

特殊相対性理論の歴史 01 ニュートン 04 ポアンカレ

特殊相対性理論の歴史 01 ニュートン

[Although] [アイザック・ニュートン](#) ---基礎づける> 彼の絶対空間に関する理論

彼 ---also 付加する> [相対性原理](#) of [Galileo Galilei](#). □

このこと ---主張> 全ての観測者

□ ∇ --- 一様な動き> 相対的に /対して/ 互いに

<are> 等しい

[and] ●動きの絶対的な状態 <can be attributed---\$ /対して/ 任意の観測者. □

/間中/ 19 世紀

[エーテル理論](#) <広範に受け入れられる---\$,

/mostly in/ 形式 <与える--- [James Clerk マクスウェル](#). □

/よれば/ マクスウェル

全ての、光学現象 and 電気現象 ---伝播> /の中で/ 媒体. □

[Thus] it ---見える> 可能

/事/ \$---決定> 絶対的な動き <相対する> エーテル

[and therefore] /事/ \$--- 反する> ガリレオの原理. □

これらの実験とそれらの失敗 ---導> 発展 of [マクスウェル-ローレンツ電気力学](#)

/によって/ [ヘンドリック・ローレンツ](#). □

[ヘンリ・ポアンカレ](#) ---形式的な完全化> これ /方法/ \$---主張> 相対性原理

<as> 自然の一般法則, \$---含む> [電気力学と重力](#). □

[アルバート・アインシュタイン](#) ---結局は考案する> [特殊相対性理論](#) (SR)

/方法/ \$---完全な再解釈> ローレンツ電気力学

/方法/ \$---変換> 概念 of 時空

/and/ ---無視> エーテル. □

このこと ---舗装する> 道筋 /目標/ [一般相対性理論](#) □

[ヘルマン・ミンコフスキー](#) の後続する研究 ---laid> 基礎 of [相対論的場理論](#). □

From エーテル to 相対性原理

1816 - [Augustin-Jean フレネル](#) ---発展させる> 静止エーテル理論

/中/ ◇ 光 ---伝播> <as> 横波

[and] エーテル <部分的に引きずりの抵抗がある/持つ/ある係数--- 物質.□

[基づく] この仮定,

フレネル ---説明可能> [光行差](#) <and> 多くの光学現象.^[A 1] □

1845 - [George Gabriel Stokes](#),

<とは対照的に> フレネル,

---主張> ◇ エーテル <完全に引きずりの抵抗がある--- 物質. □

/In/彼のモデル/ エーテル <might be (松のピッチの比喻で) 剛い---\$

/at/ 超高周波数 and 流体 /at/ 低速度 □

[Thus] 地球 ---could 中を動く> それ /かなり自由に,

[but] it <would be> 剛体 /十分な/ \$ ---援助する> 光.^[A 2] □

1851 - 双方の理論 <考慮---\$,

[but] フレネルの理論 <望む--- \$

[because] 彼の [引きずり係数](#) <確定--- 実験 of [Armand Hippolyte Louis Fizeau](#),

L ▽ ---測定> 光速度 /状況/ 運動する液体.[\[A 3\]\[B 1\]\[B 2\]](#) □

1861-1864 - [James Clerk マクスウェル](#) ---発展させる> 方程式の組

/状況/ 電気, 磁気 and インダクタンス, <名づける-- [マクスウェルの方程式](#). □

彼 ---最初に提案>

◇ 光 <was> /事実/ 波動 (電磁気 放射) /中/ 同じエーテル媒体

◇ <is> 原因 of 電気現象 and 磁気現象.[\[A 4\]](#) □

特殊相対性理論の歴史 02 マイケルソン

1881 – [アルバート・アブラハム・マイケルソン](#) ---測定を試みる>

相対的な動き of 地球 and エーテル (エーテル風),

<as> it <期待---\$ /状況/ フレネルの理論,

/方法/ \$ ---使用> [干渉計](#). □

[しかしながら], 彼 ---could●決定> 任意の相対的な動き,

[so] 彼 ---解釈> 結果 <as> ストークスの論文の立証.[\[A 5\]](#) □

1881 – [J. J. Thomson](#) ---認める>, /間/ 彼の発展 of マクスウェルの理論,

◇ 電荷物体 <are> 集合しにくい /中/ 動き <than> 非電荷物体.□

静電気場 ---振舞う>

<as if> それら ---加える> “電磁気質量”

