

スプリント物理 No.5

相対性理論の入口
—— 時間の遅れを"光時計"で理解する

KEY FORMULA

$$\tau = \gamma t_0 \quad \gamma = 1 / \sqrt{1 - \beta^2}$$

LEARNING GOALS

- ▶ 光時計を使って「時間の遅れ」を幾何学的に導出できる
- ▶ ローレンツ因子 γ の意味を理解し、数値計算できる
- ▶ ローレンツ収縮・相対論的速度合成公式を正しく使える
- ▶ $E=mc^2$ をエネルギー・運動量関係から導出できる

問題A ● 実問題

光時計と時間の遅れ (東大2022)

問題B ● 実問題

ローレンツ収縮・速度合成 (京大2022)

問題C ● 実問題

 $E=mc^2$ の導出 (阪大2023)

問題D ○ 予想問題

ミューオンの寿命

採点者の視点

採点者はここを見ている —— 相対性理論・時間の遅れの問題で合格答案はこういう「構造」をしている

① なぜ同じ答えでも評価が違うのか

清光学院の講師陣は、これまでに皆さんと同じ志を持った先輩受験生たちの答案を何千枚も採点し、合格・不合格の判定を下してきました。その経験から言えることが一つあります。

「正しい答えを出していても、なぜそう考えたのかが見えない答案は、採点者の印象に残らない。」

相対性理論・時間の遅れの問題では、*光時計による時間の遅れの導出根拠*の理解が答案の質を大きく左右します。

② 相対性理論・時間の遅れの問題で採点者が見ているポイント

「光速不変の原理より」と出発点を明示してから導出する答案が採点者に明快と映る

💡 この授業の使い方

各問題のワンポイントには「採点者がどこを評価するか」の視点が含まれています。答案を出すだけでなく、根拠を一文添える習慣を意識しながら取り組んでください。

③ 総合型選抜・口頭試問でも同じ構造が問われる

採点者（大学教員）が口頭試問で確認したいのは「答えが出るか」ではなく「思考の構造を説明できるか」です。この授業で習得する「上から俯瞰する」視点は、あらゆる試験形式に通用します。

1. 特殊相対性理論とは

歴史的背景：19世紀末、マクスウェルの電磁気学は「光（電磁波）は媒質なしに $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ で伝わる」と予言した。しかし**マイケルソン=モーリーの実験（1887）**は、地球の運動によって光速が変化しないことを示し、ニュートン力学との矛盾が生じた。アインシュタインは1905年、これを根本から解決する「特殊相対性理論」を発表した。

■ アインシュタインの2つの公理

公理	内容	意味
相対性原理	等速直線運動するすべての慣性系で物理法則は同じ形をとる	特別な「絶対静止系」は存在しない
光速不変の原理	真空中の光速は、光源・観測者の運動によらず c で一定	速度の合成則（ガリレイ変換）は光には適用できない

■ ニュートン力学との根本的な違い

ガリレイ変換（古典力学）：速度 v で動く列車内で速度 u' で飛ぶボールは、地上では $u = u' + v$
 → 光に当てはめると、光源が動いても地上の観測者は光速 $c + v$ を観測するはずだが、**実際はそうならない！**

ローレンツ変換（相対論）： $u = \frac{u' + v}{1 + u'v/c^2} \dots u', v \ll c$ のとき $u \approx u' + v$ に戻る

■ 相対論が引き起こす3大効果

現象	式	方向
時間の遅れ（時間膨張）	$t = \gamma t_0$ ($t > t_0$)	速度 v で動く系の時計は遅れる
ローレンツ収縮	$L = L_0 / \gamma$ ($L < L_0$)	運動方向の長さが縮む
質量・エネルギー等価	$E_0 = mc^2$	静止質量もエネルギーを持つ

△ γ （ローレンツ因子）は常に $\gamma \geq 1$ 。 $v \rightarrow 0$ なら $\gamma \rightarrow 1$ （古典力学に帰着）。 $v \rightarrow c$ なら $\gamma \rightarrow \infty$ （光速には到達不可）。

$$\beta = \frac{v}{c} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (0 \leq \beta < 1, \gamma \geq 1)$$

続きは講義でご覧いただけます

この教材には、採点者の視点・核心的な解法・入試問題・演習・まとめがさらに収録されています。大学教授陣が設計した「普通の授業では出会えない接続点」を体験できる完全版は講義でご提供いたします。

清光学院 AP SEIKO 理系講座 © 清光教育総合研究所