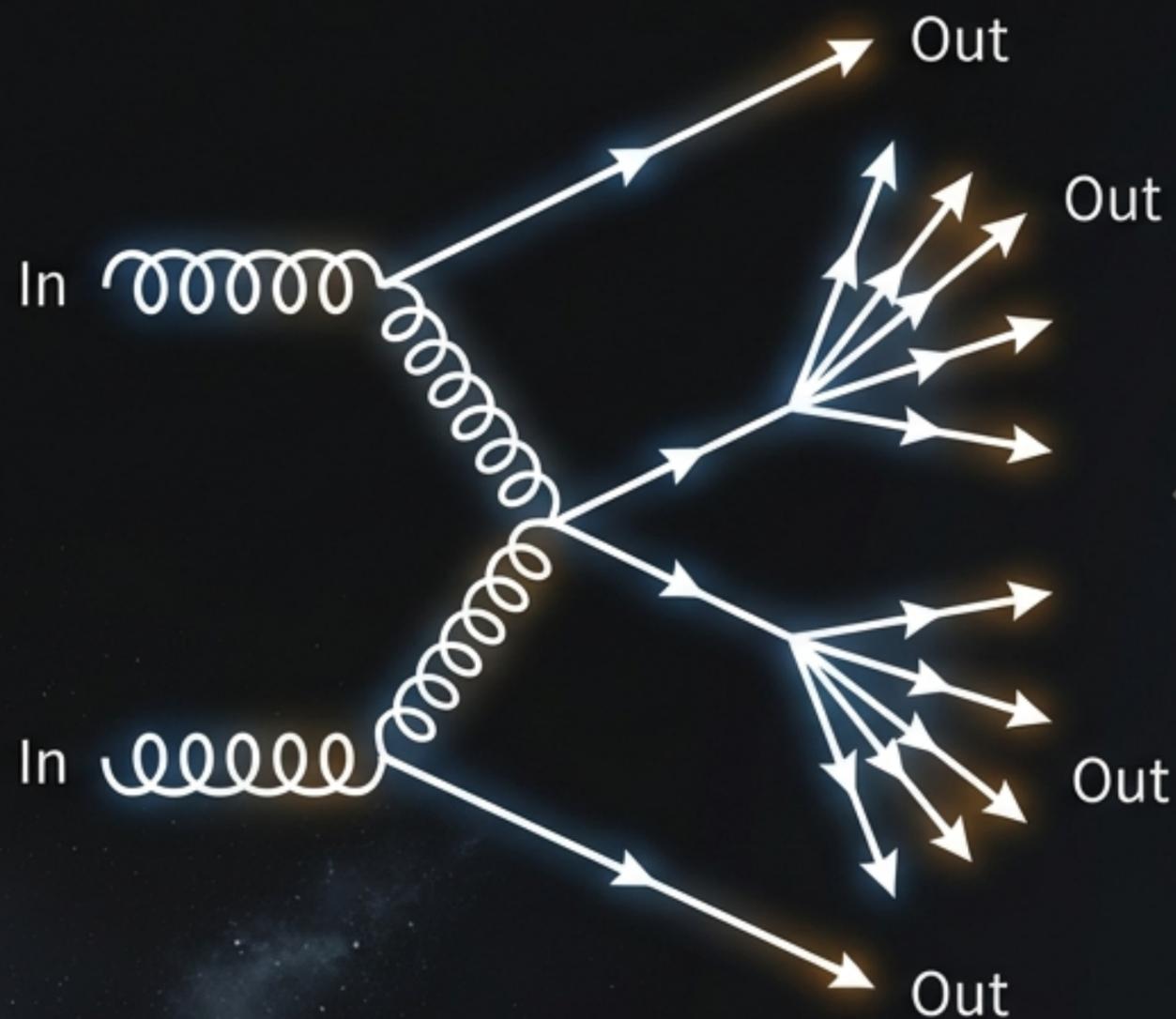
THE DISCOVERY

教科書で「ゼロ」とされてきたシングルマイナス・グルーオンの散乱振幅が、特定の領域（半コリニア領域）で「非ゼロ」であることを証明。

THE IMPACT

- 物理学: 標準模型の計算精度向上と新物理探索への貢献。
- AI: 「推測 (Conjecture)」から「形式的証明 (Formal Proof)」までをAIが自律的に遂行。