/と比較して/ 機械的質量 /対する/ 物体. □

[すなわち], <よれば> Thomson, 電磁気エネルギー ---対応する> ある質量.[\[A 6\]](#) □

1886 – [ヘンドリック・ローレンツ](#) ---示す>

マイケルソンの 1881 実験の計算 <were> 誤

[and therefore] 実験 <was> ●決定的な. □

このこと <許容--- マイケルソン自身.[\[A 7\]](#) □

ローレンツ ---also 示す>

◇ エーテルの完全な抵抗 <as> in ストークス理論 <is> 自己矛盾.[\[B 1\]\[B 2\]](#) □

1886 – マイケルソンと[エドワード・モーリー](#) ---実行> 実験

/理由/ \$---チェック> フィゾーの実験,

L ◇ ---測定> フレネルの抵抗係数 /中/ 動く液体. []

フレネルの理論 <確証---\$ <非常に正確> その場合 []

マイケルソン <was> 目下のところの意見

L ◇ ほとんど静止のエーテル <確証---\$^[A 8] []

1887 - マイケルソンとモーリー

---出版> 結果 of 再試行したマイケルソンの 1881-実験. []

現在有名な[マイケルソン-モーリーの実験](#)

---●生み出す> 期待された肯定的な結果,

[and] <was> /状態/ はっきりとした <比較> 1886 マイケルソンとモーリーの実験,

◇ ---語った> フレネルの静止エーテル. []

[However], ストークスの代案 of 完全抵抗エーテル

<was> エーテルが正当であると認められにくい,

[理由] ローレンツの 1886 論文.^[A 9] []

1887 - [Woldemar Voigt](#) ---調査> ドップラー効果

/対して/ 波 ---伝播> /中/ 非圧縮弾性媒体

[and] ----導く> /対して/ 最初の時間/ 相対論的な変換関係,

L ◇ ---持つ> ある類似 /対して/ ローレンツ変換. []

彼 ---開始する> 対応する偏微分方程式. []

彼 ---仮定> 波動表現 <as> その解

[and] ---入れる> /中/ 議論

L◇ 最も一般的な形式 of [ガリレオ変換](#),

L ◇ ---説明する> /対して/ <both> 座標の回転 <and> 移動 /中/ 時間.□

相対論的な変換 ---関連する> /対して/ ある特別な場合

彼 ---導> /それから/, /手段/ \$---対象とする> ガリレオ変換された波動表現

/対して/ 偏微分波動方程式. □

Voigt ---厳密に区別する>

/between/ 変換関係 <有効> 縦波 *longitudinal waves*

/and/ 変換関係 <有効> 横波 *transverse waves*

(<such as> 電磁波). □

[Voigt-変換](#) ---予測> 否定的な結果 of 引き続くマイケルソン-モーリーの実験,

[but] 方程式 <●> 対称的. □

[However], Voigt の研究 <完全無視--- 彼の同時代の人々^[A.10] □

1889 - [オリバー・ヘビサイド](#) ---続ける> 1881 研究 of Thomson

[and] ---認める> ◇ 質量 of 物体 <増加---\$,

[not only] 仮に it <電荷---\$,

[but] 電磁気質量 <also 増加---\$ /理由/ 高速度.□

[付加して] 彼 ---決定> ◇ 静電気場 <収縮---\$

/状態/ 動きの方向 (ヘビサイド楕円体 Heaviside Ellipsoid),

◇ ---導> \$ ---物理的に決定する> 状態 /at/ 光速度.^[A.11] □

1889 - [に続いて] Heaviside,

[George FitzGerald](#) ----示す>

◇ also 物質的な物体 ---収縮>/状態/ 動きの方向 ([長さの短縮](#)),

◇ ---could 説明> 否定的な結果 of マイケルソン-モーリーの実験.[\[A 12\]](#) □

1890 - [後] [ハインリッヒ・ヘルツ](#) ☆1887 ---証明してきた> 電磁波の存在.[\[B 1\]](#)

