

相対性理論に対する批判

O. E. アキモフ

10. マイケルソン・モーリーの実験

日本語版について

- * 本訳書は，O.E. Акимов «Критика теории относительности / 10. Эксперимент Майкельсона – Морли» のロシア語原文からの全訳である。原文は <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es10.htm> で入手することができる。
- * 著者：オレーク・エヴゲニエヴィッチ・アキモフ（Олег Евгеньевич Акимов, Oleg Evgenievich Akimov）。著者および本論文の位置付けについては巻末の「著者紹介」を参照されたい。
- * 訳者：吉田 正友
- * 訳者のサイト：「物理の旅の道すがら」（<http://naturalscience.world.coocan.jp>）
- * 日本語版公開：2025 年 5 月
- * ベクトル量の矢印や太字による表示分けが原文においてなされていないため，訳文ではそれに従った。
- * 訳文中の角括弧 [] 内は訳注である（文献番号を除く）。
- * 訳文中の「物質*」については巻末の「訳注」を参照されたい。

目 次

第 I 節	2
第 II 節	10
第 III 節	20
第 IV 節	27
第 V 節	33
文献一覧	41
著者紹介	42
[訳注] 訳文中の「物質*」について	44

相対性理論に対する批判

O. E. アキモフ

10. マイケルソン・モーリーの実験

— 第I節 —

4 巻からなる科学アカデミー版『アルベルト・アインシュタイン科学論集』の出版の前年、すなわち 1964 年にソ連科学アカデミー幹部会是非公開の「相対性理論に対する批判の禁止に関する決定」を発令した。科学雑誌の編集者たちに対して、反相対論的な「異端」を含んでいる論文を検討のために受理してはならないという指令が下された。今日、我が国のアカデミーはかつての権威を失い、誰もがその異端尋問的な「決定」のことを忘れ去ってしまった。しかし反相対論者たち^{〔訳注〕}自身は、マイケルソン・モーリーの実験の解釈について合意できるような状態にはない。

一方、科学史研究者たちの大多数は、この実験が相対論的物理学の基礎を据えたという点では意見が一致している。この場合には、我々はためらうことなくその多数派に同調することができる。100 年以上前に起こったこの出来事は、今なお現代的である。アメリカの著名な物理学者で原子爆弾の父であるロバート・オッペンハイマーによれば、マイケルソン・モーリーの実験は「科学史上最も偉大な決定的実験の一つであった」[1] のに対し、イギリスの科学者 J. バナール [John Desmond Bernal] によれば、「科学史上の全ての否定的実験の中で最大のもの」であった [2]。

これは決して驚くべきことではない。なぜなら、特殊相対性理論は、この実験の結果に基づいて、より正確に言えば実験結果の欠如に基づいて創出されたからである。この実験の意義はいくら高く評価してもしすぎることはない。なぜなら、この実験は、光伝達媒質—エーテル—の存在を裏付けるはずであったからである。この実験の後、相対主義者たちはエーテル^{仮説}を棄却し、相対性理論を受け入れた。そして、「エーテル風」の不存在はまだエーテルの不存在を証明していなかったにもかかわらず、相対主義者たちは、科学的概念の「単純さ」と「美しさ」に関する独自の実証主義的理解から出発して、エーテルを放棄することを決定した。実証主義者たちは、「物質*」といった実体的概念は形而上学の遺物であると宣告した。

アルバート・エイブラハム・マイケルソン (1852—1931) とエドワード・ウィリアムズ・モーリー (1838—1923) がその有名な実験を行った場所はアメリカである。しかし、マイケルソンが「エーテル風」の問題に初めて興味を持ったのは、まだ 1880—1882 年、ヨーロッパの科学の中心地においてヘルムホルツ、レイリーおよびケルビン (W. トムソン) のもとで研修を受けていた時期であった。1881 年の実験は、アメリカの電話の発明者 A. ベルの資金提供を受けてベルリン大学で行われ、次に、ポツダム天文台の地下室に場所を移して行われた。しかし、その実験装置は精度が低く、高い振動感度を持っていた。アメリカで実験が行われた際、それらの欠点は完全には解消されていなかったが、しかし著しく軽減されていた。

第 2 シリーズの実験が行われたクリーブランドには、次のように書かれた記念碑がある。「1887 年 7 月、ここから遠くない場所で、ケース大学教授 A.A. マイケルソン博士およびウェスタン・リザーブ大学教授 E.W. モーリー博士が有名なマイケルソン・モーリーの実験を

〔訳注〕 本書では、“relativist”に相当するロシア語の用語は、「哲学上の相対主義（対語は絶対主義）の信奉者」と「アインシュタインの相対性理論の信奉者」という 2 つの意味で使われている。本訳書では、前者を「相対主義者」、後者を「相対論者」（対語は反相対論者）と訳し分けることにする。

行った。この実験は 19 世紀の傑出した科学的成果であり、現代物理学の礎石となった。この記念碑は、マイケルソン博士の生誕 100 周年の日にあたる 1952 年 12 月 9 日に上記の両教育機関によって建立された」[2]。

アルベルト・アインシュタイン自身は、この実験の結果には「相対性理論の存在自体が、あるいは反証が関係している」と述べている [3]。マイケルソンが出席していたカリフォルニア工科大学での祝賀晩餐会の席上において、アインシュタインはグラスを掲げ、次のように述べた。「私は、長年にわたって私の誠実な友人であり続け、私の研究において私とともに道を歩んでこられた方々のところに参りました。尊敬するマイケルソン博士、あなたがこの研究を始められたのは、私が身長 3 フィートにも満たないまだ幼い少年であった頃のことでした。物理学者たちに新たな道を示し、その素晴らしい実験的研究によって相対性理論の発展の道を切り開いたのは、あなたでした。あなたは当時存在していたエーテル理論に回復不能なほどのダメージを与え、ローレンツとフィッツジェラルドの着想の出現を促進したのでした。それより後、それらの着想から発展したのが特殊相対性理論でした」[4]。

当時既に不治の病にかかっていたこの偉大な実験家にとって（マイケルソンはそれから 4 か月後に死んだ）、自分が「エーテル理論に回復不能なほどのダメージを与えた」と聞いて喜んだということは、まずあり得ない。彼はその生涯の最後までエーテルの存在を固く信じ、アインシュタインの相対性理論を受け入れなかった。

1931 年 7 月 17 日にベルリンで開催された追悼講演会で、アインシュタインは再びこう述べている。「相対性理論の正しさが認められるのに著しく貢献したのは、まさにこの否定的な発見でした」[4]。それより前の 1922 年 12 月 14 日、日本の京都大学で開催された「私はいかにして相対性理論を創出したか」と題する公開講演会で、彼はこう回想している。「私はまだ学生の頃、マイケルソンの実験の説明不可能な結果を知り、我々が地球はエーテルに対して運動しているなどとみなしているのは、実験はそれを裏付けていないのだから、おそらく間違いだという結論に直観的に至ったのでした。要するに、私はこうして、今日特殊相対性理論と呼ばれているものに到達したのです。(略) 当時、私が知っていたのはローレンツの 1895 年のモノグラフだけでした。彼はこのモノグラフで、一次近似においては、言い換えると、光速度に対する運動物体の速度の比の 2 乗より高次の項を考慮しない場合には、電気力学の問題に対して完全な回答を与えることに成功していました。このこととの関連で、私はフィゾーの実験にも注意を払いました (略)」[4]。それより少し前にマイケルソンが再試行したフィゾーの実験が、干渉計を構築するという着想にマイケルソンを導いたこと、そしてローレンツの 1895 年の論文では、1881 年および 1887 年の実験が失敗に終わった原因が考察されていたことを思い出そう。

アインシュタインが 1905 年の最初の論文で「“光伝達媒質” に対する地球の運動を検出しようとした、失敗に終わった試み」[5] に言及していることに留意する必要がある。その「試み」が、マイケルソンによって行われた実験を意味していることは明らかである。この論文の分析は、著者が、長さおよび時間の相対性に関する全ての考察をマイケルソン干渉計中における光ビームの進行スキームから出発して構築していることを示している。この論文には、実験スキームに厳密に従い、水平方向における速度の古典的な和($c + v$)および差($c - v$)、ならびに垂直方向における値($c^2 - v^2$)^{1/2}が記載されている。

マイケルソンがまだ存命の頃、アメリカの物理学者デイトン・クラレンス・ミラー [Dayton Clarence Miller] (1866–1941) が世界媒質の検出実験を開始した。1905–1906 年、彼はモーリーとともに海拔 260 m の高度で一連の実験を行った。光路長 65.3 m の干渉計が用いられた。予想されていたとおり、この干渉計は干渉縞の 1.1 のシフトを与えることができた。ミラーはこの干渉計で 3 km/s に相当する肯定的結果を得た。これは地球の実際の軌道速度の 10 分の 1 であった。1920 年代初頭には、実験は既にミラー単独で、より大きい

高度で（飛行船を用いて 1860 m までの高度で）継続して行われていた。しかし、ミラーが最終的に 1933 年の長大な論文にまとめ上げた彼が得た結果は、エーテルに対する地球の速度として 11 km/s 以下の速度を与えていた。

大部分の物理学者は、ミラーは先入観を持って研究していた、すなわち肯定的結果を得ることをあまりにも強く狙いすぎていたという見解を持っている。このことが彼の実験の純粋性に影響を及ぼした。すなわち、大量の数値を処理する際、彼は多数の統計的過誤を犯し、また、初期データを歪曲するいくつかの要因を考慮に入れていなかったと主張されている。特に、彼の機器は、機器を温度振動から保護することが可能な信頼性のあるカバーを備えていなかった。その後、より改良された技術を用いた他の実験が行われた。しかし、それらはマイケルソン・モーリーの実験から下された結論を裏付けた。1887 年の実験から得られる結論はただ一つ、**エーテル風は存在しない**ということである。我々もこの否定的結果に従う。他の実験を分析することには大きな意味はない。なぜなら、それらの実験は、原理的に、マイケルソン干渉計で再現された**相殺スキーム**（これに関する詳細は後述）の繰り返しになっているからである。

130 年以上が経過したにもかかわらず、この **experimentum crucis**（決定実験）は今なお現代物理学の基礎をなしており、しかも、記念碑に記されているように、その礎石となっている。実は、これとは反対の意見、特にジェラルド・ホルトンの意見も存在する。彼は、マイケルソン・モーリーの実験が相対性理論の開発に与えた影響は間接的であったと主張している。彼はその証拠として、アインシュタインの晩年における発言を引用している。それらの発言は、上記において引用したものとは大きく食い違っている。ホルトンは、アインシュタインの 1950 年代の手紙やインタビューからの抜粋を引用している。

1 番目の引用：「私がアインシュタインに、マイケルソン・モーリーの実験についてどのようにして知ったのかと尋ねたとき、彼は、この実験についてはローレンの論文で読んだことはあったが、これに初めて注目したのは 1905 年より後（！）だったと答えた。“もし注目していたなら、私は自分の論文でそれについて言及していたでしょう”と彼は言った。彼はまた、様々な実験結果の中で彼に最も大きな影響を与えたのは、恒星の光行差の観測と、水流中における光速度の測定に関するフィゾーの実験だったとも述べた。“それだけで十分でした”と彼は言った」（1950 年 2 月 4 日）

2 番目の引用：「私はアインシュタイン教授に、マイケルソンと彼の実験について初めて聞いたのはいつのことかと質問した。教授はこう答えた。“私がマイケルソンの実験について初めて聞いたのはいつかを言うのは難しい。私は相対性理論で生きていたあの 7 年の間、その実験からの直接的な影響を感じたことはありません。おそらく、私はただ単に、その実験結果を自明のこととみなしていたのでしょう”。ところが、アインシュタインは、自分が 1905 年から 1909 年までの期間、マイケルソンが得た結果について沢山のことを考え、それについてローレンツらと議論し、一般相対性理論について熟考していたことに気付いた。彼は次に、自分はローレンツの論文を読んでいたのだから、既に 1905 年以前にマイケルソンの結果を知っていたのだということ、しかし基本的には、ただ単に、その結果は正しいと思っていただけだったということを理解した」（1952 年 10 月 24 日）。

3 番目の引用：「マイケルソン・モーリーの決定実験が私に与えた影響はかなり間接的なものだった。私がその実験について知ったのは、特殊相対性理論の開発開始以前に読んだ、運動物体の電気力学をテーマとする H.A.ローレンツの論文（1895）からだった。静止エーテルの存在に関するローレンツの基本前提は、それ自体が説得力を欠いているだけでなく、マイケルソン・モーリーの実験結果に対する私には人為的に思われる解釈をもたらしているという理由により、論拠薄弱であるように私には思われた」（1952 年 12 月）。

4番目の引用：「私が自分の理論を発展させつつあったとき、マイケルソンの結果は私に顕著な影響を与えなかった。私が自分の最初の論文を書いていたとき、そもそも自分がその結果について知っていたかどうかすら、私は思い出すことができない」（1954年2月2日）[6]。

彼は知っていた、しかも、非常によく知っていたのだ！ アインシュタインの親友であり、協力者であり、アインシュタインの伝記作家であるアブラハム・パイスは次のように書いている。「アインシュタインが1901年にヴィンタートゥール[スイスの都市]からグロスマン[Marcel Grossmann]宛てに書いた手紙から、エーテル風検出実験が依然としてアインシュタインの頭から離れていなかったことが分かる。“エーテルに対する物質の運動を決定するための、はるかに単純な新しい方法が僕の頭に浮かんできた。ああ、無慈悲な運命が、僕に、この構想を実現することを可能にしてくれたらいいんだが！”」。パイスはそれに続けてこう書いている。「アインシュタインがこの手紙で[前置きを抜きにして]直ちに本題に入っていることから判断すると、グロスマンは、アインシュタインがそれ以前に彼らが工科大学でともに学んでいた頃に提案した別の方法について、既に何かを知っていたのではないかという印象が生まれてくる。この手紙からは、アインシュタインは1901年までエーテルの存在を信じていたことも分かる」[4]。

アインシュタインの義理の息子で、1924年にアインシュタインの継娘イルゼと結婚したルドルフ・カイザーは、1930年にアントン・ライザーという偽名で相対性理論の創始者である義父の『英雄の伝記』を出版した。この本は、上記で引用したアインシュタインの発言を否定している。一方、パイスは次のように推測している。「アインシュタインの義理の息子で伝記作家のルドルフ・カイザーは物理学者ではなかったのだから、カイザーの本から下記に引用する一節は、アインシュタイン自身によって書かれたものであると推測するのが論理的である」。

問題は、カイザーは物理学者ではなかったということだけではない。ここでは、それとは別の問いが立てられなければならない。義理の息子は、義父が学生時代に何に取り組んでいたかを、本人から聞いたのでなかったのだとしたら、いったいどこから知ったのであろうか。義理の息子が義父について書いたこと、より正確にはアインシュタインがアインシュタインについて述べたことを聞いてみよう。「彼が光、エーテルおよび地球の運動に関する問題に遭遇したのは、既に大学2年次[1897-1898]のときであった。アインシュタインはこの問題について考え続け、エーテルに対する地球の運動の特性を正確に測定することを可能にするような装置を構築したいと思っていた。当時、彼は他の科学者たちがそれと同様の目論見を持っていることを知らなかった。当時、彼はまだ、オランダの偉大な科学者ヘンドリック・ローレンツの浩瀚な著作にも、後に有名になるマイケルソンの実験にも精通していなかった。彼は、経験的なやり方で前進したいと考え、自分が考案した装置が問題の解決に役立つだろうとみなしていた。彼は、その問題がもたらす広範囲の影響を既に予見していたのである。しかし、彼はそのような装置を創出することに成功しなかった。教師たちはそれに対してきわめて懐疑的な態度を取っていた。また彼自身も、それに必要とされる実務的手腕を持っていなかった。それゆえ、アルベルトは自分の企ての実行を延期した。ただし、彼はそれを放棄したわけではない。彼は依然として、将来、観察と実験によって物理学の諸問題を解決できるようになることを望んでいた」[4]。