舞台設定：素粒子の「ソースコード」 散乱振幅



散乱振幅とは

素粒子衝突の確率を計算する中心的な量。標準模型の理論予測は実験値と14桁の精度で一致する。

主役：グルーオン

- クォーク間の「強い力」を媒介する粒子。
- 自身が「色荷」を持ち、自己相互作用する。

ヘリシティ

運動方向に対するスピンの向き。「+ (正)」か「- (負)」の状態を取る。

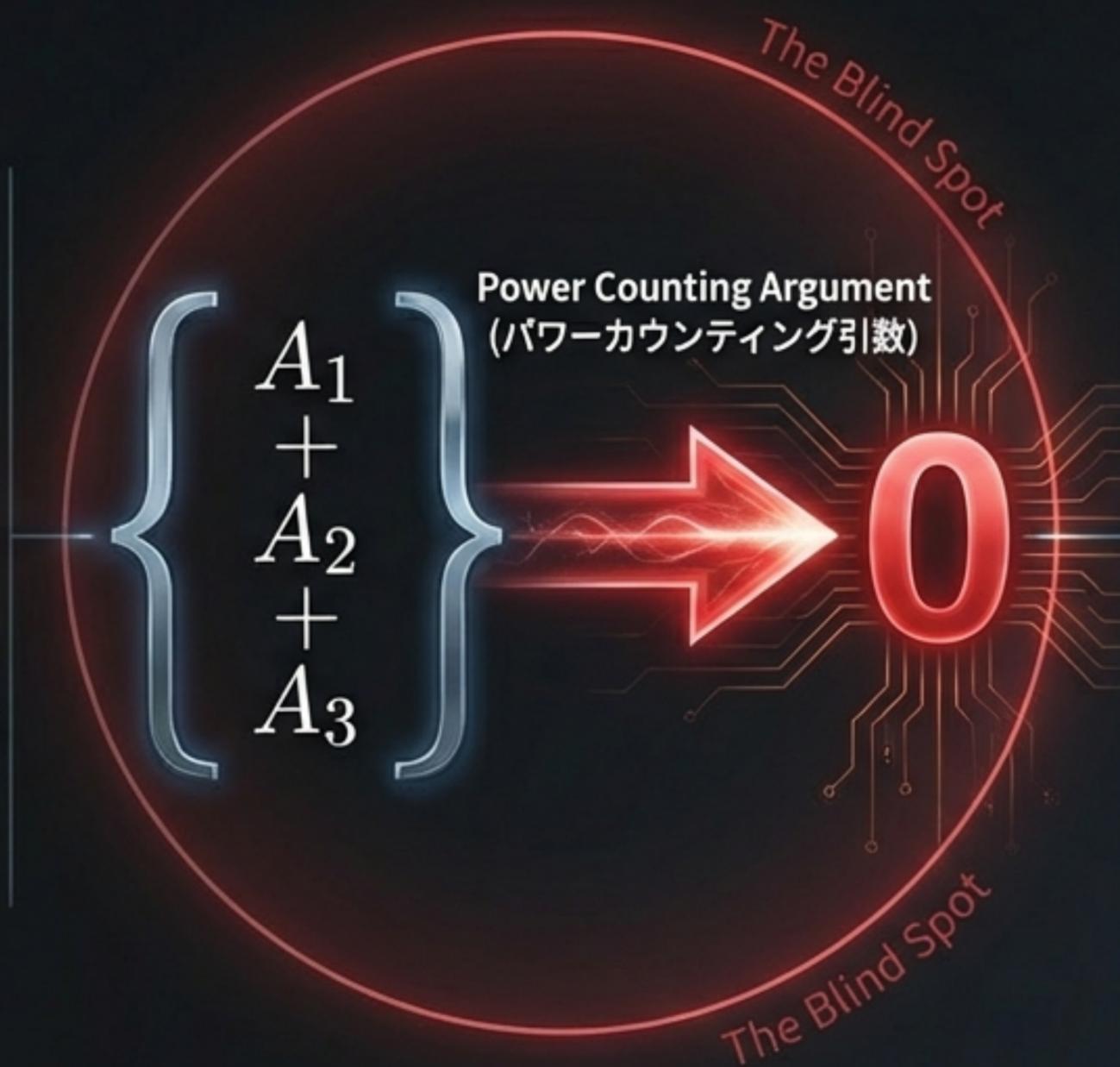
40年続いた定説：「シングルマイナスはゼロである」

Parke-Taylor (1986):

MHV振幅の発見により研究が加速。

The Belief: 以下の配置はツリーレベルでゼロになると信じられてきた。

- すべて正ヘリシティ (++++)...
- 1つだけ負ヘリシティ (-+++...)