彼 (and, 彼同様, Heaviside) ☆1890 ---さらに発展させる> マクスウェル理論.[\[A 13\]\[A 14\]](#) □

マクスウェル-ヘルツ方程式 ---引き続いて形式化>

重要な基盤 /対して/ さらなる発展 of 電気力学. □

Hertz ---仮定>, <のように> Stokes,

◇ エーテル <まったくいっしょに運ぶ--- 物体 ◇ <●従う> 実験. □

☆20世紀の初頭

彼の理論 <also 直接的に証明--- 実験

[and] <置き換える--- ローレンツ理論. □

Hertz <was> 一人 of 最後の支持者 of “機械的な世界観”,

[によれば] ◇ 全ての電磁気過程 <導かれるべき--- \$

/対して/ 機械的な衝撃 <and> 接触作用[\[B 2\]](#) □

特殊相対性理論の歴史 03 ローレンツ

1892 – ローレンツ ---設定> 基礎 of [ローレンツ エーテル/電子 理論](#),

/手法/ \$ ---仮定> 存在 of [電子](#) <as> 電磁場源

[and] /手法/ \$---置き換え> マクスウェル-ヘルツ方程式

/by/ マクスウェル-ローレンツ方程式. □

/において/ 彼のモデル, エーテル <is> 完全に動かない

[and], <反対に> フレネルの理論, <●also 部分的に引きずる--- 物質. □

彼 ---与える> ●言明 /について/ エーテルの機械的な性質 <and> 電磁過程,

[逆に], /逆もまた真実で/, (彼)---説明を試みる> 機械的な過程 /手段/ 電磁気の過程

[それゆえに] ---創造> 抽象的な電磁エーテル. □

/中/ 彼の理論の骨子, ローレンツ ---計算>, <ように> Heaviside, 静電気場の収縮.[\[A.15\]](#) □

☆同年 彼 ---提案> 長さの収縮

<独立して/から> Fitzgerald

/ために/ \$ ---説明> マイケルソン-モーリーの実験. □

/理由/ もっともらしさの理由/,

ローレンツ ---言及する> 静電気場の収縮の類似.□

[However], even ローレンツ ---認める>

◇ that <●> 必要な理由

[and] 長さの収縮 ---連続して残る>

<as> 純粋な、この目的のためだけの仮説.[\[A.16\]](#) □

1895 – ローレンツ ---導入する> “対応する状態の理論(Theorem of Corresponding States)”

/に関する項のために/ オーダー v/c . □

この理論 ---述べる>

◇ 運動観測者 (<相対する> エーテル) /中/ 彼の仮想の場

---させる> 同じ観測者 <as> 静止観測者 /in/ his 現実の場. □

重要な部分 of it <was> 局所時間 $t' = t - vx/c^2$,

◇ ---舗装する> 道 /対する/ [ローレンツ変換](#)

[and] ◇ 彼 ---とは独立に導入する> Voigt. □

この概念のおかげで,

ローレンツ ---could 説明> [光行差](#)

[ドップラー効果](#) <and> フレネルの抵抗係数の測定

/by/ Hippolyte Fizeau /状態/ 運動液体と静止液体 /も、また/. □

[しかしながら],

ローレンツの局所時間 <●> 時間 <測定--- 時計

<○ のみによって> 補助の数学的ツール □

[However] ローレンツ ---認める> 事実 ◇ 彼の理論 ---反する> 作用反作用原理

[since] エーテル ---作用> 物質,

[but] 物質 ---can● 作用> 静止エーテル.^[A.17] □

1895 - [ヘンリ・ポアンカレ](#) ---判断> ◇,

[除いて] 応答原理の破綻,

ローレンツの理論 <is> 欠陥のほとんど無い of 全理論 of 電気力学. □

[なぜなら], <とは反対に> 他の理論,

it ---can 説明> フィゾーの実験 <and> 電気や磁気の保存 □

[比較して] ローレンツ, ▽---説明したいだけ>

否定的 (光学の) エーテル ---漂流する> 実験 of 一次のオーダー / 対する/ v/c ,

ポアンカレ (<基礎づける--- マイケルソン-モーリーの実験)

<was> of 意見 ◇ it <is> only 可能 /事/ \$---観察> 相対的な動き of 物質,

[but not] 絶対的な動き [nor] 動き <相対的な> エーテル.^[A.18]