1931年、アインシュタインは自分の義理の息子の偽造について次のように述べている。「私の意見では、ライザーの本はこれまで書かれた私の伝記の中で最良のものだ。これは、私のことを個人的によく知っている人間の筆によるものだ」[4]。その後、アインシュタイン自身によってでっち上げられたこの伝記を手本にして、この「天才」物理学者の伝記が何千冊も書かれた。それらの伝記では、この抜け目のない山師に関するあからさまな嘘が大河のように流れている。カイザー・ライザーの本では、ミレヴァ・マリッチの名前はこ

の山師の最初の結婚との関連でわずか一回しか言及されていないと言えは十分だろう。他の著者たちによって書かれた伝記においても、彼女について語られている分量はそれと同程度である。ところで、アインシュタインの生涯と業績に関する最近の研究は、彼の最初の妻の博士論文が相対性理論に関する 1905 年の論文の基礎をなしていたことを証明している。

「最も偉大な物理学者」はしばしば謙虚さの模範として描き出されているが、しかし我々はここに、1930 年代にも 1950 年代にもマイケルソンと栄光を分かち合いたがらなかった極度に虚栄心の強い人物をはっきりと見て取ることができる。彼は、相対性理論の創出におけるマイケルソンの実験について彼に質問したジャーナリストたちをいけしゃあしゃあと欺いた。まるでアインシュタインは超越瞑想によって何もない所からその成果を創出したかのような印象が生み出された。義理の息子を含め、誰もがこの科学者の驚くほど洞察力のある頭脳について語った。とはいえ、当時ベルリンで発行されていた影響力のある定期刊行雑誌の編集長であったルドルフ・カイザーも騙されていた可能性がきわめて高い。相対論の教義の創始者は、精神分析学の教義の創始者と同様に、自分自身の伝説をきわめて首尾よくでっち上げたため、近親者の誰一人として、実際の出来事がすりかえられているなどと考えもしなかった。アインシュタインとフロイトの 2 人の山師は、自分たちについて、何百万もの信じやすい人々が単純に信じたがるようなほら話を作り出した。その後、個人崇拜に利害関係を持っている科学界の政治集団〔political-scientific groups に相当するロシア語の仮訳〕が、「20 世紀の大人物」に関する正確な情報を機密扱いに指定した。今日では沢山のことが曝露されている。アインシュタインがかつて自分自身について語っていたことと、彼について実際に知られていることとを比較してみたら面白いだろう。しかし、今の我々にとっての目標はそのようなことではない。

いわゆる「主題分析」の支持者であるホルトンが次のように書いたとき、彼は嘘偽りではなく、純粋に勘違いしていたのだと信じたい。「(略) アインシュタインの創造活動の解明との関連で私が取り組まなければならなかった諸文書は、アインシュタインによる相対性理論の最初の定式化との関連におけるマイケルソンの実験の役割を見直すことを私に余儀なくさせた。初めのうち、この実験はアインシュタイン理論の創出に対する最も重要な刺激の一つと予想されていたのに対し、この問題に触れている事実上全ての物理学のテキストが与えている事象の継起についての伝統的な説明や記述とは違って、この実験の役割は間接的なものであり、それほど重要な意義を持っていなかったことが今では判明している」〔7〕。

現在我々が理解しているように、この有名なアメリカの科学史家はアインシュタインの晩年の発言のみに基づいてその結論を構築したわけであるが、上記の理由により、それらの発言を信頼してはならない。しかしここでは、前世紀半ばから勢いを増し始めたそれとは別の投機的傾向を忘れてはならない。哲学的相対主義者たちは、実験データのみから出発して基本理論を構築する可能性に対して批判的な態度を取り始めた。彼らは、経験を一切考慮せずに選択された、純粋に理論的なある種の土台を最重要視した。アインシュタインもまた、新スコラ哲学のイデオログとして、マイケルソン・モーリーの実験を含め、具体的な実験は世界認識において大きな役割を果たさないとみなし、現実と決別し始めた。アインシュタインの死後、「そもそもこの実験は行われるべきではなかった」〔8〕、「教科書ではマイケルソン・モーリーの実験が不当に優遇されている」〔9〕とみなす多数の科学者が現れた。彼らは、物理学はいずれにしても、最高級の相対論的哲学によってあらかじめ定められた道に沿って発展していくであろうと語っていた。

事象に対するこの見方は絶対的に間違っている。そのとおりだ、マイケルソン・モーリーの実験は必要なかった。そのとおりだ、教科書ではこの実験にあまりにも大きな注意が払われている。しかし、その理由は、相対論的教義が何か自明なものであるからではなく、

また、これが何らかの経験的裏付けを必要としていないからでもない。逆に、この教義は、誤って設定されたこの実験のおかげで破綻せずに済んでいるにすぎないのである。マイケルソン・モーリーの実験結果を古典物理学の観点から説明すれば、すなわち、相対性理論の土台からその「礎石」を叩き出せば、現代物理学の建物全体が一瞬のうちに崩壊するのを見ることができる。

いかなる批判にも耐えられないこの主要実験の説明が中等教育および高等教育の教科書に今に至るまで掲載されているのは、まさにこの理由による。正統派の相対論者たちは、現実から遊離した自分の仲間たちの論拠にも、また、古典光学に立脚し、観測される干渉像に対する完全に明晰な解釈を提案していた分別ある構成主義者たちの論拠にも耳を傾けようとせず、死に物狂いでこの実験にしがみついた。ところで、この実験の主要な提唱者であり実施者であるマイケルソンは、この生涯にわたる事業を自らの個人的悲劇とみなしていた。彼は、「その人生最後の日まで相対性理論を信じず、あるとき、私は自分の仕事がこの怪物の出現を促したかもしれないことを後悔しているとアインシュタインに語ったことさえあった」[7]。

マイケルソンはエーテル仮説を放棄することができなかった。彼はこう書いている。「エーテルの存在は理論[相対性理論]と両立し得ないと思われる。静止エーテルは絶対運動の測定の可能性を許容するはずである。しかし、媒質なしでの光波の伝播をどうやって説明するのか？電磁理論によれば、電磁擾乱の移動速度は、誘電率と透磁率の積の平方根の逆数に等しい。その値は媒質の性質なのである。媒質が存在しないとした場合、基本的仮定（少なくとも、特殊相対性理論の基本的仮定）である伝播速度不変をどうやって説明するのか？

これらの見解を排除するために、棄却されていた粒子説の復活、力線に沿った伝播など、いくつかの試みがなされた。それらの説は、それによって説明されたことより多くの困難をもたらしただけでなく、伝播速度不変を説明する能力をまったく持っていなかった。相対性理論を媒質の存在と両立させること、もしくは相対性理論を修正すること、または最後に、これがより可能性が高いのだが、所要の性質をエーテルに帰することに成功することに期待しなければならない」[10]。

この一節において、マイケルソンは、特殊相対性理論による光の「伝播速度不変」を、「**光速度は、光源が運動しているか静止しているかに依存しない**」という第2公準の最初の(1905年の)定式化という意味で理解している。それより後に、この公準には**受光器**も含まれた。このすり替えについては既に何度も語られているが、さらにもう一度ここで注意喚起しておいても悪くはなかろう。この偉大な実験家は晩年に至ってもなお、実験が肯定的な結果をもたらすことに期待を抱いていた。「(略)実験結果は否定的であることが判明した。そしてこのことは、理論自体の中に、まだ何らかの不完全さや曖昧さが含まれていることを示していた可能性がある」[11]。

そのとおりだったのだ。マイケルソンは光の波動性を考慮しておらず、その考察では点状物体を用いていたが、点状物体は、光の干渉計中で進行する波動過程のモデルとなることはできなかった。彼は何とかして心を落ち着かせ、自分は有用な装置を発明したのだと、世間に対して自分の正しさを弁明しようと試みた。「この実験は、私にとって歴史的に興味深いものである。なぜなら、干渉計は、まさにこの指定された課題を解決するために[エーテル風を検出するために]発明されたものであるからである。我々によって行われた研究は、干渉計の発明をもたらしたことにより、実験の否定的な結果に対する報酬を我々に十分に与えてくれたということに、おそらく誰もが同意することであろう」[11]。

実験の実施スキームにおける誤りを解明するためには、マイケルソンの思考過程全体を

提示する必要がある。彼はその著書『光波とその応用』において、彼に実験装置のスキームを思い付かせた単純な力学的類推について語っている。マイケルソンはこう書いている。「ボートの漕ぎ手が、最初は静かな湖で、次に川で漕ぐところを想像してみよう。彼が例えば毎時 6 km の速度で進み、船着場と船着場の間の距離が 18 km であるとする、この距離を通過するのに 3 時間、元に戻るのに 3 時間、すなわち合計 6 時間かかる。ただし、これが正しいのは、水に流れがない場合に限られる。しかし、水に流れがあり、その速度が例えば毎時 1 km の場合には、その距離全体を流れに沿って通過するのに必要な時間は $18 \div 6$ ではなく $18 \div (6 + 1.5)$ 、すなわち 2.4 時間となる。復路に必要な時間、すなわち流れに逆らって進むのに必要な時間は $18 \div (6 - 1.5)$ 、すなわち 4 時間となり、最初の区間と合わせると、前の場合の 6 時間ではなく、6.4 時間となる」[11 他]。

それより後、漕ぎ手とのこの類推は他の著者たちによって繰り返され、彼らもまた、この類推をマイケルソン・モーリーの実験を説明するための完璧な類推とみなしていた。例えばマイケルソンの伝記作者であり、アインシュタインの友人でもあったバーナード・ヤッフェ（ちなみに、アインシュタインはヤッフェに宛てた手紙で、この実験が「特殊相対性理論の原理の正しさに対する私の確信を強めた」と書いている）は、その著書『マイケルソンと光速度』でそれと正確に同じ力学的類推を再現している（ただし、その類推をマイケルソンより簡潔に、彼とは別の数字を使って叙述している）。それを丸ごと引用しよう。

「2 人の漕ぎ手は、静水中では同一の速度 1.5 m/s でボートを漕ぐ。彼らが漕ぐ川の水は速度 1.2 m/s で運動しており、川幅は 27 m である。1 番目の漕ぎ手はボートで流れに沿って 27 m 下流まで進み、次に元に戻る。彼は下流に向かうときは速度 2.7 m/s で運動するが、復路では彼の速度はわずか 0.3 m/s である。したがって、全行程を進む間に、彼においては次の時間が経過する：

$$27/2.7 + 27/0.3 = 100 \text{ s.}$$

流れを横切って進む 2 番目の漕ぎ手の移動速度は、直角 3 角形の直角を挟む 2 辺のうちの一方で表すことができる。水の運動速度 1.2 m/s は他方の辺で、また漕ぎ手が静水中を移動する速度 1.5 m/s は斜辺で表すことができる。これより次式が得られる：

$$1.5^2 = 1.2^2 + v^2, \quad v = 0.9 \text{ m/s}; \quad t = 27/0.9 = 30 \text{ s.}$$

2 番目の漕ぎ手は経路を往復するために、100 秒ではなく、60 秒を費やすことになる。マイケルソンは、この単純な類推を用いて、エーテルは、光が地球の運動方向に対して直角に伝播している場合は光をより小さく減速させ、光が空間中を地球と同じ方向に運動している場合は光をより大きく減速させることになるという結論を下した」[2]。

この漕ぎ手たちの例を、干渉計のアームに沿って伝播する光ビームに直接的に転用することは許されない。マイケルソンは干渉を観測していたわけであるが、干渉が必要としていたのは、エーテル媒質中において生じる、他ならぬ波動過程の分析であった。その思考実験において水面を用いていたマイケルが分析する必要があったのは、ボートという形での物理的物体の運動ではなく、波の動力学であった。空間中における漕ぎ手の移動は、[類推において] さらに受波器の運動も真似ることが可能であるが、しかし、受波器の運動は波源の同時運動を考慮することができない。

マイケルソンは、漕ぎ手が乗っているボートの 4 つの区間における通過時間（流れに沿って進む区間 (t_1)、流れに逆らって進む区間 (t_2)、往路の流れを横切って進む区間 (t_3) および復路の流れを横切って進む区間 (t_4)) のみから出発して位相差を計算した。彼は次に、流れに沿った区間で費やされた時間と、流れを横切る区間で費やされた時間との間の

差を取った： $\Delta t = t_1 + t_2 - t_3 - t_4$ 。以上、計算終わり！ 干渉計中の光ビームの場合にも、これと正確に同じ計算方法が採用されていた。

見てのとおり、マイケルソンはドップラー効果（縦方向成分）および収差効果（横方向成分）について一言も述べなかった。これは容易に理解できる。なぜなら、点状物体（漕ぎ手が乗っているボート）は、これらの効果の存在という考えを彼に起こさせることができなかったからである。しかし、もし彼がこれらの効果を考慮していたならば、彼の方法によって計算された位相差はこれら 2 つの効果によって完全に相殺されることを、彼は即座に理解したはずである。

実は、マイケルソンは、受光器が運動し、光源が（エーテルに対して）静止しているときの光路差を計算していたのである。干渉計中における光路を図示しなくても、光源と受光器が同時に運動するとき、波長は変化しないことが容易に理解できる。したがって、水平波と垂直波の干渉像もまた、干渉計が地球の移動速度ベクトルに対していかなる姿勢を取っていても、変化しないことになる。

1895 年にその実験の結果および計算を分析したローレンツは次のように書いている。

「マイケルソンが理論によって予想される位相差の変化の 2 倍の値を計算に入れたのは、まさに見落としの結果であった。この誤差を修正すれば、さらに観測誤差によってちょうどカバーされることのできるシフトが得られる [12]。実際、マイケルソンはその最初の論文で算術上の誤りを犯した。ローレンツはその誤りに気付いたわけだが、しかし彼自身は、それよりはるかに根本的な自分の物理学的誤りを見落としていた。有名な理論家は、有名な実験家と同様に、光の波動性を考慮していなかったのである。

それよりずっと後、ローレンツは 1913 年 10 月 22 日に「物理学の新方向」と題して行われた講演において、マイケルソンの実験の核心を説明するため、再び点状物体に助けを求めた。彼は聴衆にこう語った。「2 人の人が数メートルの距離の所にいて、彼らの犬が一定の速度で一方の人から他方の人の所まで走って行き、元に戻って来なければならないとしましょう。犬が費やした時間を計算しましょう。次に、2 人が同じ距離を保ちながら、一方が他方の後について、もちろん犬より小さい速度でより遠くへ進んで行くとしましょう。このとき、犬は再び 2 人の間を走って往復します。今回、犬は前回より多くの時間を必要とします。そして最後に、3 番目の場合について検討しましょう。2 人は前回と同じ速度で、同じ距離を保って運動しますが、このとき、2 人を結ぶ線は運動方向に対して垂直です。つまり、彼らは道路の別々の側を運動するとしましょう。犬は再び一方の歩行者から他方の歩行者まで走らなければなりません、ただし、決していわゆる追跡線に沿って走ってはならず、必ず直線に沿って走らなければなりません。今回も 1 番目の場合におけるより多くの時間が費やされることはまったく明らかです。なぜなら、犬は斜めの角度の経路を走らなければならないからです。しかし、第 3 の場合における時間間隔は 2 番目の場合におけるより若干短いことが判明します」 [12]。