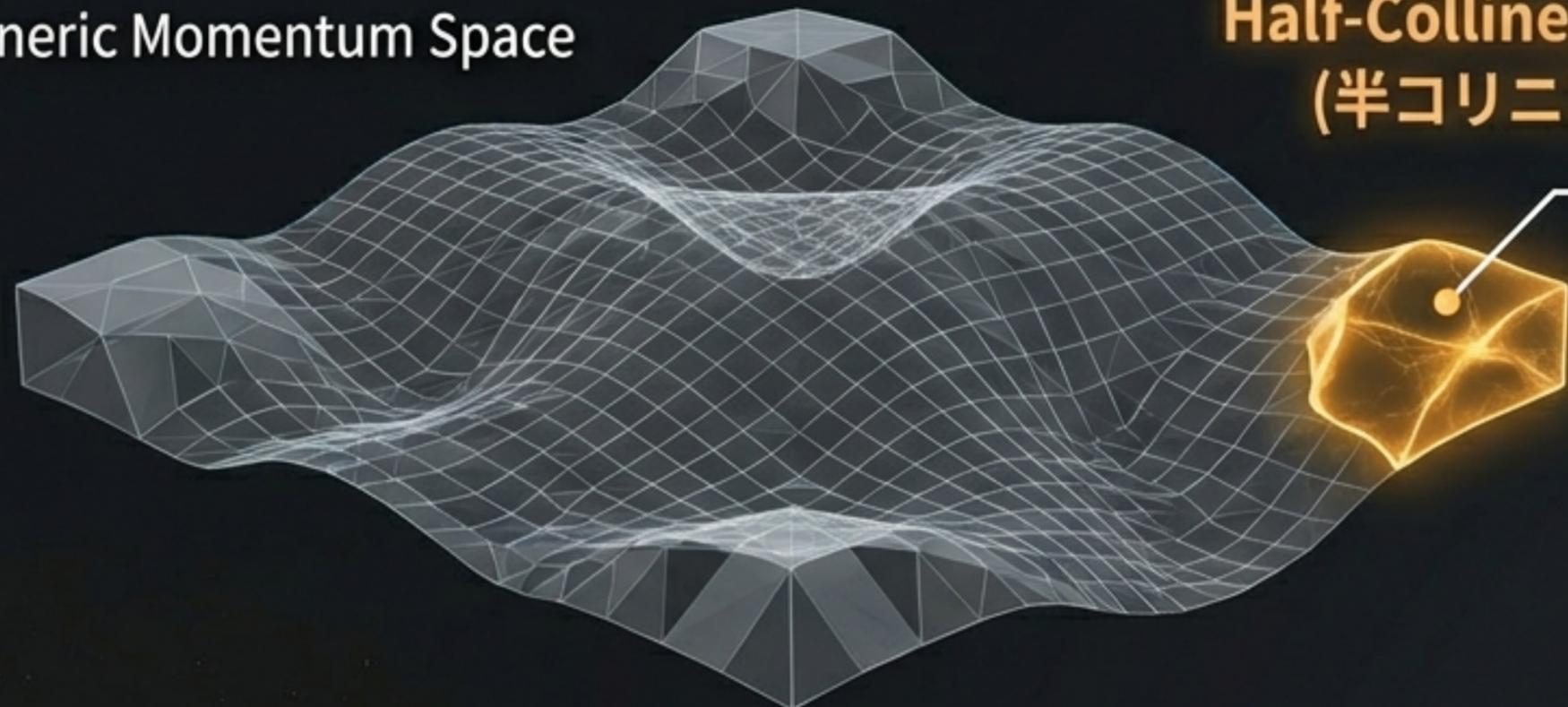
The Reason: 適切に参照スピノルを選べば全寄与がキャンセルされると考えられていた。