1897 - [Joseph Larmor](#) ---創造> モデル | <比較して非常に簡単な> // ローレンツのもの. □

[しかしながら], 彼 ---進む> 段階 /さらなる/

[and] ---拡張> ローレンツ変換 /のための/ 二次オーダーの項 □

[それで] Larmor <was> 最初の人 /事/ \$---押す> ローレンツ変換 /中へ/ 代数的等価形式,

◇ ---習慣化> 今日 □

彼 ---気づく> その場合,

◇ [not only] \$---can> 長さの収縮 <導く--- it,

[but] 彼 ---also 計算> ある種類 of [時間の遅れ](#) /に対する/ 電子軌道.^[A.19] □

Larmor ---特殊化> 彼の考察 ☆1900.^[A.20] □

☆1899, ローレンツ ---拡張> 彼の変換 /のための/ 二次オーダーの項

[and] ---記す> (数学的な) 時間遅延効果 /もまた/. □

質量の速度と依存性との統合 <認める--- Thomson

<was> 特別に重要 /にとって/ 彼の理論. □

彼 ---気づく> ◇ 質量 ---not only 変化する> /を理由として/ 速度,

<but is also> 依存して /関して/ 方向

[and] 彼 ---導入> what Abraham ---後に呼ぶ> 「縦の」 and 「横の」 質量. □

(横の質量 ---対応する> what 後に <呼ぶ---\$ > [相対論的質量](#)).^[A 21] □

1898 - ☆19世紀の後半

多くの試みがあった /事/ \$ ---発達させる> 世界規模の時計網 <同調--- 電気信号. □

その場合, 光速度の有限な伝播 <考察しなければならない---\$ /もまた/.^[B 3] □

[So] [ヘンリ・ポアンカレ](#) ---描く> この過程の、ある重要な結果

[and] ---説明> ◇ 天文学者たち, /状況/ \$ ---決定> 光速度,

---かんたんに仮定> ◇ 光 ---持つ> 定速度,

[かつ] ◇ この速度 <is> 同じ /状況/ 全方向 □

[除き] この [仮説](#), it ---だろう> 不可能

/事/ \$ ---判断する> 光速度 /から/ 天文学的な観察

[as] [Ole Rømer](#) ---基づく> 木星の衛星の観測 □

ポアンカレ ---also 記す> ◇ 光速度の伝播 <習慣的に可能 (and 実際しばしば) ---\$

/事/ \$ ---決める> 同時性 /間/ 空間的に離れた事象 □

彼 ---結論> /理由/ \$ ---言う>,

◇ 2つの事象の同時性, <or> それらの継続順, 2つの持続時間の同等性

<そのように定義する---\$ ◇ 自然法則の表明---かもしれない>可能な限り単純なもの□

[すなわち], これらのルール of 全て, これらの定義 of 全て < 無意識の便宜主義の成果^[A 22] □

特殊相対性理論の歴史 04 ポアンカレ

1900 – <と同じように> 1895,

ポアンカレ ---論じる> ◇ 実験 <似た> マイケルソン-モーリーの実験 ---示す>

不可能性 of \$---調べる> 物質の絶対的な動き /or/ 物質の相対的な動き

/状況/ エーテルに対する関係 □

彼 ---呼ぶ> このこと <> 相対的運動の原理 [\[A.23\]](#) □

☆同じ年 彼 ---解釈する> ローレンツの局所時間

<as> 結果 of 同期化の手続き <基礎がある--- 光信号. □

彼 ---仮定> ◇ 二人の観測者 <> A and B,

◇ ---運動しているところ> /中/エーテル

---同調させる> 彼らの時計 /手段/ 光学的信号. □

[理由] 彼ら---信じる> 彼ら自身 <be> 静止

彼ら---must 熟考> only 伝達時間 of 信号

<and then> 相互関係の彼らの観察

/事/ \$---調べる> ◇whether 彼らの時計 <are> 同調 □

[しかしながら], /から/ 観測者の観点 <> 静止 /in エーテル

時計 <●> 同調 [and] ---示す> 局所時間 $t' = t - vx/c^2$. □

[しかし、なぜなら] 運動している観測者 ---●知る> 何も /about/ 彼らの運動

彼ら ---●認識> このこと □

[So], <contrary to> ローレンツ,

ポアンカレが定義した局所時間 <測定可能---\$ [and] <示す--- 時計.[\[B.4\]](#) □

/同じ研究で/ ポアンカレ ---認める>

◇ 電磁気エネルギー ---振舞う> 架空の流体のように

/伴う/ 質量 密度 of $m = E/c^2$ (or $E = mc^2$)

[and] ---決める> 架空の電磁気運動量 /もまた/. □

[しかしながら], 彼 ---到達する> 放射のパラドックス

◇ <完全に説明する--- アインシュタイン in 1905.[\[A 24\]](#)