犬がどんな走り方をしようと、犬は、干渉計中で生じている波動過程を説明する例となることはできなかった。犬やボートは、光学現象をそこへ射影することができるような物体ではない。このように、ローレンツはマイケルソンと同様に、干渉計が静止エーテル中を通過して運動するときにおける波の経路をまったく理解していなかった。科学における 2 人の権威はきわめて大きかったため、彼らの正しさを疑うような勇敢な人間は当時は存在しなかった。しかも当時の物理学における状況全体は、古典物理学における問題解決の探求を促すようなものではなかった。マイケルソンとローレンツによる実験の不正確な解釈は、新興相対論者階級 [emerging class of relativists] によって運命からの贈り物として受け止められた。

— 第II節 —

マイケルソン干渉計の細部を分析する前に、干渉計を上から眺め、光行差の効果に対する過小評価が何をもたらすかを理解してみよう。

図1の左側には、光ビームの全経路が示されている。図1の右側には、現代科学で受け入れられている簡略化されたスキームが描かれている。左図には装置の正方形の基部が見られる。基部上には、光源、ビームを何度も反射させるミラー系および干渉像を観測するための光学機器（マイケルソンはこれを「望遠鏡」と呼んでいた）が固定されている。ミラー系は、干渉するビームの光路を拡大するために必要とされる。ただし、ミラーは原理的意味を持っていない。鏡の数はもっと多くても少なくてもよい。

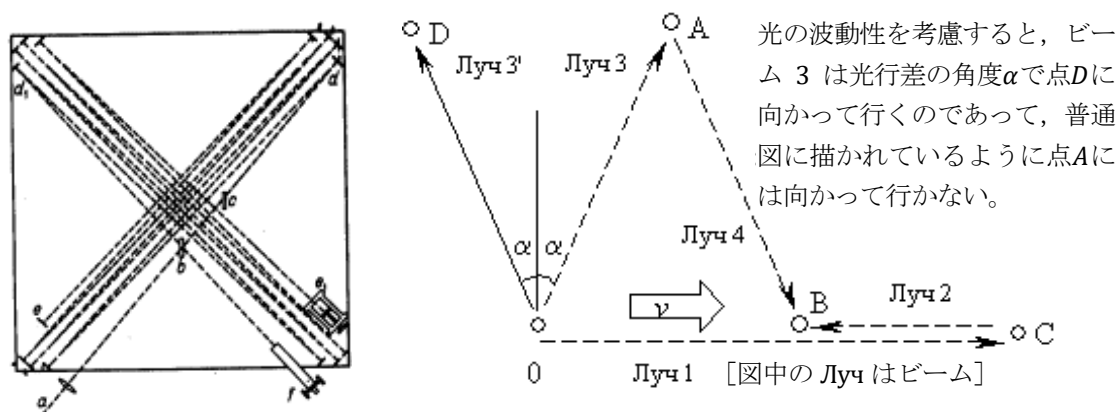


図1. マイケルソン干渉計中の光ビームの経路. 右図において、光源0から出たビーム1は地球の運動方向に伝播する。ビーム2はミラーCから反射したビーム1である。ミラーAから反射したビーム3はビーム4となる。マイケルソンが気付いたように、ビーム1-2が通過した光路はビーム3-4が通過した光路と等しくない。したがって、点Bで出会ったとき、それらのビームは干渉縞を与える。干渉縞の間の距離は光路1-2と光路3-4の差に比例している。マイケルソン・モーリーの実験については、角度 α が事実上光行差の角度となっている。光行差効果は、光源または受光器の運動に依存したあれこれの側への光ビームの「ドリフト」効果と同一視されている。残念ながら、ビーム3の偏向の符号の選択時に間違いが犯されていた。すなわち、このダイアグラムにおいてはビーム3は右側へ偏向しているが、実際には、ビーム3は左側へ偏向しなければならないのである（ビーム3'）。

学校用教科書では、光行差は、走行中の自動車のサイドガラス上に雨が残す斜めの水流によって説明されている。それらの水流は車の運動ベクトルの方向と鋭角を形成している。自分が実際に道路を走行している車の内部に座しているところを想像していただきたい。車のキャビンのサイドガラス上の雨滴は斜線を描いている。なぜなら、速度の3角形が形成されているからである：直角3角形の直角を挟む水平方向の辺 v_1 は車の速度であり、垂直方向の辺 v_2 は雨滴の上方から下方への運動速度である。この場合、この3角形の斜辺はこれら2つの速度のベクトル和である。光行差効果はこのようにして発現する。

天文学者たちはこの現象に従い、星を観測するとき、望遠鏡を地球の運動方向に基づいてわずかに方向転換させる。さもないと、望遠鏡の対物レンズに入った波面の一部が接眼レンズに到達しなくなる。このとき、光行差の大きさは夜空の星の位置に依存している。我々の頭上の真上にある星は1年間を通じて正円を描き、その光行差による偏向の角半径

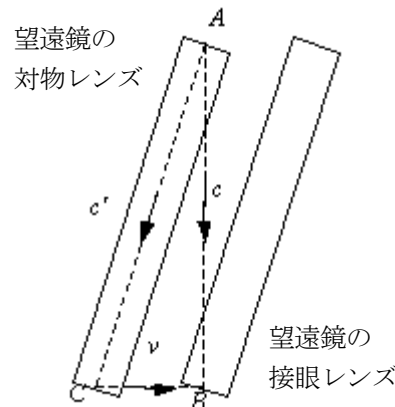


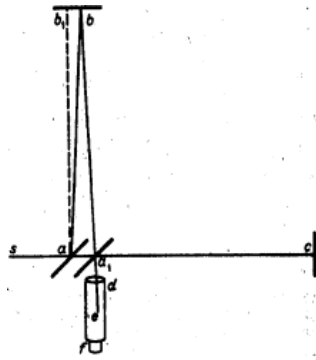
図 2. 光行差効果の核心. それへ方向が地球の公転軌道面に対して直角をなしている星は、地球の運動方向に対し角度 $\alpha = 20.45''$ だけずれていることが分かる。したがって、望遠鏡の鏡筒は垂直方向に対して角度 α だけ傾けられなければならない。光行差効果は、点Aの望遠鏡の対物レンズに入った光ビームは、それを地球上の観測者が見ることができるようにするためには、点Bの接眼レンズに到達しなければならないという事実によって説明される。傾斜角 α は 2 つの速度—光速 c と公転軌道上における地球の速度 v —のベクトル和によって決定される。それゆえ、鏡筒の内部の線分AC上における光速 (c') はピタゴラスの公式によって、すなわち速度合成の古典的公式 $(c^2 - v^2)^{1/2}$ によって決定される（この説明は、私が以前に書いた論文「相対性理論に反対する主な論拠 (Главный аргумент против теории относительности)」から借用したものである)。

は $\alpha = 20.45''$ である。天頂からある程度の角距離の所に位置している星は楕円を描く。地平線上にある星、すなわち黄道面（地球の公転軌道面）上にある星はそれと同じ偏向角 $\pm\alpha$ で直線に沿って振動運動をする。

本論文の第I節では、マイケルソン・モーリーの実験の正しい理解は光の波動性を検討することによって得られるということが何度も強調されていたが、これは実際そのとおりである。ただし、光行差現象は点状物体を例とした場合にも観察することができることも覚えておく必要がある。光行差の第一発見者である J.ブラッドリーはニュートンの光学理論に従い、光を粒子の形で表現していたことを忘れてはならない。

さて、望遠鏡あるいは自動車の例においては、運動しているのは**受光器**である。もう一度述べるが、星からの光ビームあるいは雨滴は下方へ垂直に落ちていくのであるから、受光器の運動によって鋭角 α が形成され、その角度は法線から、**受光器の運動方向の側へ**離れていく。では、**光源**が運動している場合には、何が生じるのであろうか？ 車体に噴水が取り付けられていて、その噴流は上方垂直方向を向いていると想像していただきたい。車が走行すると、当然、その噴流は前方に偏向する。したがって、光源が運動するとき、光行差角 α は、法線から、光源の移動速度ベクトルとは**反対方向の側へ**離れていく必要がある。

したがって、図1において、光源0から出たビーム1は点Aに向かう方向ではなく、点Dに向かう方向へ進み始める。マイケルソンは間違っていた。彼の頭の中には、2隻のボートの一方が流れに沿って運動し、他方が流れを横切って運動している川の光景が浮かんでいた。彼は、他ならぬこの光景の場合について装置中におけるビームの進行時間を計算し、位相差を得ていたのである。しかし、彼の図面の欠陥、したがってまた計算の欠陥はこれだけではない。



外観的には、論文[14]から引用したマイケルソンの干渉計中における光ビームの進行スキーム（左図参照）は、そこでは全ての反射角が入射角と等しくなっている幾何光学の図面を思わせる。しかし、光行差が存在する場合には、この法則は破れる。ハーフミラーに角度 45° で入射するビームは、もはやこれと同じ角度ではなく、それとは異なる角度 $45^\circ + \alpha$ で反射する。したがって、光源、受光器およびミラー系が高速移動する場合には、**定常的な場合にのみ妥当する幾何光学の法則**を利用することはもはやできない。

運動系中においては、「光路」の概念は変化する。この場合には、静止した光源および受光センサーの光学においては考慮されていない、光行差効果およびドップラー効果を考慮する必要がある。干渉計中におけるビームの進行の伝統的スキームは、干渉像の要因をなしている位相差の計算には適していない。このスキームは、川の流れによってボートが流されるというマイケルソンの例から直接取られたものである。ビームの場合には、状況はそれとはまったく異なっている。光ビームは静止したエーテル媒質中を伝播しているのであって、運動しているのは光振動の振動源および受振器の方である。

干渉計の細部および実験のスキームについて掘り下げて検討する前に、実験の前夜に何が起きていたかを見てみよう。この目的により、1887年の実験の結果について書かれたマイケルソンとモーリーの論文の一部を引用しよう。

「フレネルによれば—と著者らは書いている—、波動理論においては、第1に、エーテルは、透過媒質の内部を除き、静止状態にあると予想されている。第2に、エーテルは、透過媒質中では比 $(n^2 - 1)/n^2$ (n は屈折率)に従って媒質の速度より小さい速度で運動しているとみなされている。これら2つの仮説は、光行差に対する完全な満足すべき説明を与えている。2番目の仮説は、一見したところ嘘のように見えるにもかかわらず、第1にフィゾーの見事な実験によって、そして第2に我々自身の研究によって完全に証明済みであるとみなされなければならない。本論文の目的は、1番目の仮説の実験的検証である。

もし地球が透過体であるとすれば、上記の2つの実験を考慮することにより、地球が軌道に沿って運動しているにもかかわらず、分子間エーテルは空間中で静止していると仮定することがおそらく可能であろう。しかし、我々はこれらの実験から得た結論を非透過体に拡大適用する権利を持っていない。しかし、エーテルが金属を通過することができること、そして現に通過していることを疑う余地はない。ローレンツはその例として水銀気圧計の管を挙げている。管が傾けられると、エーテルは非圧縮性であるので、水銀の上方の空間中に存在するエーテルは必ず外部に押し出される。しかし、我々はここでも再び、エーテルは完全に自由に外部に出ると予想する権利を持っていない。また、たとえ微弱であっても、もし何らかの抵抗が存在しているとすれば、全体としての地球のような非透過体が、そのバルク全体をエーテルが自由に通過することを保障すると考えることはできないことは、言うまでもない。しかし、ローレンツが適切に指摘しているように、「いずれにせよ、私の意見によれば、この問題、また重要問題においては、あれこれの仮説の真実らしさあるいは単純さに基づいた判断を指針とすることを自らに許すのではなく、地球表面上のエーテルが置かれている静止状態あるいは運動状態を認識する方法を習得するために、実験に取り組んだ方がよい」。

1881年4月、この問題を解決するための方法が提案され、試験された。

そのとき、被測定量に関する公式を導出する際に、エーテル中を通過する地球の運動が、その運動に対して垂直な光ビームの経路に及ぼす影響が見落とされていた。この見落としおよび実験全体についての考察が H.A.ローレンツのきわめて深い分析の対象となった。その分析は、この効果を決して無視してはならないことを明らかにした。その結果、実際には、測定されなければならない量は、予想されていた量のわずか半分にすぎず、その予想量は既に実験誤差の限界をごくわずかしき超えないものであったため、実験結果から導き出された結論は、完全な根拠に基づいた疑念の対象となる可能性があった。しかし、理論の主要部分には疑いの余地がないため、理論的結果が実験誤差によって隠されないほど十分に大きいという確信を与えるような変更を加えた上で、実験を繰り返すという決定が下された」[14]。

著者らはこの一節において、「運動物体による光の引きずり」という問題に言及している。これは、文献[15]で詳しく分析されているテーマである。この問題の歴史を掘り下げて研究した著者らは次のように書いている。

「既にフレネルは、引きずり係数に関する概念が導入されている上記に引用した書簡において、エーテルが静止していることを認めた場合でさえも、 $k = (n^2 - 1)/n^2$ という値を採用することが、いくつかの光学現象に対する地球の運動の影響が存在しない理由を説明すること、すなわち、相対性原理の電気力学への拡大適用を明確に否定することを可能にすることを示していた。それより後、引きずり係数に関する問題が理論の中心的事項となる。後続の研究者たちは、フレネルの出発点となる前提条件（エーテルの弾性が同一であっても、相異なる物体中におけるエーテル密度は相異なっている）の根拠付けが不十分であることを認識し、それとは別のモデルから出発して、引きずり効果の動力的解釈を与えようと試みた。

ストークスは、[エーテルの一部分ではなく]エーテル全体が天体内部を運動し、このとき、地球その他の天体中に前方から入って来るエーテルが直ちに圧縮されるのに対し、天体の後方から出て行くエーテルは希薄化すると仮定すれば、フレネル係数を得ることが可能であると指摘した」[15]。

このことから、マイケルソンとモーリーが、実は、ローレンツも賛同していたストークスの着想を検証していたことが分かる。フレネルのモデルによれば、エーテルはいかなる風も引き起こさない。すなわち、地球の公転速度で太陽の周りを運動する物理的物体はエーテル密度の非一様性を創出するが、しかしエーテル自体は静止している。フランクフルトとフレンクは、これを受け入れることは「相対性原理の電気力学への拡大適用を明確に否定することを可能にすること」を意味すると指摘したが、これは正しかった。一方、この先鋭な問題が議論される頃には、既に全面的 [total] な相対性原理がマッハによって宣言されていた。マッハに同意した人々は、決して新しくはない構想を堅持していたストークスとローレンツの見解に自動的に移行した。

古い考え方によれば、地球が太陽の周りを運動するとき、飛んでいるボールに空気が吹き当たるのと同様に、地球にはエーテル媒質が吹き当たる。摩擦の結果エーテルがどれだけ希薄化したとしても、地球その他の惑星は遅かれ早かれ太陽に落下しなければならない。しかし、天文学者たちはそれらの運動におけるわずかな減速も検出しなかった。次の各年は、前年と正確に等しい。光とは電場と磁場の振動であり、ビームに対して垂直方向の伝播であることを物理学者たちが突きとめたことにより、事態はますます悪化した。そのような横振動は絶対的な固体中においてのみ可能であることが突きとめられた。つまり、惑星その他の全ての天体は固体中を移動しているのか？ 馬鹿げている！

マイケルソンの時代には、そのような種類の運動のためのモデルになり得るような物体は存在しなかった。今日では、この世界に関する知識は著しく拡大した。半導体物理学の

研究では、上記に記述されている状況をモデリングすることを可能にするメカニズムが発見された。例えば、低温下ではゲルマニウム中においていわゆる**励起子**が形成される。それらの**準粒子**は、半導体物質の変位を生じさせることなく半導体中を移動する。

こうして、固体中では水素原子に類似したエネルギー励起が形成され、その励起は、ボーア軌道半径、運動量、質量その他のそれに対応する特性によって記述される。一定の条件下では、ヘリウムの類似体である二励起子、リチウムの類似体である三励起子を得ることができる。物理学者たちは励起子液体を発見した。励起子液体は集まって液滴を形成し、その液滴は蒸発させることができる。手短に言えば、**固体物理学**は、普通の物質の上に構築される**超物質**の力学を取り扱っている。