The Blind Spot:

この議論は、この議論は、運動量が「一般的 (Generic)」な配置にあるという暗黙の前提に基づいていた。

定説の死角：「半コリニア領域」の発見

Generic Momentum Space



Half-Collinear Region
(半コリニア領域)

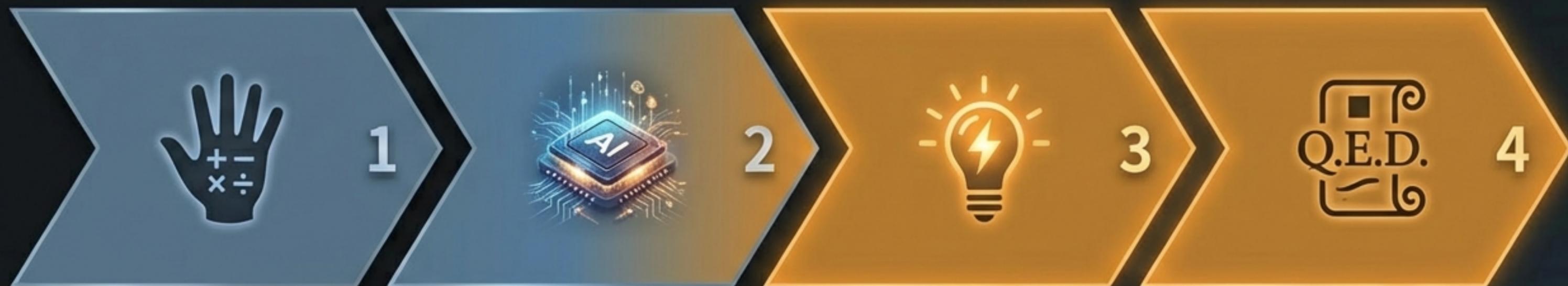
$$\langle ij \rangle = 0$$
$$[ij] \neq 0$$

定義: すべてのスピノル角括弧 $\langle ij \rangle$ がゼロになるが、角括弧 $[ij]$ は**非ゼロ**のまま残る領域。

The Twist: この特殊な領域では、従来の**消滅定理**（ゼロになる理由）が機能しない。

Note: この領域は通常のミンコフスキー空間ではなく、**クライン空間**（符号 2,2）または複素化された運動量空間において整合的に定義される。

協働プロセス：人間が基底を作り、AIが法則を導く



Human (基底計算)

$n = 3$ から 6 までの手計算。
 $n = 6$ で既に32項に達する複雑さ。

AI (劇的な簡約化)

GPT-5.2 Proが超指数関数的に複雑な式をシンプルな形に変換。

AI (一般公式の推測)

パターン認識により、任意の n で成り立つ公式 (Conjecture) を提案。

AI (形式的証明)

約12時間の自律推論を行い、数理的な証明を完遂。

発見された公式：美しい「区分定数」

$$A_n = \sum_{\sigma \in S_{n-2}} \boxed{(-1)^{|\sigma|}} \prod_{k=1}^{n-2} \text{Proj}_{i_{\sigma(k)} j_{\sigma(k)}}$$

Piecewise Constant (区分定数)

Values $\in \{+1, -1, 0\}$

構造: ストリップト振幅は、半コリニア領域内で**区分定数**となる。

整数値: 各チェンバー（区画）内で、振幅は +1, -1, 0 のいずれかの整数値のみを取る。

数学的表現: $n - 2$ 個の射影演算子の符号付き積として表現される。

「15年来気になっていたテーマ。この驚くほどシンプルな表式を見て興奮した」 — Nima Arkani-Hamed

厳密な検証：なぜこの式が正しいと言えるのか

SYSTEM DIAGNOSTIC

Berends-Giele Recursion (Berends-Giele 漸化式)

標準手法による再帰的な構成との一致。



Weinberg Soft Theorem (Weinberg のソフト定理)

エネルギー極限での振る舞いとの整合性。



Symmetry Checks (対称性の確認)

巡回対称性 (Cyclicity) と反射対称性。



U(1) Decoupling (U(1) デカップリング)