1900 - [Wilhelm Wien](#) ---仮定>

([引き続き] 研究 of Thomson <and> [George Frederick Charles Searle](#))

◇ 完全な質量 <is> of 電磁気由来

[and] 式 /のための/ 質量-エネルギー関係 <is> $m = (4/3)E/c^2$. □

このこと <形式化--- 背景の状況

◇ 自然界の全ての力 <are> 電磁気の力 (電磁気界の観点). □

Wien ---主張> ◇

[if] it <仮定---◇ 重力 <is> 電磁効果 /too/,

[then] there ---あらねばならない> 比例関係

/between/ 電磁気エネルギー, 慣性質量 /and/ 重力質量.[\[A 25\]](#) □

1900 - [Emil Cohn](#) ---創造> 代わりの電気力学

/中/ ◇ 彼, <as> 最初の一人,

---捨てる> エーテルの存在 (少なくとも、以前の形式の状態での)

[and] ---would 使用>, <のように> [Ernst Mach](#),

固定された星 <as> 代わりの参照系[\[A 26\]](#) □

[のために] 内部にある失敗 (＜ような＞ 異なる光速度 / 状況 / 異なる方向)

彼の理論 (座を奪う) --- ローレンツの理論 and アインシュタインの理論 □

1901 - [Menyhért Palágyi](#) --- 提示 > 哲学的なモデル

[によれば] ◇ 時空 (were) 2つの側面のみ of ある種の時空. □

彼 --- 使う > 時間 (as) 架空の4番目の次元

◇ 彼 --- すでに与えた > 形式 it (where $i = \sqrt{-1}$). □

[しかしながら],

そこには --- 存在 > ● 関連 /between/ 彼の哲学 /and/ ローレンツの電気力学,

[なぜなら], <とは対照的に> ローレンツの局所時間,

Palágyi's 時間座標 (関係 ● --- 光速度. □

彼 --- also 拒絶 > 任意の関係

/with/ すでに存在している n 次元空間の構成物 /and/ 非ユークリッド幾何 □

(/特徴的に/, Palágyi --- 後に拒絶 > also 時空構造 of ミンコフスキーとアインシュタイン,

◇ (発達 --- \$ /状況/ 精神 of 非ユークリッド幾何). [\[A 27\]](#) □

1901-1903 - [ウォルター・カウフマン](#) (was) 最初 /事/ \$ --- 確認する > 質量の速度依存性 [\[A 28\]](#) □

1902 - マックス・アブラハム --- 提出する > 説明 /対する/ カウフマンの実験

[and] (引き続く) ローレンツ, 彼 --- 作り出す > 名前 (縦の質量 and 横の質量. □

(比較して) ローレンツ, 彼 --- ● 信じる > 収縮仮説

[and therefore] 彼の質量用語 (異なる) ローレンツのもの. □

カウフマンの実験 (were), [しかしながら],

(●) 価値がある /十分に/ \$ --- 区別する > /between/ ローレンツ理論 /and/ Abraham. □

[引き続き] ポアンカレ, Abraham ---導入> 概念 of 電磁気運動量

◇, /in/ <対照的に> ポアンカレ,

彼 ---考慮> <as> 現実の、物理学的に独立した存在

◇ <比例する> E/c^2 . [\[A 29\]\[A 30\]](#) □

1902 - ポアンカレ ---出版> 哲学的 /かつ/ 大衆的な、科学本

<「科学と仮説」

◇ ---含む> [#◇] [\[:\]\[A 31\]](#) □

#◇ 哲学的な評価 /関する/ 相対性 of 空間, 時間, and 同時性

#◇ 意見 ◇ 相対性原理の破棄 <can ●見破る---\$

#◇ エーテルが存在しないことがありうること

#◇ 非ユークリッド幾何に関する、多くの注意点

1904 -5 月 ローレンツ ---とても近くに来た> \$---創造> 電気力学のローレンツ-共変形式

([だけれども] 彼 ---●完全に継続する). □

[似て] Wien and Abraham,

彼 ---論じる> ◇ there ---存在する> only 電磁気質量, <not> 機械的な質量. □

他の重要な一歩 <was> 仮定

◇ ローレンツ変換 ---違くない> 有効 /対して/ 非電気のカ /もまた/. [\[A 32\]](#) □

1904 - Cohn, [に続いて] ローレンツの研究, (<似て> ポアンカレ)