とはいえ、マイケルソンの時代にも、構成的[constructive]に考える多くの物理学者が、普通の物質の原子および分子はエーテル媒質の渦、あるいはより複雑な励起によって形成されているとみなしていた。例えば、J.J.ジョンソンは渦およびファラデー管を用いて電子および原子をモデリングしようと試みていた（「物質*とエーテル(Материя и эфир)」, 「電気と物質*(Электричество и материя)」を参照。また、ここ（<https://sceptic-ratio.narod.ru/phys/kaku.htm#kaku-1>）を一読するのも有益である）。彼のような物理学者たちは、いかなる「エーテル風」も記録することができないことを非常によく理解していた。地球および地球上に存在している全てのもの（マイケルソン干渉計を含む）は、波が海面に沿って滑って行くのと同様に、開かれた宇宙の中を飛んでいるのである。

マイケルソン・モーリーの実験が相対主義者たちにあれほどまでに強い印象を与えた理由を説明することは難しい。なにしろ、既にマスカール [Éleuthère Élie Nicolas Mascart, エルテール・マスカール] が、1869–1874 年に一連の多数の実験を行った後、次のように結論を下していたのである。「我々が太陽光あるいは地球上の光源を用いた場合には、光の反射、屈折、二重屈折および偏極面の回転という現象は、そのいずれも等しく、地球の並進運動を検出することができない」[15]。疑問が生じてくる。[このような結論が出ていたにもかかわらず、]マイケルソンの装置で得られた干渉像から何か特別なことを得られると、なぜ期待する必要があったのであろうか？フランクフルトとフレンクは、上記において言及した、肯定的結果を得たミラーの他に、同様の実験がレイリー卿（1902）およびブレース [DeWitt Bristol Brace]（1905）によって行われ、これらの実験が既にマイケルソンの否定的結果を裏付けていたことに注意を促している。実験の解釈における不一致、経験的結果に対する無理解や不信の度合いが物理学者の世界観的立場に大きく依存していることが分かる。

認識論的アプローチにおける形式主義的現象論者と合理主義的構成主義者との違いについては、長々と述べることができる。しかし、ここで重要なのは、ローレンツの世界観が前者のアプローチを志向し、J.J.トムソンの世界観が後者のアプローチを志向していたことを理解することである。ローレンツはその電子理論において、J.J.トムソンとは異なり、電子を数学的な点として表現し、電子の内部構造については頭を悩ませなかった。また、彼は物質原子はそれ自体として存在しており、エーテル媒質もそれ自体として別々に存在しているとみなしていた [=原子がエーテルと相互作用したり、エーテルが原子の構築材料になったりすることを想定していなかった]。彼の思考は抽象的記号で一杯になっており、視覚的表現に割り当てられる余地はほとんどなかった。現象の物理学は長い数学的計算の陰に消え失せてしまった。

1851 年に行われ、1886 年にマイケルソンによって再現されたIPPORIOT・ルイ・フイゾー（1819–1896）の実験は、運動する媒質中における光速度の決定に関するものであった。この実験の簡略化されたスキームは、文献 [17] から取られた図 16 に示されているとおりである。

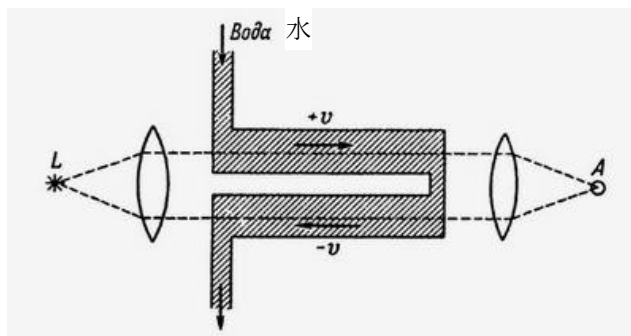


図 16. 光源 L から出た光は 2 本のビームに分割され、それに沿って水が速度 u [この図中では v] で流れている管を通過する。それらのビームの進路の違いにより、点 A に干渉縞が現れる。速度 u の方向を変化させることにより、干渉縞を移動させることができる。理論上は、合成速度は 2 つの速度の加算に関する基本公式に基づいて見出されるはずである： $V = c' \pm u$ （ここで $c' = c/n$ は屈折率 n の媒質中における光速速度）。ところが実験は、この公式は V の計算には適していないことを示した。

真空中における光速度を c で表すと、屈折率 n の媒質中では光速度は減少することを思い出そう： $c' = c/n$ 。空気中では、真空中と同様に、光速度は $c' = c = 300\,000\text{ km/s}$ である。なぜなら、空気の場合、屈折率 n が 1 に近いからである。水の場合は $n = 1.33$, $c' = 225\,000\text{ km/s}$, ダイヤモンドの場合は $n = 2.42$, $c' = 124\,000\text{ km/s}$ である。媒質の密度が高いほど、光速度はより小さくなることが分かる（ダイヤモンドの密度は水の 3.5 倍である）。音響学では、一般的にそれとは逆の依存性が見られる。音速は、空気中では 331 m/s であるのに対し、水中では 1482 m/s , 鋼中では 6000 m/s である。しかし、媒質密度に対する音波の速さの依存性はそれほど一義的ではなく、物質の構造に依存している（「音響学入門（Введение в акустику）」の表 3 参照）。

フィゾーは、水媒質が移動し始めるとき、媒質中における光速度は 2 つの速度の足し算に関する「相対論的」公式に基づいて見出されることを示した：

$$V = \frac{c' \pm u}{1 \pm c'u/c^2} \approx \frac{c}{n} \pm \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)u.$$

ここで $u = 7\text{ m/s}$ であり、この速度のときには乱流渦は形成されない。水の運動速度は、管の一方の区間上では速度 c' と [方向が] 一致しているので、この場合は公式中に現れるが、他方の区間上では一致していないので、この場合は «-» の符号が付けられる。

しかし、19 世紀半ばには、この公式の「相対論的」解釈について語るなどということは決してあり得なかった。解釈の対象となっていたのは、この公式の近似値であった。この近似値の陰には、光放射の波長に対する合成速度 V の依存性という、より複雑な依存性が隠されていた。括弧の中に立っている表式は引きずり係数と呼ばれていた。この係数は、ドミニク・フランソワ・ジャン・アラゴ (1786–1853) によって行われた実験の後、既に 1818 年にオーギュスタン・ジャン・フレネル (1788–1827) によって導出され、説明された。

アラゴは運動するガラスプリズムを用いた実験を行い、その際に光行差角を測定した。彼は、我々が知っている 2 つの速度ベクトルが、普通の方法で足し算され、また引き算されるであろうと予想していた： $V = c' \pm u$ 。その場合、実験の論理に従えば、光行差角は変化するはずであった。ところが、J.ブラッドリーによって見出された値 $\alpha = 20.45''$ は、1 秒角以下の精度で変化しなかった。

この実験の目的をそれとは別の仕方では定式化し、逆の課題を解決することが可能であった。すなわち、静止した星から来た光をプリズムを通して通過させた場合、速度 30 km/s

で運動している地球上に存在するプリズムの屈折率はどのように変化するかという課題である。このとき、この課題設定から得られる否定的結論は次のようなものになる：プリズムの屈折率は変化しない。

フレネルは、光波は音波と同様に**縦波**の性格を持っているということを受け入れた（光波の**横波**の性格は 1821 年に彼によって突きとめられていた）。あれこれの物質中における音速は、我々が既に知っているように（「音響学入門（Введение в акустику）」参照）、物質の密度に依存している。余剰密度は、媒質の様々な種類の擾乱、例えば空気や水の渦の結果発生する。速度 u で運動する渦を通して音波を通過させた場合、渦の内部における音波の音速は、「相対論的」公式に従って余剰密度に対して反応することになる。渦中では、渦に閉じ込められている空気全体も渦と一緒に移動しているように見える。もしそうであるのなら、合成速度は速度の足し算に関する「古典的」公式によって決定されるはずである。しかし、そうはならなかった。フレネルは高い形式論理的レベルで、光学現象と音響現象の比較を行うことに成功した。彼は、開いた宇宙におけるエーテル密度と比した物質*的物体中における余剰エーテル密度のみが引きずり作用を受けることを示した。

屈折や偏光を含め、広範囲の光学的問題を説明しているフレネルの波動理論は、彼の存命中だけでなく、さらに彼の死後ほぼ 20 年間にわたり、揺るぎない支配的地位を占めていた。誰よりもまず、アラゴ、フレネル、フーコーおよびフィゾーに代表される光学者たちのフランス学派が世界を支配していることは歴然としていた。フランス人の永遠の競争相手であるイギリス人は、科学の分野だけでなく、文化、政治および軍事の分野でも自分のライバルの成功を羨望の念を込めて見つめていた。

フレネルは、光速度を決定するエーテルの 2 つの特性を操作することによって**部分**引きずり係数を導出した。それは、運動媒質に対して不変であり続けるエーテルの**弾性**、およびエーテルの可変**密度**であった。イギリス人のジョージ・ガブリエル・ストークス (1819–1903) は、例えば我々の惑星のような運動物体によるエーテルの**完全**引きずりという着想を最初に提唱した。彼はその際、エーテルの 3 番目の力学的特性である**粘性**に依拠していた。1849 年、彼は「運動液体中における内部摩擦の理論ならびに弾性固体の平衡および運動について」という手堅い論文を発表し、この論文において**粘性液体**の運動を記述するための有名な微分方程式を得た。

ストークスは、地球はそのバルクの内部だけでなく、その表面の範囲を超えた遠い所までのエーテルを、全部丸ごと引きずっているとみなしていた。惑星によって引きずられるエーテルの層がどれだけ高い所まで広がっているかは不明であった。ミラーはエーテル風の速度を測定しようと試み、干渉計とともに可能な限り高く上昇しようと努力した：もしかしたら、山の高い所、あるいは飛行船の飛行高度ではエーテル風が吹いているのかもしれない。フィゾーの 1851 年の実験が優れた実験であったのは、まさに、ストークスの理論の破綻、そしてフレネルの理論の妥当性を説得力をもって証明したからであった。

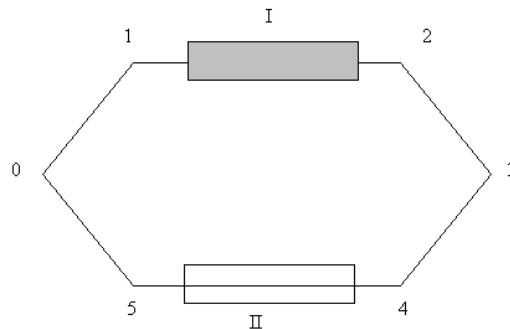
1868 年、誰もが知っているイギリス人、ジェームズ・クラーク・マクスウェル (1831–1879) は、フィゾーの実験に類似した実験を自ら行った。しかし、彼は実験結果に基づき、フレネルの理論の勝利を認めざるを得なかった。フィゾーの実験は β に関する一次効果に関するものであったので、マクスウェルは、将来、物理学者たちがこれほどまでに小さい量の測定方法を習得したとき、 β^2 の効果が自らの存在を示す可能性があるという予想を述べた。

これに続いて 1871 年にイギリス人のジョージ・ビドル・エアリー (1801–1892) によって行われた星の光行差の測定に関する実験は、水で満たされた望遠鏡で観測したとき、やはりフレネルの正しさを裏付けた。最後に、1851 年のフィゾーの実験装置に似たスキームに従ってマイケルソンとモーリーによって行われた 1886 年の実験が、エーテルの部分引きずり説の正しさを再び証明した。これについて、マイケルソンは 1927 年の記念会議

で次のように語った。

「1880 年、私は太陽系中における地球の運動速度 v の光学的方法による測定の可能性について考え始めました。一次効果を検出しようとする初期の試みは、静止エーテル中を通過する系の運動という着想に基づいていました。一次効果は v/c （ここで c は光速）に比例しています。愛すべき古きエーテル（これは現在では打ち捨てられていますが、私個人はまだこれを堅持しています）の理解から出発すると、ある可能性が予想されました。それはまさに、光行差は、空気で満たされた望遠鏡の場合と水で満たされた望遠鏡の場合とでは異なっているはずであるという可能性でした。しかし実験は、既存の理論に反して、そのような違いは存在しないことを示しました。

この結果を最初に説明したのはフレネルの理論でした。フレネルは、物質はエーテルを部分的に捕捉し（エーテルの引きずり）、エーテルに速度 v を与える、したがって $v' = kv$ となると予想しました。彼は屈折率 n を通じてフレネル係数 k を定義しました。すなわち、 $k = (n^2 - 1)/n^2$ 。この係数は、次の実験の否定的結果から容易に得られます。



2 本の光ビームが 1 つの経路 (0,1,2,3,4,5) に沿って反対方向に通過し、干渉像を創出します。I は水で満たされた管です。今、系全体がエーテル中を通過して速度 v で運動しているとする、管を位置 I から位置 II に移動させたとき、干渉縞がシフトすることが予想されるはずですが、シフトは観測されませんでした。エーテルの部分的引きずりを考慮すると、この実験からフレネル係数 k を決定することができます。また、フレネル係数は、ローレンツ変換から非常に簡単かつ直接的に導出することができます。

フレネルが得た結果は、全ての研究者によって普遍的なものとして認められました。マクスウェルはこう述べています：もし予想される一次効果が検出されなかったとしても、おそらく、 v^2/c^2 に比例する二次効果が存在している可能性がある。その場合、地球の公転運動速度が $v = 30 \text{ km/s}$ のとき ($v/c = 10^{-4}$)、 $v^2/c^2 = 10^{-8}$ が得られる。マクスウェルの意見によれば、この値は測定するにはあまりにも小さすぎる。

しかし、光波を用いれば、そのような二次効果を測定するためのしかるべき装置を考案することができると私には思われました。私はエーテル中を通過して速度 v で運動する、ミラーを内蔵する装置を考案しました。この装置中では、2 本の光ビームが伝播します。1 番目のビームは速度ベクトル v に対して平行に前方および後方へ進み、2 番目のビームはベクトル v に対して直角に進みます。古典理論によれば、速度 v によって引き起こされた光路中における変化は、縦方向のビームと横方向のビームでは異なっているはずですが、このことが干渉縞の顕著なシフトを引き起こすはずですが、(略)

装置がエーテル中を通過して速度 v で運動するとき、ボートが川の流に沿って

下流および上流へ進む場合、また川の流れを横切って前方および後方へ進む場合と同じ効果が光の中に生じるはずです。その距離を進むのに要する時間は、いずれの場合にも、前方へ進むときと後方へ進むときでは異なったものになります。このことは次の考察から容易に分かります。川の流速の如何にかかわらず、ボートが川の**流れを横切って**運動する限り、ボートは必ず、それが出発した場所に戻らなければなりません。ボートが**流れに沿って**運動する場合には、それが流れに逆らって進むとき、もはや出発した場所に到達できなくなる可能性があります。

私はベルリンのヘルムホルツ研究所で実験を行おうと試みたのですが、しかし市内の幹線道路の振動により、干渉縞の位置を安定化させることができませんでした。装置はポツダム研究所に移されました。その所の所長の名前は忘れてしまいましたが（それはフォーゲルだったと思います）、彼がすぐに私の実験に興味を示してくれたことを思い出すと、満ち足りた気持ちになります。そして、彼はそれ以前に私と会ったことがないにもかかわらず、研究所全体とそのスタッフを私に自由に使わせてくれました。ポツダムで私が得たのはゼロ結果でした。精度はあまり高くありませんでした。光路長が約 1m だったからです。それにもかかわらず、面白いことに、結果は完全に良好でした。