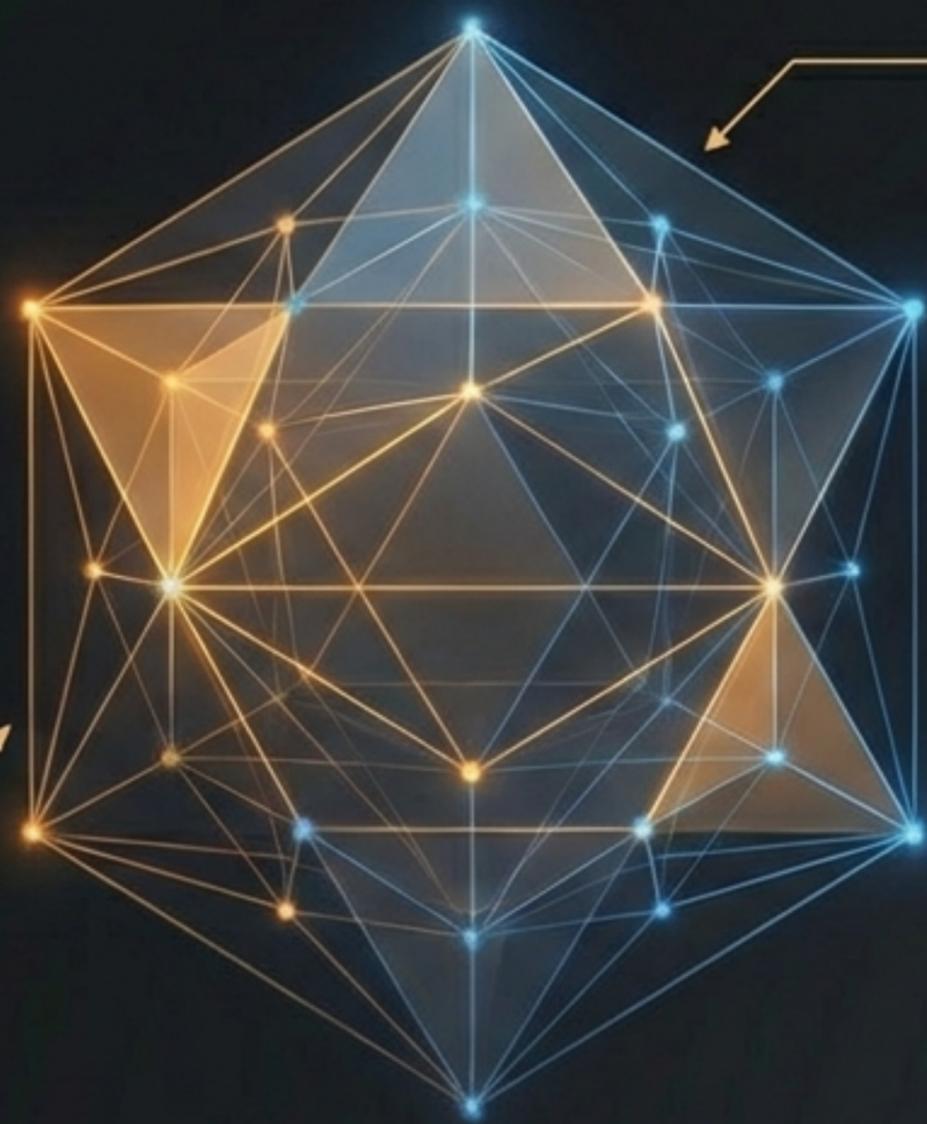
物理的な整合性条件のクリア。



Conclusion

公式は一見非自明だが、
既知の全ての物理的制約
を完全に満たしている。

理論的意義：新たな幾何学構造の予感



歴史は繰り返す

1986年のParke-Taylor公式が「アンプリチュードヘドロン」発見に繋がったように、今回の発見もQCDの背後にある未知の幾何学構造を示唆している。

さらなる簡約化

変数選択を変えることで、さらにシンプルな形式が存在すると予測される。

SDYM理論

自己双対ヤン-ミルズ理論における長年のパズルを解決する糸口となる可能性がある。

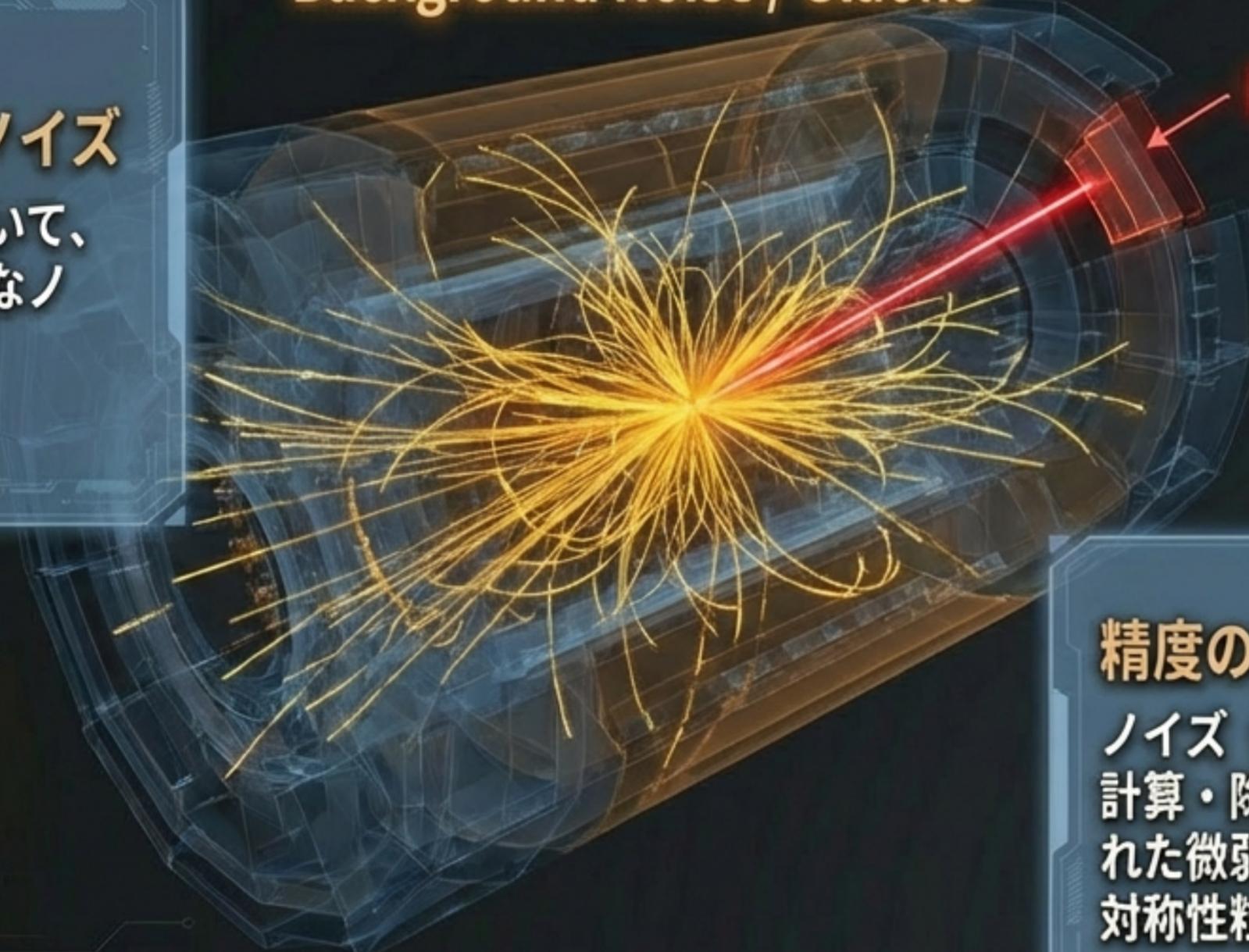
実験的意義：LHCにおける「ノイズ」の精緻化

バックグラウンドノイズ

プロトン衝突実験において、グルーオン散乱は主要なノイズ源である。