---気づく> ◇ 局所時間 <was ● only> 数学的な構築物

<but was> 結果 of \$---同調させる> 運動する時計/手段/光信号. □

Cohn ---信じた> ◇ このこと <is only> 有効 /対して/ 光学現象,

<but> 機械的な時計 ---would 示す> 現実の時間.^[A 33] □

[Also] Abraham ---批判> ◇収縮された電子のローレンツ理論 <●共存> 世界の電磁気概念

[[<<] 非電気力 <必要---\$ /のために/ \$---保障> 物質の安定性 □

[->] 問題---生じる> /whether/ 世界の電磁気概念 (<互換> Abraham の理論)

/or/ 相対性原理 (<互換> ローレンツ理論)

<was> 正しい^[A 34] □

1904 - ☆9月の講義 @ [St. Louis](#),

ポアンカレ ---定義>

(/状態/ 修正 of ガリレオの相対性原理

<and> ローレンツの対応状態理論 Theorem of Corresponding States)

次の原理 <:> 相対性原理

<~によれば> ~◇ 法則 of 物理現象

<違わない> 同じ /対して/ 静止観測者

<~はというと> ~人 ---~に沿って (思想などを) 伝える>

/in/ 移動の一様な動き,

[それゆえ] 私たち ---持つ> ●意味

[and] ---can 持つ> ●, of \$---決める> /何であろうと/

私たち <are> <~に沿って (思想などを) 伝える---\$ /状態/ そのような動き." □

彼---also 特殊化する> 彼の時計の同調方法

[and] ---説明> 可能性 of 「新しい方法」 <or> 「新しい仕組み」

/状況/ ◇ ●速度 ---can 超える> 速度 of 光 /対して/ 全ての観測者 □

[しかしながら], 彼---批判的に書き留める>

◇ 相対性原理, ニュートンの作用反作用, [質量保存](#) /and/ [エネルギー保存](#)

<●完全に成立する---\$

[and] <脅かされさえする--- ある実験.^[A 35] □

1904 - [Friedrich Hasenöhr](#) ---示唆する>

◇ 部分 of 質量 of 物体

(L◇ 彼---呼ぶ> 明白な質量)

<can 考えられる of---\$ <as> 放射---弾んでいる> /周りで/ 空洞 □

明白な質量 of 放射 ---依存している> 温度

([なぜなら] あらゆる熱せられた物体 ---出す> 放射)

[and] <比例> そのエネルギー,

[and] 彼 ---最初に結論づける> その $m = (8/3)E/c^2$. □

[However] Abraham and Hasenöhr 自身 ☆1905

---変えた> 結果 /対象/ $m = (4/3)E/c^2$,

同じ値 /対する/ 電磁気質量 /対する/ 物体 /静止状態にある □

[However], Hasenöhr ---言う>

◇ このエネルギーと質量の明白な関係---only 保つ>

<~の限り>~ 物体 ---放射>,

[すなわち], [if] 物体の温度 <is> 絶対0度以上.^{[A 36][A 37]} □

1905 - 6月5日

[ヘンリ・ポアンカレ](#) ---提出> 研究の概要

L◇ ---打ち切る> 現在のギャップ of ローレンツの研究. []

(この短い論文 ---含む> さらに完全な研究の結果

L ◇ <出版---\$ ☆1906年1月). []

彼 ---示す> ◇ 電気力学のローレンツ方程式 <●完全に> ローレンツ共変. []

[so] 彼 ---指摘> 変換群の性質.

[and] 彼 ---正す> ローレンツ式

/対して/ 変換 of 電荷密度([charge density](#))

/and/ 電流密度([current density](#))

(L◇ ---暗に含む> 相対論的[速度加算式](#),

◇ 彼---さらに詳しく述べる> ☆5月 /中で/ ローレンツ宛の手紙). []

ポアンカレ ---使用> /対して/ 最初の時間 / 用語 ◇ 「ローレンツ変換」.

[and] 彼 ---与える> それら > 対称形式 ◇ <使用---\$ /今日/. []

彼 ---導入> 非電気の結合力 /理由/ \$---確かにする> 安定性 of 電子

[and] /理由/ \$---説明> 長さの収縮 []

彼 ---also 概要を構成する> 重力のローレンツ不変モデル (---含む> 重力波)

/手法/ \$---拡張> ローレンツ不変性の有効性 /対する/ 非電気力.[\[A 38\]](#) []