アメリカに帰国したとき、私はクリーブランドでモーリー教授と共同研究を開始するという幸運に恵まれました。その装置では、ベルリンで使われていた装置と同じ原理が適用されていました。ただし、ビームを 1 回だけ通過させるのではなく、一定回数反射させる方式を導入したことにより、光路長が延長されていました。実際、光路長は $10-11\text{m}$ でした。このことが、エーテル中を通過する地球の公転運動により、干渉縞の半分のシフトを与えるはずでした。ところが、予想されるシフトを検出することはできませんでした。干渉縞のシフトは、理論によって予想されていた大きさの $1/20$ 以下、あるいは $1/40$ 以下であることが判明したのです。この結果は、地球それ自体がエーテルをほぼ完全に捕捉しており、それゆえ、地球表面上におけるエーテルと地球との相対速度がゼロに等しい、またはきわめて小さいことを示していると解釈することができます。

しかし、この予想はきわめて疑わしいものでした。なぜなら、別の理論的条件と矛盾していたからです。それとは異なる説明がローレンツによって提唱されました（**ローレンツ収縮**）。この説明は、最終的な形では、有名な**ローレンツ変換**の結果として彼によって導出されました。ローレンツ変換は**相対性理論**全体の本質をなしています」[16]。

この一節において、マイケルソンは**特殊相対性理論**の形成の主要段階を反映している。見てのとおり、エーテル風検出実験の不正確さは 2 つの誤った前提に起因している。何よりもまず、実験者は、世界媒質の材料と地球がそれから「作られている」材料は相異なるものであるとみなしていたが、これは正しくなかった。まさにそれゆえに、惑星が太陽の周りを回転するとき、惑星の表面上ではエーテル風が観測されるはずであるとされていた。2 番目の誤りは、川面上のボートの運動と干渉計中におけるビームの進行との間の誤った類推に起因していた。これについては第 I 節の末尾で既に述べた。

運動するレンズ中における光速度の測定に関する 1810 年のアラゴの実験が成功裡に解釈された後に創出されたオーギュスタン＝ジャン・フレネル (1788–1827) の理論は、**エーテルの部分引きずり**の概念を用いて、フィゾーの実験における干渉像の不変性も説明していた。まさにそれと同様に、マイケルソン・モーリーの実験における干渉像の不変性の具体的原因を見出す必要があった。マイケルソンと緊密に協力していたローレンツは、物理的物体の線形サイズの、ベクトル $\mathbf{v}$ の方向における収縮を提唱した。ローレンツは、この収縮は自分が見出した変換から導き出されたものであると思っていた。しかしローレンツ

19 第 II 節

変換は、特にアインシュタイン版相対性理論の解釈においては、物理的意味を持っていなかった。

否定的結果の真の原因は別の所にある。その原因の意味は次のとおりである。波源が受波器と同じ運動するプラットフォーム上に存在している場合には、**相殺**により、波長、周波数および振動周期は、静止したプラットフォームの場合と同じままとなる。あなたはこのプラットフォームを、プラットフォームの移動ベクトルに対して任意の角度だけ方向転換させることができる。しかしそれでもやはり、干渉像は不変に保たれる。なぜなら、この場合にも相殺メカニズムが作動するからである。このことの論拠は既に挙げたが、しかしきわめて重要であるので、この論拠をもう一度思い出させることは、特に相対論者たちにとっては害にはなるまい。

— 第 III 節 —

相殺メカニズムの作用を理解するため、干渉計の原理的スキームを図 3 に描こう。このスキームはどことなく図 1 (左側) に似ている。ただし、ここにはもはや複雑なミラー系は存在しない。点 i には光源がある。点 A には光学機器 (望遠鏡) が配置されており、これを用いて干渉像を観測することができる。 P はビームスプリッターの役割を果たすハーフミラーである。 S_1 および S_2 はミラーであり、 S_3 はハーフミラー P 中におけるミラー S_2 の像である。最後に、数字 1-4 により、この図に描かれている光ビームに対応するビームが示されている。

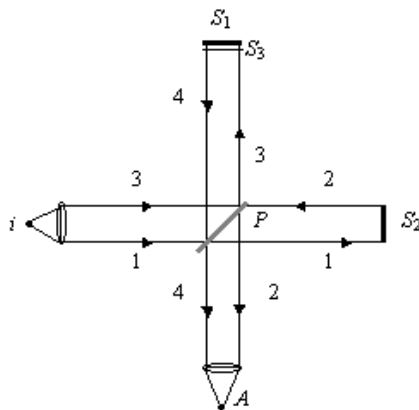


図 3. 光源 i から出た光はハーフミラー P に当たる。干渉計の水平アームに沿って伝播する光ビーム 1 の一部はビームスプリッター P を通り抜けて進み、ミラー S_2 からビーム 2 の形で反射し、受光器 A のスクリーンに当たる。光源 i から出た光ビームのビーム 3 の形の別の一部はスプリッター P から反射し、装置の垂直アームに沿って伝播する。そのアーム上でビーム 3 はミラー S_1 から反射し、ビーム 4 の形でやはり望遠鏡 A に当たる。ミラー S_1 と S_2 は互いに対し、完全に厳密には垂直に設置されていない。ハーフミラー P 中におけるミラー 2 の、 S_3 として示されている像はミラー S_1 と鋭角をなしている。このことが、光学機器 A を用いて見ることが可能な干渉縞を得ることを可能にする。干渉縞はミラー S_1 と S_3 の平面内に横たわっているように見える。

干渉縞のパターンは、2 つの反射面の間における空気層中のくさび上に見ることのできるパターンに似ている。ニュートンはそれに類似した干渉、ただしリング状の干渉を観測した (ニュートンリング)。干渉像に対しては、ミラー S_1 と S_2 の間の角度、および干渉計の 2 本のアームの違いが影響を及ぼす。例えば、水平アームの長さを短くすると、干渉縞はある方向へ移動し、垂直アームの長さを短くすると、干渉縞はそれとは反対の方向へ移動する。ミラー S_1 と S_2 の間の角度をわずかに変化させると、干渉縞がシフトしたり拡大したりする。

装置がエーテルに対して静止しているときに得られる干渉像を得ることは不可能である。なぜなら、地球は連続的に運動しているからである。それゆえ、惑星の運動方向に対してアームが相異なる位置にあるときの干渉像を比較するという決定が下された。そうすれば、装置が運動しているときに生じる光路差 (ΔT) が 2 倍になるはずである ($2\Delta T$)。

マイケルソンは素晴らしい実験家であったが、しかし理論においては、水平ビームと垂直ビームが通過した光路の差を計算しようとした際、誤りを犯した。彼がどこで間違っただかを理解するため、我々は、彼が思い描いていたのと同じビーム 1, 2, 3 および 4 を、3 つの波面を背景として描いてみよう (図 4)。大きな波長は読者を当惑させないはずである。

我々は隣り合う 2 つの波面の間に同じ円をさらに 100 万個置くことが可能であるが、それによって事の本質が変わるわけではない。この図の方が、それより一目瞭然たる形で見て取ることができる。

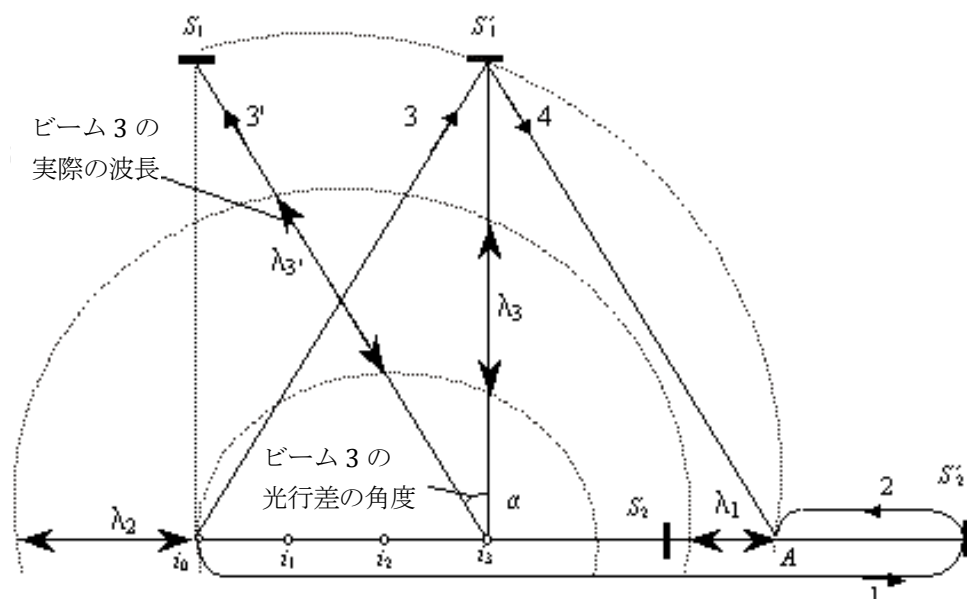


図 4. この図には 3 つの波長が示されている。2 つは縦方向の波長 (λ_1 および λ_2)，1 つは横方向の波長 (λ_3) である。それらの間の比は実際の波長の間の比と正確に一致している。それだけでなく、この図にはさらにもう 1 つの波長 (λ_3') が示されている。

図 4 では、ビーム 3 の実際の位置は線 3' に対応している。なぜなら、光行差角 α により、光ビームは運動方向に対して若干後方に偏向しなければならないからである（これについての説明は既に上記において与えられた）。線 3 に対しては、いかなる特定の波長も対応していない。まさにこのことは、波長の方向が間違っていることを証明している。これは重要な事実である。なぜなら、あらゆるビームは特定の波長を持っていないからである。

この図に示されている 3 つの波面は、光源 i により、光源が位置 i_0, i_1 および i_2 にあったときに放出された。この描像全体は、光源が、剛結合されているミラー S_1 および S_2 とともに位置 i_3 に移動した時点に記録された。

既に述べたように、描かれている線 3 に対しては、1 つの波長も対応していない。これは、マイケルソンの間違いを理解する上で重要な点である。もしミラーが極小のサイズのものであるとすると、光行差（ビームの後方への偏向）により、ビーム 3' はそもそもミラー S_1 に当たらないはずである。しかし実際には、偏光の大きさ（約 1 mm）と比べると、ミラーのサイズはきわめて大きい（5 cm）。それゆえ、この図や諸文献において通常 2 つのミラー (S_1 および S_1') によって描き出されているものは、実際には、1 つの連続した鏡面 S_1 なのである。

我々が既に知っているように、マイケルソンは幾何学的分析を行った際、光行差角 α を正しく算出しなかった。この場合には、その角度は $20.45''$ である。したがって、ビーム 1 と 3、またはビーム 2 と 4 の間の角度、すなわち干渉計の 2 本のアームの間の角度（図 3）は 90° に等しくない。それゆえ、下記において引用されている数学全体は現実の状況と一致していない。しかし我々はここで、他ならぬマイケルソンの推論の論理を読者に紹介するという課題を設定しよう。彼は次のように推論したのである。

光波はエーテルに対して不変速度 c で伝播する。しかし、長さが等しく L の、干渉計の両

方のアームに沿っては、すなわち運動するミラー S_1 および S_2 に対しては、光波は相異なる速度で運動することになる。ビーム 1 の点 i_0 から点 S'_2 までの通過時間は次の公式によって決定される：

$$t_1 = \frac{L}{c - v}.$$

ビーム 2 の通過時間は次式に等しい：

$$t_2 = \frac{L}{c + v}.$$

ビーム 3 および 4 の通過時間は、マイケルソンの意見によれば次式に等しい：

$$t_3 = t_4 = \frac{L}{\sqrt{c^2 - v^2}}.$$

したがって、水平方向における光の波面の総伝播時間は次式に等しい：

$$T_{\text{horiz}} = t_1 + t_2 = \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{1 - v^2/c^2}.$$

垂直方向における波面の総伝播時間は次式に等しい：

$$T_{\text{vert}} = t_3 + t_4 = \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{1 - v^2/c^2}.$$

ここで即座にクレームをつけることができる：**速度合成が相対論的公式ではなく、普通の公式に従って行われている。**これは当然のことである。なぜなら、マイケルソンがその実験を計画し、実施したのは、まだ速度合成の相対論的公式が出現する以前のことであったからである。相対論者たちはこの件について警鐘を打ち鳴らすべきであった。何しろ、第2公準によれば、2つの運動物体の相対速度は光速を超えることができないのである。したがって、マイケルソン・モーリーの実験は、そこでは相対性理論と矛盾している公式が用いられている以上、相対論者たちの実験ではない。ところが相対論者たちは、批判者たちが彼らに矛盾を指摘しても、それが聞こえないふりをすることを習得したことで悪名を高めた。

しかし、マイケルソンの思考の歩みの後を追っていこう。各ビームの通過時間が相異なっているのだから、その結果、水平アームと垂直アーム中におけるビームの光路差に比例する位相の進みが観測されるはずであると彼は考えた：

$$\Delta T = T_{\text{horiz}} - T_{\text{vert}} = \frac{2L}{c} \left(\frac{1}{1 - \beta^2} - \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) \approx \frac{L}{c} \beta^2.$$

差 ΔT が初期干渉像を決定した。干渉計を角度 90° だけ方向転換すれば、干渉縞のシフトが見られるとマイケルソンは予想した。彼は合成シフト量を推定するため、光路差に2を掛けた値を光波の振動周期で割り、既知のパラメーター λ, β および L を代入した：

$$\delta = \frac{2\Delta T}{T} = \frac{2L}{\lambda} \beta^2 = \frac{2 \cdot 11 \cdot 10^{-8}}{6 \cdot 10^{-7}} \approx 0.367.$$

その際には、光路差に基づいて計算された合成位相の進みは振動源の運動によって完全に相殺されること、そしてこのことが当該の波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ および λ_4 —にとっての位相の変化をもたらすことが考慮されていなかった。光源が地球と一緒に運動しており、しかも光学系が設置されているプラットフォーム上に固定されていることを考慮すると、波長の変化の結果、測定装置をいずれの方向に回転させても、干渉像は不変に保たれる。

この単純な物理的事実は、数学的な形では次のように表すことができる。装置が静止しているときには、波長 λ 、周期 T の n 個の波が線分 L 上に収まっている。このとき、次式が得

られる：

$$n = L/\lambda = t/T, \quad T = \lambda/c, \quad t = L/c.$$

装置が運動しているときには、ドップラー効果により、光路の第 1 区間上では波長は次の値を持つ：

$$\lambda_1 = \lambda \frac{c-v}{c}, \quad \text{ただし, } T_1 = \frac{\lambda_1}{c-v} = \frac{\lambda(c-v)}{c(c-v)} = T.$$

それゆえ、 n 個の波からなる波束が通過するのに必要な時間は、静止している装置の場合にも、運動している装置の場合にも同一となる：

$$t_1 = nT_1 = nT = t.$$

他の光路区間上においても、これと同様の位相の相殺が生じる。言い換えると、装置がどのように移動したとしても、その干渉像は静止している装置における干渉像と同一になる。

光源と受光器が運動している任意の場合に関する一般公式は次のような形をしている：

$$f' = f \frac{\sqrt{1 - \beta_1^2 \sin^2 \theta_1} - \beta_1 \cos \theta_1}{\sqrt{1 - \beta_2^2 \sin^2 \theta_2} - \beta_2 \cos \theta_2}.$$

光源と受光器が同一方向に同一の速度で運動している場合には、

$$\theta_1 = \theta_2 \text{ かつ } \beta_1 = \beta_2 \text{ ならば, 周波数は変化しない: } f' = f.$$

これより、きわめて重要な結論が導き出される。すなわち、マイケルソン干渉計、あるいはそれとは構造が異なる他の任意の干渉計を用いて、静止エーテルに対して地球が運動しているか、それとも静止しているかを決定することはできない。今日、物理学者たちは光学現象に関係する多種多様な装置を持っている。しかし、それらの装置の示度は地球の運動ベクトルに対する位置姿勢には依存していない。なぜなら、いかなる場合にも相殺メカニズムが作動するからである。相殺メカニズムの本質は、現在では徹底的に分析されている。