Background Noise / Gluons

New Physics Signal



精度の向上 = 発見確率の向上

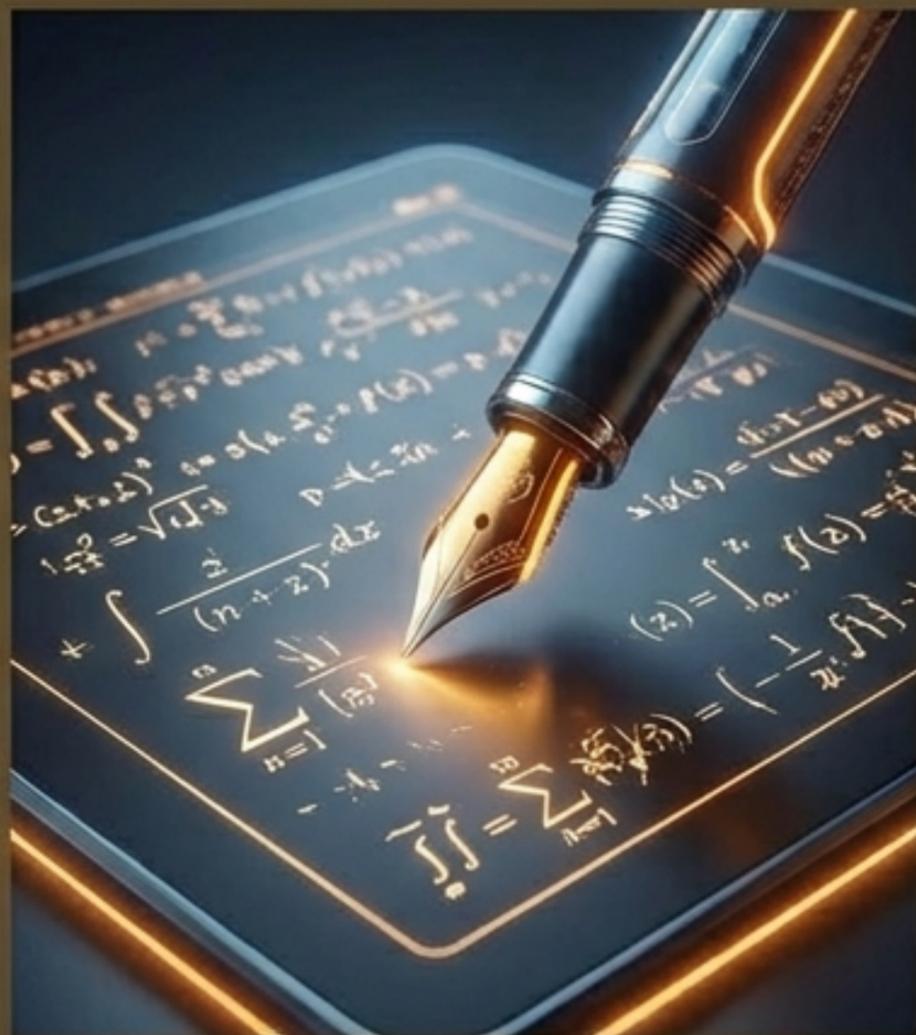
ノイズ（既知の相互作用）を正確に計算・除去できれば、その背後に隠れた微弱なシグナル（暗黒物質や超対称性粒子）を検出できる。

AI支援科学のパラダイムシフト



これまでのAI

- データ解析
- シミュレーション
- 文献検索 (補助的ツール)

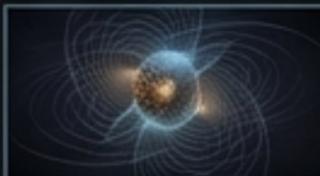


今回のGPT-5.2

- 仮説生成: 人間の直感に依存していた「パターン発見」を自動化。
- 演繹的推論: 12時間の自律思考による「形式的証明」の構築。
- 共著者: OpenAIのKevin Weilが共著者として名を連ね、AIの知的貢献が公式に認められた。

今後の展開と課題

重力子 (Graviton)



重力を媒介する粒子への計算拡張 (進行中)。

超対称化



Supersymmetrizationへの応用。

セレスティアルホログラフィー



振幅と天球上の理論との接続。



Important Caveats

- プレプリント段階: 2026年2月時点では査読前 (arXiv)。
- 物理的実在性: クライン空間で定義される「半コリニア領域」が、現実の衝突実験でどう観測されるかは未解明。

「ゼロ」は終わりではなく、始まりだった。

AIは今や、既存の知識を検索するだけでなく、
物理学の空白を埋め、新たな法則を記述するパートナーとなった。

Noto Sans JP

Data based on 'Single-minus gluon tree amplitudes are nonzero' (2026).