残念ながら、何らかの光学システムを用いれば「エーテル風」の速度を測定することが可能であると主張する人々が今なお存在している。彼らは、エーテル風は山上の高所で既に記録されたとさえ言っている。実際、1920 年代末と 1930 年代初頭には、この問題について活発な議論が行われていた。1933 年に発表された D.ミラーの論文には、10 km/s のオーダーのエーテル風の存在を証明しているとされる彼の測定結果が示されていた。著者の意見によれば、エーテル風の大きさは地球表面上における地点およびその地点の海拔高度に依存している。エーテルが地球表面の凹凸に「付着」する度合いは海水準において最大であり、それゆえ、地球に隣接するエーテル層は地球自体と同一の速度を持っている（エーテル風は存在しない）。また、山上の高所では、この効果は弱まる（エーテル風は存在する）。

ミラーの結果には、マイケルソン自身も注意を払った。1927 年の記念講演において彼は次のように述べた。「マイケルソンの実験はモーリーとミラーによって提案されたものだったが、彼らは再び否定的結果を得ました。その後、ミラーは独自に研究を続け、今や、一定の肯定的結果を得たようです。しかし、その効果は地球の公転によって得られたものではありません。その効果は星間空間に対する太陽系の運動の結果生じるもののよう思われます。太陽系の運動速度は、地球の公転運動速度よりはるかに大きい可能性があります。ミラー氏の観測結果は、この問題に対する新たな関心を引き起こしています」[16]。

しばしば、相対論者から次の言葉を聞くことができる。「例えば、実験をこんなに長い期間にわたって何千回も検証し、再検証することができたのだから、実験の分析に誤りはないはずだ」。しかし、文献 [13] をちょっと読んでもらいたい。ローレンツはこの著書の第 167 節で我々が関心を持っている実験について分析し、図 1 の右図と似たスキームを描いている。その後続く理論家たちがこの手拔かりを修正するべきであったと思えるかもしれないが、しかし、短期間のうちに相対性理論がドグマと化し、誤った説明、スキームおよび公式は、もはや二度と疑問視されることはなかった。そしてそれらの考案者たちは、幾世紀にもわたって不滅の光を放つ真理を先駆けてつかんだ、きわめて洞察力に富んだ科学者として称賛された。

干渉計中で生じる波動過程に対するローレンツの無理解の深刻さを事例によって証明するため、彼の著書『電子理論』[13] に掲載されている図を正確に再現しよう。図 5 は、マイケルソンの頭の中に最初に生じた光路に関する誤った理解を事例によって示している。この図のスキーム(a)において、ローレンツは干渉計の長さ L の水平アームおよび垂直アームを描写しようと試みた。ここにはビームスプリッター P 、ミラー B および C も示されている。スキーム(b)において、彼は干渉計の垂直アーム中における光路を [(a)よりも] やや詳しく示したものを与えている。ここで点 Q はミラー B の新たな位置に対応している。ローレンツが複雑な光学過程のグラフィック表現に取り組んだときのずさんさが、マイケルソン・モーリーの実験の誤った解釈の源となった。

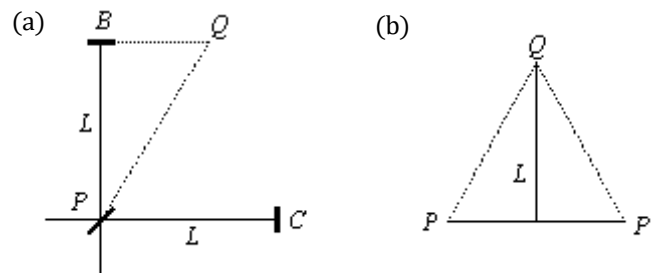


図 5

こうして、幾何学的形式に対して嫌悪感を覚える人間が、運命の定めにより、そこではまさに波動像の明確な構築が主要問題となっていた実験結果の主要な解釈者となった。どうやらローレンツは、点 P から点 Q へ伝播する光ビームを、消火用ホースのノズルが噴流をどの方向に向けようと、常にホースから一定速度でほとばしり出る噴流としてイメージしていたようである。彼はその著書の第 167 節で、垂直ビーム 3 が通過した距離をピタゴラスの定理に従って次のように決定した：

$$PQ = L\sqrt{1 + \beta^2}.$$

そして彼は、光はこの経路を速度 c で進行しなければならないとみなした。言い換えると、彼は、アインシュタインの第 2 公準が発表される以前に、既に等式 $c^2 = c'^2 + v^2$ を採用していたのである。言うまでもなく、これは神の洞察ではなく、初歩的な誤りである（マイケルソンとモーリーの論文 [14] にはこの誤りはない）。次の 2 つの近似式（ローレンツは最終的な公式においてこれらの近似式を用いた）、すなわち

$$\sqrt{1 + \beta^2} \approx 1 + \beta^2/2 \quad \text{と} \quad \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \approx 1 + \beta^2/2$$

の偶然の一致だけが、干渉計の垂直アーム中における光の運動速度の計算における彼のあまりにもひどい誤りを隠すことを可能にした。当然のことながら、波動過程をこのように理解していた彼の頭には、光行差という考えが浮かんでくることはできなかった。

このひどい誤りにもかかわらず、ローレンツは、公式

$$\Delta T = T_{\text{horiz}} - T_{\text{vert}} = \frac{2L}{c} \left(\frac{1}{1 - \beta^2} - \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) \approx \frac{L}{c} \beta^2$$

による水平方向と垂直方向における光の通過時間の差がゼロに向かっていくためには、干渉計の水平アームが収縮しなければならないという結論に達した（彼の混乱した判断に対する批判については、特別の章「思弁的幾何学（Спекулятивная геометрия）」で知ることができる）。こうして、線分の長さは、次の公式に従ってその運動方向に収縮するというローレンツ・フィッツジェラルドの「仮説」が受け入れられた：

$$L' = L\sqrt{1 - \beta^2}.$$

このような収縮により、その差は $\Delta T = 0$ となる。長さの減少というこの珍奇な「仮説」における論理は、運動速度ベクトルに対して垂直方向の長さは次の公式に従って増大するという仮説にも、それと同等に含まれている：

$$L' = \frac{L}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

この場合にも $\Delta T = 0$ となるはずである。しかし相対論者たちは、彼らによるローレンツ変換の理解から導き出される判断のうち 1 番目のバリエーションを選択した。そしてそこでも再び、彼らは許しがたい誤りを犯した。

問題は、マイケルソンはミラーを移動させることによってアームの絶対的長さを変化させ、干渉縞のシフトを観測していたという点にある。彼は干渉計を方向転換させたときに何かそのようなものを記録することを予想していた。この実験の後で出現した特殊相対性理論においては、全てはそれと異なっている。この素晴らしいコンセプトによれば、運動する物差しと同じ系の中にいる観測者は、物差しの収縮を記録することができない。観測者としてのマイケルソンと彼の干渉計は同じ基準系中に存在している以上、装置の部品のどれ一つとして、そのサイズを変化させることはできない。

もしマイケルソンが静止エーテルの基準系中にいたならば、彼は速度 30 km/s で飛行している彼の装置において長さの何らかの収縮を記録することができたはずである。しかし、我々が検討している状況においては、マイケルソンを含む全ての地球の住民にとって、水平アームの長さは短くなった L' ではなく、厳密に L に等しくなければならない。相対論者たちは、干渉像の不変性において表されている**相対性原理**を指針とすることを願いつつ、別の場所では長さの絶対的収縮という仮説を採用したことにより、相対性原理に違反したのである。この矛盾はマイケルソンの干渉計のパラドックスと呼ばれており、プライムのパラドックス^{〔訳注〕}といった矛盾と同列にある（プライムのパラドックスについては「プライムのパラドックスと嘘つきのパラドックス（Парадокс штриха и парадокс лыжников）」および「座標に関するプライムのパラドックス（Парадокс штриха для координат）」の章で語られている）。

好意的な言い方をすると、**相対性理論**の支持者たちは、改めてこう宣言するべきであった。「マイケルソン・モーリーの実験は我々の実験ではない。なぜなら、ローレンツは**絶対主義的見解**を堅持していたからだ。彼は、マイケルソンとともにエーテルを否定しなかったし、ポアンカレとともにエーテル媒質から作用する**動力学的力**によって長さの収縮（特に電子の直径の減少）を理解していた（「ポアンカレの相対性理論（Теория относительности Пуанкаре）」参照）。我々相対論者は、それとは全く異なるコンセプトを

〔訳注〕 「プライムのパラドックス（paradox of prime）」は一般的な用語ではなく、著者独自の用語であると思われる。これは、相対性理論において、例えばプライムなしの L, f, K とプライム付きの L', f', K' の間に生じるパラドックスのことである。

採用した。それによれば、長さの収縮は純粋な運動学[kinematics]によって生じるのである」。しかし、相対論者たちの思考はあまりにも首尾一貫性を欠いているので、彼らはもはやそのような非論理性を感じ取れるような状態にはない。

— 第 IV 節 —

本節には、私のサイトの読者との間で行われた、本論文で述べられている問題に関する典型的な議論が引用されている。彼は次のような内容の手紙を送ってきた。

イワン：

オレークさん、私がマイケルソン・モーリーの実験の結果についてあなたと議論を始めても、お怒りになりませんか？ あなたはここでは間違っているように私には思われます。

光源と受光器と一緒に運動する場合、周波数は一定に保たれることをあなたは証明しようとしています。

これは正しいのですが、しかし、干渉はこれとは無関係であり、何個の波長が光源とミラーとの間の距離 L 上に収まるかということと関係しています。

光源がある時点に波頭を創出するところをご想像ください。その波頭は媒質中を漕ぎ手が乗っているボートのように速度 c で伝播していきます。しかし、ミラーは光源から速度 v で遠ざかっていく。したがってミラーに対する波頭の速度は $c - v$ となります。反射後、波頭は再び媒質中を速度 c で運動しますが、今回は、波源が波頭に対して対向方向に運動しています。その結果、相対速度は $c + v$ となります。そしてここでは、全てはマイケルソンにおけるのと同じです。私はどこかで間違っていますか？

オレーク：

イワンさん、この問題の解決は、論理的側面、数学的側面および幾何学的側面の 3 つの側面から始めることができます。あなたはどうか、3 番目の側面から問題にアプローチしようとしているようですね。つまり、あなたは干渉計の内部で生じている波動過程を空間的にイメージしています。

我々の状況においては、これはあまり適切なことではありません。もし我々が同じテーブルに着き、同じ紙に鉛筆で何かを描き、そうやって相手の反論を 1 つ 1 つフォローしたとしても、その場合、半日を無駄に費やすことになるでしょう。ですから、何よりもまず、初歩的な数学的形式主義と論理に頼らなければなりません。

さて、あなたの手紙にこう書かれています：「光源と受光器と一緒に運動する場合、周波数は一定に保たれることをあなたは証明しようとしています。これは正しいのですが、しかし…」。

決して「しかし」ではありません。干渉計がどのように方向転換しても、周波数は一定に保たれるのです。振動源の受振器は同じように運動しています。すなわち、ドップラー効果を記述している公式の分子と分母は同じに見えるのです。

「相殺」という言葉は私にとってキーワードです。光源の運動は受光器の運動によって相殺される。装置が静止しているときも、運動しているときも、干渉像は同一になります。

あなたはさらに先に進んで、この動力学的状況を想像上の空間中で再現しようと試み、…そして誤りを犯しています。その誤りはどこにあるのでしょうか？

あなたが「しかし」という言葉の後にどんなフレーズを書いたのか、見てみましょう：「しかし、干渉はこれとは関係なくて、波長が光源とミラーとの間の距離 L 上に何個収まるかということと関係しています」。

より正確に言えばこうなります：干渉は、水平アーム中の波と垂直アーム中の波の間の位相差と関係している。言い換えると、干渉像は、水平アーム中の波数 L_1 と垂直アーム中の波数 L_2 が割り切れないときに、静止した装置中で観測されることになる。

次に、装置を運動させてみましょう。何が起こるのでしょうか？ すぐさま相殺原理が作動し始めます。運動する装置における水平アーム中の波数 L_1 および垂直アーム中の波数 L_2 が

以前のまま保たれるという結果が得られます。つまり、装置が静止しているときの干渉像がいかなるものであったとしても、装置が運動しているときの干渉像はそれと同一になるのです。

マイケルソンは静止している装置について検討することができませんでした。なぜなら、彼は常に**運動している**地球上に存在していたからです。それゆえ、彼は2つの相異なる運動時における2つの干渉像を比較しました。しかし、相殺原理はいかなる場合にも作動します。したがって、2つの運動時に、波の重ね合わせ過程（干渉）は装置が静止しているときと変わらないのです。

あなたの手紙のその先を読んでみましょう：「光源がある時点に波頭を創出するところをご想像ください。その波頭は媒質中を漕ぎ手が乗っているボートのように速度 c で伝播していきます。しかし、ミラーは光源から速度 v で遠ざかっていく。したがって、ミラーに対する波頭の速度は $c - v$ となります。反射後、波頭は再び媒質中を速度 c で運動しますが、今回は、波源が波頭に対して対向方向に運動しています。その結果、相対速度は $c + v$ となります。そしてここでは、全てはマイケルソンにおけるのと同じです。私はどこかで間違っていますか？」

はい、間違っています。この一節で、あなたは運動する振動源を見落としていました。速度 $c - v$ および $c + v$ は、運動するミラー、すなわち**受光器**（速度 $c - v$ の場合）に対して測定されます。あなたの間違いはどこにあるのでしょうか？

あなたは最初に**1個**の波頭を取り、その相対速度 $c - v$ および $c + v$ について検討しています。これでは不十分です。**2個**の波頭を取り、それらの間の距離、すなわち**波長**を考慮する必要があります。他ならぬ波長こそが、最終的に干渉像の主要な原因となるのです。こうしない場合には、**相殺原理**、つまり我々の場合における最も重要な事実を見落としてしまいます。

さて、**受光器**の運動の相殺は**光源**の運動の相殺によって生じます。この相殺は具体的にはどのように働くのでしょうか？

光源が静止しているとします。**2個**の波頭間の距離は λ_0 です。光源が運動し始めました。今我々が興味を持っているのは、「往き」の水平方向です。このとき、波頭間の距離が減少しました（ $\lambda_1 < \lambda_0$ ）。この段階では、ミラーはそれらの波頭から「逃げつつあり」、したがって、短くなった**2個**の波頭間の距離（ λ_1 ）が復元します。すなわち、波長が再び λ_0 となります。こうして、光路のこの区間上で相殺効果が生じました。

次に、ミラーが振動源となります。振動源が装置の運動経路に沿って右側へ運動するのに対し、放射は左側へ向かって、つまり「戻り」の方向に生じます。すなわち、増大した波長が得られます（ $\lambda_2 > \lambda_0$ ）。しかし、「スクリーン」、つまりその上で干渉が生じる受振器は波頭上を運動しています。このようにして相殺が生じ、その相殺の結果、「スクリーン」上の λ_2 は λ_0 に変化します。

垂直方向においてもそれと同じ相殺効果が生じます。

イワン：

オレークさん、つまり、振動源上とミラー上における1秒当たりの振動数は同一になるというわけですね。しかし、それらにおける位相は相異なっています。ご同意いただけますね、オレークさん？ あなたのご意見では、位相差はどうすれば決定することができるのでしょうか？

オレーク：

イワンさん、「位相差はどうすれば決定することができるのでしょうか？」というご質問は、私には奇妙に聞こえます。その位相差は、あなたが干渉計を調整したとき、つまり装置が静止した状態にある（それが可能だと仮定しましょう）としたときに、**初期干渉像**に

関してあなたご自身が指定しているものなのです。さらに、その位相差は、装置が運動しているときも変化しないことを理解する（空間的に認識する）必要があります。

あなたのご質問からは、あなたはそれでもやはり、おそらく装置の運動によって生じる、さらに何らかの位相差についてお考えになっているのではないかという印象が生まれてきます。一般的に言えば、この点に関しては、私はあなたのことをよく理解していません。ですから、私が以下においてあるべき描像をこまごまと記述することをお許してください。

装置が**静止**したときにおける、水平アーム中における波束と垂直アーム中における波束の間の位相差は $\Delta\varphi$ となるとしましょう。すなわち、この位相差が**初期干渉像**を決定することになります。主張されているのは、装置が運動し始めたとき、**相殺**のおかげでそれと同一の $\Delta\varphi$ が存続するということです。なぜでしょうか？

問題は、位相は、波の 1 サイクル全体のある一部分にすぎないということにあります。水平アーム中にはきっかり 100 個の波が、それに対して垂直アーム中には 100.3 個の波が収まるように装置が調整されていると仮定しましょう。干渉計が静止しているときには、位相差 $\Delta\varphi = 0.3$ が初期干渉像を決定することになります。

次に、装置が運動し始めました。相殺原理が作動し、前回の手紙で我々が考察したスキームに従い、水平アーム中で 100 個全ての波が復元しました。垂直アーム中では何が起こるのでしょ

うのです、水平アーム中と同じことです。ただし、回復されるのは今度は整数個の波ではなく、他ならぬ 100.3 個の波長です。整数部分 (100 個の整数の波) が復元したのなら、それと同じ論理に従って波の一部分 (0.3) が復元してもいいではありませんか？ なにしろ、相殺効果は整数部分にだけでなく、ここでは $\Delta\varphi$ と呼ばれている、それへの付加部分にも及ぶことになるからです。

原理的には、前回の手紙で我々が検討した場合は、今回ここで検討した場合を前提としていました。ただし今回は、我々は整数個の波にはアクセントを置きませんでした。我々が干渉像を調整した場合、それは**自動的に**、何らかの位相差の存在を前提としています。ここではもはや、「位相差をどのようにして決定するのか？」という疑問は生じません。ここから先で必要なのは、装置が運動しているとき、初期位相差 $\Delta\varphi$ に何が生じることになるかを頭の中で追っていくことだけです。この作業を通じて、相殺効果、また全体としての動力学的過程についての理解が訪れるのではないかと私には思われます。

イワン：

オレークさん、もし波源が波動発生器から分離し、まるで鏡のように音もなく流れているのだとすれば、あなたは正しいのかもしれません。波動発生器の方こそが波源から分離し、流れに沿って流れているのです。

相殺メカニズムは、周波数が変化しないことを示しています。しかし、これは自明のことです。なぜなら、マイケルソンの解釈では、時間は一般的なものであり、運動にはまったく依存していないからです。あなたは、運動時に放出される個別の波について、また、その波がミラーまでどのように伝播するかについて検討しようとしていません。もしあなたがこれを行えば、あなたはマイケルソンの考察の正しさに気付くことでしょう。相殺はこれとは無関係です。相殺は振動周期の保存を示しているだけです。議論をここで終わらせてもいいのではないかと私は思います。

オレーク：

イワンさん、干渉計中における波動過程に関するあなたの理解は、マイケルソンの理解、特に干渉に関する理解とは大きく異なっているという点だけは指摘しなければなりません。

あなたはこう書いていました：「干渉は（略）、何個の波長が光源とミラーとの間の距離 L 上に収まるかということと関係しています」。

違います。マイケルソンはそれとは異なる考え方をしていました（私は彼の見解を次のように表現しました）：「干渉は、水平アーム中の波と垂直アーム中の波の間の位相差と関係している」。

あなたは、このマイケルソンの見解をまるで無視しているかのように、位相差は波源からの波の分離時の位相とミラーへの到達時の位相との間に生じるなどというあなたの以前の理解に従い、次の質問を私に与えたのでした。あなたには、まさにこの位相差こそが干渉を引き起こしているように見えているわけです。あなたがどんな質問をしたか、思い出してください：「(略) 振動源上とミラー上における1秒当たりの振動数は同一になるというわけですね。しかし、それらにおける位相は相異なっています。ご同意いただけますね、オレークさん？」

イワンさん、そのとおりです、相異なっています。マイケルソンもこの点ではあなたに同意することでしょう。ただし、彼はあなたにこう問い返すことでしょう：「では、干渉が別の場所で生じている場合には、その位相差はいったいどんな関係があるのですか？」。すなわち、マイケルソン（そして私）が関心を持っていたのは、それとはまったく別の位相差、つまり、水平アームからやって来る波と垂直アームからやって来る波の間の位相差だったのです。

あなたは最後の手紙で、波源からの波動発生器の分離、またはその逆の場合について語っています。マイケルソン（そして私）にとって、波動発生器と波源は同じものです。しかし私は、あなたがこれによって何を言いたかったのかを推測できたような気がします。イワンさん、あなたは再び、波源からミラーまでのある1つの具体的な区間に注意を集中し、そのどこかで波の重ね合わせと干渉が生じていると考えておられます。

それは間違っています。第III節、すなわち「相殺メカニズムの作用を理解するため、…」という語句で始まっているテキストを注意深くご覧ください。そこでは干渉像の発生メカニズム、そのメカニズムを他ならぬマイケルソンがどのように理解していたかが記述されています。イワンさん、もしあなたが彼に同意されるのなら、私にその旨を書き送ってくださるようお願いいたします。なぜなら、あなたはマイケルソンに同意していないと、私は考えているからです。

イワン：

オレークさん、私が言おうとしていたのは、まさに位相差のことだったのです（不注意をお許しください）。しかし、位相差を計算するためには、2つの位相を計算する必要があります。相殺メカニズムは、周波数は変化しないと主張しています。

マイケルソンもまた、周波数は変化しないとみなしていました。それゆえ彼は、水性媒質（エーテル）の存在を予想して計算したときのようなやり方で、位相差の計算を行うことができたのです。

私が興味を持ったのは、まさにこの[第III節の]ページでした。他ならぬこの理由により、あなたは間違っていると私は書いたのです。

オレーク：

イワンさん、あなたはまたも、干渉については何も言われませんでした。あなたは位相差を何か独自の仕方で理解されています。あなたはどのような位相差について語っているのですか？ あなたの手紙はあまりにも短いので、そこからはあなたが頭の中に持っている全体像を明瞭に読み取ることができません。ただし、私は自分が的外れな受け答えをしていると感じています。しかし、あなたの干渉の理解に関する情報が不足しているため、私はご質問にしかるべき仕方で回答することができないのです。

イワン：

オレークさん、あなたは干渉が何なのかを理解しておられます！ 私も理解しているとお考えください。

私には、あなたが相殺への賛同をあくまでも主張されている理由がよく分かりません。

あなたは周波数が増えないことを証明しようとされています。これについては誰も反論していません。マイケルソンもまったく疑いなくこれを受け入れています。ですから、証明は必要ありません。これを証明する公式は、所与の速度で流動する媒質の内部における波の伝播に関する絶対的に明白な一目瞭然たる原理から得られたものです。ですから、相殺に関するあなたの主張はこの公式を少しも変えるものではなく、また、干渉像のシフトが観測されるはずで [このフレーズの後半の意味は不明瞭—訳者]。

そのシフトの不存在はローレンツによる長さの収縮によって説明することができます。ここからは相対性理論はまだ導き出されません。私はこれに関する興味深い論文からの引用をあなたに与えることができます。しかし、周波数の不変性により、干渉像のシフトは観測されないはずであるというあなたの主張は間違っています。

オレーク：

引用します：「私には、あなたが相殺への賛同をあくまでも主張されている理由がよく分かりません」。

マイケルソンは川の流に沿って、流に逆らって、また、流を横切って往復運動する漕ぎ手が乗っているボートをイメージしていました。彼はこの類推に厳密に従って実験の分析を行いました。しかし、漕ぎ手が乗っているボート、すなわち**点状物体は波動過程**のための類推となることはできません。それゆえ、マイケルソンはドップラー効果を念頭に置かず、光行差の結果によるビームの偏向を完全に間違った方向に描きました。もちろん、彼は相殺原理に関する概念を持っていませんでした。彼はこれらの誤りの結果、干渉計が運動するとき、垂直アーム中の光路は水平アーム中の光路より短くなるという結論を得ました。彼はそれらの光路を等しくするため、「ローレンツの仮説」に従い、運動する干渉計の場合の水平アームの長さを縮小したのでした。

言うまでもなく、誤りは正さなければなりません。点状物体はまったく何の役にも立ちません。しかし、光を振動の形で表現した場合には、装置の運動に伴ってドップラー効果が必然的に生じます。ドップラー効果とのみ関係を持っている相殺原理が作用する結果、静止した干渉計中で生じる全ての現象が、運動する干渉計中でも生じます。すなわち、水平アーム中の光路と垂直アーム中の光路は同一となり、位相差は発生せず、干渉像は静止した装置中と同一になり、長さのローレンツ収縮はまったく不要となります。相対性理論も不要になります。全ての説明は古典波動理論の枠内に収まります。

イワン：

オレークさん、あなたには私の声が聞こえていません。あなたは自分の言葉を繰り返しているだけです。

漕ぎ手が乗っているボートとは、波動過程における波面です。ここではドップラー効果などまったく必要ありません。時間は何にも依存しておらず、だから周波数は変化しません。

これで終わりにしましょう。私はあなたを説得したいとは思いません。あなたはご自身でよくよくお考えにならなければなりません。

実際のところ、そんなことをしなくても既に全てが明らかになっているのに、ここで何を考えなければならないのか。イワンはマイケルソンの古い説明に固執しており、しかも、細部においてひどく混乱している。彼は想像によって誘導されている。彼は干渉がいつ、

どこで生じるかをまったく理解していない。彼は奇妙なやり方で波動発生器から波源を「分離」し、あるいはその逆のことを行っている。そのとき、彼の心の目にどのような光景が浮かんだのかを、彼の不明瞭な叙述に基づいて判断するのは困難である。しかし彼は、本節で提案されている波動モデルを明らかに理解しておらず、そして当然のことながら、このモデルの存在権を否定し始めた。一方、ボートは川に沿って相対論的速度で航行しているわけではない。したがって、全ての説明は古典物理学の枠内に収まらなければならない。残念ながら、マイケルソンによる誤った分析の後、長さの収縮と相対性理論を導入せざるを得なくなり、このことが物理科学にとって大惨事となった。

— 第V節 —

マイケルソン・モーリーの実験に関する私の説明に対する無理解に関係する、もう1つの補足をしよう。私のサイトの訪問者—ピョートルと呼ぼう—が2013年12月8日に私に次の手紙を送ってきた。

ピョートル：

拝啓、オレーク・エヴゲニエヴィッチ様！

資料の豊富さは、物理学の基礎が恣意的に解釈されている場合にはなおさらのこと、マイケルソン・モーリーの実験についての理解の助けにはなりません。いくつかの例を挙げましょう。

検討に際しては光の波動性を考慮する必要があるとあなたは書いていますが、これはその通りです。ところがあなたは次のように書いています。

「では、光源が運動している場合には、何が生じるのであろうか？ 車体に噴水が取り付けられていて、その噴流は上方垂直方向を向いていると想像していただきたい。車が走行すると、当然、その噴流は前方に偏向する。したがって、光源が運動するとき、光行差角 α は、法線から、光源の移動速度ベクトルとは**反対方向の側へ**離れていく必要がある」。

いかなる根拠によってか？ この結論は、外部の（地球外の）観測者にとっては妥当ですが、地球と結合している干渉計中では観測することができません。噴水と車は同じ速度を持っているのですから、噴水はどこへも偏向することができません。空気の抵抗、そして光の場合にはエーテルの抵抗を考慮する必要があると、あなたはおっしゃることでしょう。しかしまず最初に、エーテルの抵抗が存在することを証明してください。

「もしミラーが極小のサイズのものであるとすると、光行差（ビームの後方への偏向）により、ビーム3'はそもそもミラー S_1 に当たらないはずである」。

点光源は円形の方法ダイアグラムを持っており、したがって点光源から出た波はどこでも好きな所に当たることになります。

「我々が既に知っているように、マイケルソンは幾何学的分析を行った際、光行差角 α を正しく算出しなかった。この場合には、その角度は20.45''である」。

この角度はどこから現れたのですか？ 光行差にはそもそもいかなる角度も存在しません（入射角は反射角に等しい）。波長に関する実験に対するあなたの評価は批判に耐えられません。なぜなら、干渉像は様々な波長の総体によって形成されるものであって、あなたによって記録された距離上においてでは全くありません。実際には、実験は、それについての記述よりはるかに複雑なものであり、何かを具体的に計算することが可能ということはありません。

「こうして、幾何学的形式に対して嫌悪感を覚える人間が、運命の定めにより、そこではまさに波動像の明確な構築が主要問題となっていた実験結果の主要な解釈者となった。どうやらローレンツは、点Pから点Qへ伝播する光ビームを、消火用ホースのノズルが噴流をどの方向に向けようと、常にホースから一定速度でほとぼしり出る噴流としてイメージしていたようである。彼はその著書の第167節で、垂直ビーム3が通過した距離をピタゴラスの定理に従って次のように決定した：（略）そして彼は、光はこの経路を速度 c で進行しなければならないとみなした。言い換えると、彼は、アインシュタインの第2公準が発表される以前に、既に等式 $c^2 = c'^2 + v_2^2$ を採用していた。言うまでもなく、これは神の洞察ではなく、初歩的な誤りである」。

尊敬するオレーク・エヴゲニエヴィッチさん、ローレンツについて何もひねった解釈を加える必要はありません。彼の計算は幾何光学に基づいた行われたものであり、絶対的に正しいのです。彼も、彼の次の世代の物理学者も光の波動性を考慮していなかったという

ことは、それとは別の問題です。また、彼は物体のサイズの収縮を、実験の説明のためだけに役立つ、形式的なものとみなしていました。あらゆる論理に反し、自らの不条理な公準に基づいてその収縮に絶対的意味を与えたのは、A.アインシュタインだったのです。

このような類の例をもっと続けることは可能ですが、このことに意味はあるでしょうか？

敬具、ピョートル

オレーク：

「資料の豊富さは、マイケルソン・モーリーの実験についての理解の助けにはなりません」ということは、たしかにその通りです。しかし、理解できないことは人によって異なります。[回答可能な] 質問の最大数について予めお断りをしておきたい、この実験に関するニュアンス [多種多様な問題] を全部洗い出したいという気がしてきます。それにもかかわらず、質問というものは、まったく予想もしていなかった所でさえも生じるものです。ピョートルさん、あなたは光行差現象について、特に角度 $20.45''$ がどこから現れたかについて何も聞いたことがないのではないかという印象が生じてきます。私はそのような光行差について第II節の冒頭で既に説明しました。図2およびそれに付けられているテキストをご覧ください。私の意見では、そこでは全てのことがかなり平明に叙述されています。ところで、私のサイト *Sceptic-Ratio* には、光行差について語られている場所がもう1つあります（「プライムのパラドックスと嘘つきのパラドックス (*Парадокс штриха и парадокс лыжников*)」)。ここで、該当する説明をそこから引用しましょう。

「1727年、ロンドン王立協会（我が国の科学アカデミーのような団体）の会員でオクスフォード大学の天文学教授であったジェームズ・ブラッドリー（1663–1742）は、全ての星が1年を通じて振動をしていること、より正確に言えば、天空上に小さい楕円を描いていることを発見した。星々のそのような共動運動の原因は、太陽を周回する地球の公転であることが判明した。それへの方向が地球の軌道面に対して直角な星は、運動方向において角度 $\alpha = 20.45''$ だけ変位しているように見える。ブラッドリーはこの変位を光の伝播速度の有限性によって説明した。彼は光を、速度 v で運動する「地球」と呼ばれるきわめて大きな粒子に対して速度 c で空虚な空間中を運動している、きわめて小さい粒子という形で理解していた。しかし、いわゆる「光の弾道理論」（特に、偉大なニュートンがこの理論の支持者であった）の枠内で得られた結論は、やはりニュートンに劣らず著名な物理学者たち（ホイヘンス、ヤング、フレネル、マクスウェル）が支持していた光の波動理論の場合にも妥当する。波動光行差を図4.4に示す。波動光行差の要点は、望遠鏡の対物レンズによって切り取られた波面が接眼レンズに到達することができるようにするためには、望遠鏡の鏡筒を入射波面に対して角度 α だけ傾ける必要があるということである。ブラッドリーは、光行差角と呼ばれている鏡筒の傾斜角の既知の正接、および地球の既知の公転速度に基づいて光速を決定した：

$$\tan \alpha = \beta = v/c = 10^{-4}, \quad \text{ここで } v = 30 \text{ km/s}, \quad c = 300\,000 \text{ km/s.}$$

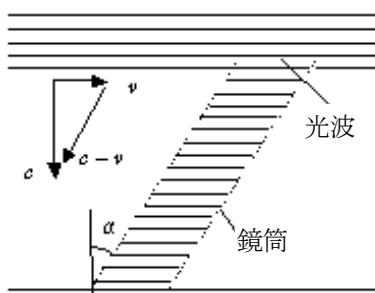


図4.4. 運動している地球上に存在する望遠鏡の鏡筒は、遠方の星から来る光波が対物レンズから接眼レンズまで鏡筒全体に沿って歪まずに進むことができるようにするためには、角度 α だけ傾けられなければならない。

ここでは、光源は運動している地球の外部にあります。マイケルソン・モーリーの実験におけるように、光源が運動している地球上にある場合には、その光行差角は反対の符号、すなわち負の符号が付いたものとなります。一般的に、光行差はドップラー効果と密接に関係しています。本質的に、それはコインの両面です。ドップラー効果については、私はたくさん書いています：

- ・音響学入門. 音と超音波の本性 [Введение в акустику. Природа звука и ультразвука](#)
- ・構成的物理学入門 [Введение в конструктивную физику](#)
- ・古典的ドップラー効果を記述する公式について [О формуле, описывающей классический эффект Доплера](#)
- ・相対論的ドップラーの公式の誤り [Ошибочность релятивистской формулы Доплера](#)
- ・ドップラー効果の量子論 [Квантовая теория Доплер-эффекта](#)
- ・講義 4. ドップラー効果 [Лекция 4. Эффект Доплера](#)
- ・ドップラー効果に関するよくある質問 [Часто задаваемые вопросы по эффекту Доплера](#)
- ・ドップラー効果の馬鹿げた計算 [Идиотский расчет эффекта Доплера](#)
- ・医療における心臓血管系の超音波診断のための横ドップラー効果の利用 [Использование в медицине поперечного эффекта Доплера для ультразвуковой диагностики сердечно-сосудистой системы](#)
- ・感受される波長の赤方領域への偏移効果 [Эффект сдвига воспринимаемой длины волны в красную область](#)
- ・波動過程のモデリング. ドップラー効果 [Моделирование волновых процессов. Эффект Доплера](#)

ピョートル：

拝啓、オレーク・エヴゲニエヴィッチ様！

あなたは光行差とは何かを理解されていません。角度を計算するために、まったく無関係な、過程の物理を伴う純粋に幾何学的なアプローチが用いられています。噴水を用いたあなたの例は、エネルギー、運動量および角運動量の保存則に反しています。まず、それらの保存則を廃止して、それから何でもお好きなことを検討してください。

敬具、ピョートル

オレーク：

あなたが示された**動力学的**法則は、ここでは破られていません。なぜなら、光行差もドップラー効果も、あなたが正しく指摘されたとおり、「純粋に幾何学的なアプローチ」、つまり**運動学的** [kinematic] アプローチと関係しているからです。初級物理学の教科書では、光行差の運動学を理解させるため、雨に見舞われ、開いた傘を持っている人の挙動を用いた完全に正しい例がよく挙げられています。例えば、『バークレー物理学コース』第1巻「力学」(著者：C.キッテル，W.ナイト，M.ルーダーマン。本書のロシア語訳は1971年に出版された)の335頁には次の図が掲げられています。



図 10.7. 光行差の簡単な例. この通行者は垂直に降る雨に遭った。彼は傘の下でじっと立っていれば濡れずにいるが、彼が走り出すと、必ず靴やズボンが濡れることになる。彼の新たな基準系中では、雨粒は水平方向の合成速度を持っている。

この例に、次のことを追加しましょう。通行者が靴やズボンを濡らさないようにするためには、図6に示すように、彼は傘を**光行差角**だけ傾ける必要があります。



図6

雨が降っているとき、通行者はその場に留まっているが、しかし風が吹いている場合にも、相対性原理によって光行差が生じます（図7）。通行者が傘を頭上に保持している場合には、彼は靴やズボンを濡らすことになります。そうならないようにするためには、彼は傘を**光行差角**だけ傾けて保持しなければなりません。

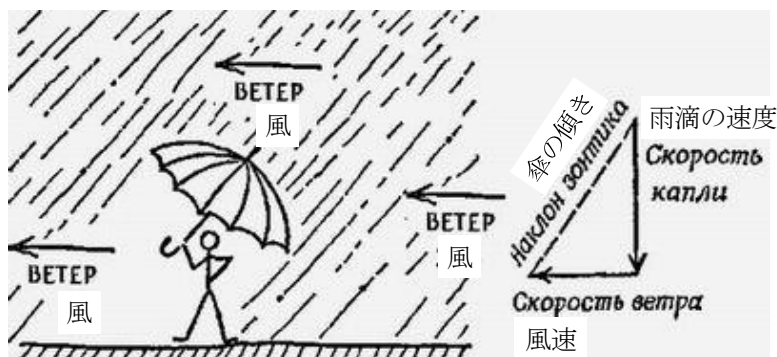


図7

噴水の場合にもそれと同様の状況が生じます。風が吹き始めると、上昇しつつある水流は風が吹いて行く方向へ傾きます。なぜなら、この場合における水流あるいはその個々の水滴は、空気の運動座標系中にあるからです。無風状態の天候のときは、噴水を運動するプラットフォーム上に設置した場合、噴水は後方へ偏向します。

そしてここでの問題は、空気流が何らかの**追加的力**で水滴を「圧迫する」、すなわち、ある種の新たな**動力学的**状況が発生するということではまったくありません。そうではなく、ここで我々は、これまでと同様に、噴水の運動する水滴あるいは水流が静止した空気の静止座標系中にある、純粋に**運動学的**場合を相手にしているのです。

光行差を念頭に置いている場合には、上に挙げた諸例は、ピョートルさんがその最初の手紙で書いていたように、「光の波動性を考慮する」必要はまったくないということを我々に物語っています。1727年に光行差を発見したブラッドリーは、光に対するニュートンの見解を堅持していました。すなわち、彼は光を、雨滴のように運動する微粒子の流れの形でイメージしていました。

プラットフォーム上で運動する噴水をイメージすることは可能ですが、しかし現実には、誰かがそのような噴水と出会うなどということはまずあり得ません。しかし、煙突から煙が立ち上っている汽船の絵（図8）は、誰もが見たことがあります。上昇する煙を噴水に、またその逆に置き換えることは完全に可能です。

マイケルソン・モーリーの実験では、噴水と汽船の煙によるこれらの例が実現されています。そこには、地球と一緒に運動しているプラットフォーム上に設置された光源が存在し、また静止エーテル、すなわちその中で電磁放射が伝播するある種の世界媒質も存在しています。図1bをもう一度ご覧ください。光ビーム3が、普通教科書に描かれている方

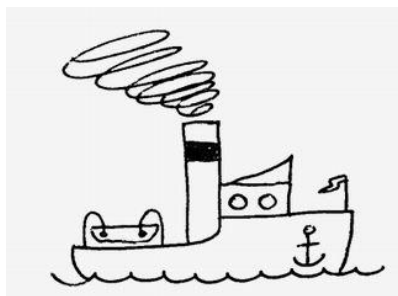


図 8. 光行差を実物で示すための斜めに降る雨の流れの例（図 6 および 7）と並んで、蒸気機関車あるいは汽船の煙突から噴出する煙の例を用いることができる。この図には、右方向へ航行しており、煙突から出た煙が左方向を向いている汽船が描かれている。なぜか？ その理由はただ一つ、煙源（この場合は汽船）が運動し、大気が静止している場合における光行差がこれによって表現されるからである。

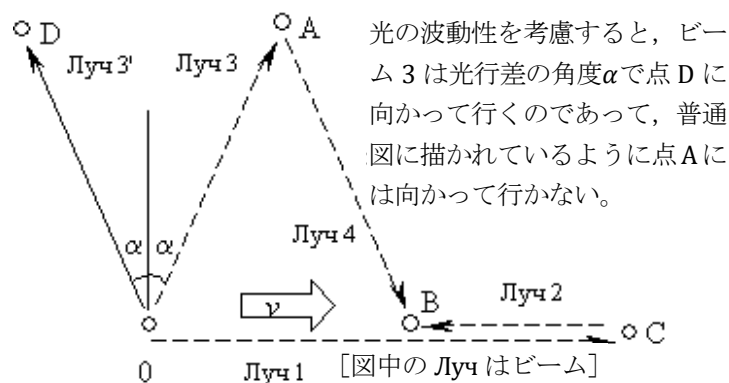


図 1b. 干渉計中の光ビームの経路. この図において破線で描かれているのは、マイケルソンがそのボートの例を指針として最初に描いた光ビームの伝統的なダイアグラムである（第 I 節の末尾参照）。残念ながら、偉大な実験家は間違っていた。装置の水平アームの長さの収縮に関する仮説を提唱したローレンツは、彼の間違いに気付かなかった。間違いはどこにあったかと言えば、それは、ビーム 3 は、若干の留保付きで言えば、「エーテルの川」の流れによって押し流されるように右側へ偏向するのではなく、ビーム 3' がそこへ偏向している左側へ偏向する、すなわち、装置の運動方向に対して反対側へ偏向するということである。エーテルは静止している。したがって、光行差角 α を垂直線から反対側へ傾ける必要がある。汽船が前方（右側）へ航行しているとき（図 8），汽船の煙突から出た煙（図 8）が後方（左側）へ偏向する理由を明確に理解していれば、このような解が直ちに頭に浮かんでくる。この間違いを分析することは、マイケルソン・モーリーの実験の否定的結果を解釈する上できわめて重要である。我々がピョートルの手紙にこれほどまでに注意を払っているのは、まさにこの理由による。彼の誤った理解は、残念ながら、空間中における物理過程をよく理解していない相対論者や形式主義者に特徴的なものである。

向ではなく、それとは反対側を向いている、すなわちビーム 3' として描かれている理由は、おそらく、今では誰にとっても明らかでしょう。

ピョートル：

拝啓、オレーク・エヴゲニエヴィッチ様！

あなたの理論構築の仕方は、実験の記述といかなる関係も持っていません。物理学的観点から見ると、噴水が偏向すると、それに対してエーテルの抵抗力が作用し、噴水は追加的なエネルギーを得ることになります。これはエネルギー保存則に反しています。実際には、地球は宇宙の中を顕著な加速なしで運動しており、いかなる抵抗力も存在しません。

敬具、ピョートル

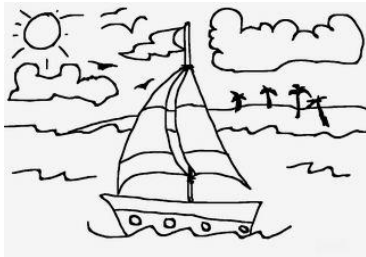


図9

水の水流あるいは水滴に対する圧力は、空気の密度が変化するときのみ生じます。この場合には、実際には空気の分子間における弾性力が発動します。例えば、帆船は帆の前方と後方の圧力差によって移動します（図9）。

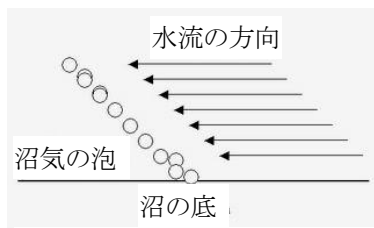


図10

泡は、それらに対する流束からの顕著な圧力を受けることなく、水流によって押し流されます。それらは斜め上方へ移動します。なぜなら、その中で気泡が厳密に垂直上方に上昇している水媒質は、水平に移動しているからです。すなわち、我々は再び、ありふれた2つの速度ベクトルの合成を相手にしているわけです。

ピョートルさんがそうしているように、周囲媒質の圧力、抵抗あるいは弾性力に関する要求を主張し、意地を張り続けることは可能です。しかし、水滴や吹き上げる噴水の例を挙げている私や教科書の著者たちは、これらの**動力学的**現象を無視し、これらの現象に常に存在している、そして光行差を説明する上で最も重要な構成要素である**運動学的**要素を様々な手段を用いて強調しています。

マイケルソン・モーリーの実験に話を戻しますと、ここではもっぱら光伝達媒質の中を伝播する波動過程について論じられている以上、他ならぬ運動学的要素が光ビームの偏向において主要な役割、そしておそらく唯一の役割を演じています。この実験の結果を古典物理学の観点から説明するべきであると主張している反相対論者たちは、空気媒質中または水媒質中における音波に関して行われる同様の実験においても、それと全く同じことが生じると繰り返し強調してきました。なにしろ、若干の留保付きで言えば、波面はそのような流束にとっては帆ではない以上、水流あるいは空気流（すなわち風）が音波を圧迫することはできないことは明らかであるからです。

ピョートルさんはマイケルソン・モーリーの実験に対する独自の説明を提案されましたが、残念ながら、そこでは光行差およびドップラー効果が考慮されていません。ですから、それは間違いであると予め言うことができます。これら2つの現象を考慮に入れば、この実験の否定的結果を容易に理解することができます。原理的には、1つの単純な事実を理解するだけで十分です。それは、光源と受光器は地球と一緒に運動している同一のプラットフォーム上に設置されているので、相互の相殺により、どんなに干渉計を回転させても、光路は不変のまま保たれるという事実です。

ピョートルからの次の手紙には、私のコメントが差し挟まれている：

拝啓、オレーク・エヴゲニエヴィッチ様！

あなたは、あなたに対して書かれていることについて、すこしも考えようとしない。つ

オレーク：

あなたの「噴水が偏向すると、それに対してエーテルの抵抗力が作用し、噴水は追加的なエネルギーを得ることになります」という語句にのみ焦点を当てて、これが破綻していることを示しましょう。第1に、噴水が話題になっている場合には、エーテルではなく、空気について語る必要があります。しかしこれはまあ、書き間違いですね。第2に、これはもっと根本にかかわるコメントなのですが、噴

まり、物理学を知らないか、あるいは自分の間違いを認めたくないかのどちらかだ。もう一度繰り返します。もしビームがあなたが選んだ方向に反射するのだとすると、ビームはエーテルの抵抗を受けることになります。

「上記において私が詳しく説明したように、光行差の際には、運動学のみが作動するのだから、エーテルから光ビームに対するいかなる抵抗も生じません。一ところがまたも、動力学を参照せよと忠告している。私はもう、こう叫ぶしかありません。

「あなたは、あなたに対して書かれていることについて、すこしも考えようとしなさい」。

したがって、ビームは追加的エネルギーを得ます。

「光行差の際に追加的エネルギーが発生しない理由については、既に述べました。

ピョートルさん、そのテキストを見付けて、注意深く読んでください。」

なぜなら、幾何光学の法則により、光は角度 45° に反射しなければならないからです。

「入射角は反射角に等しいという幾何光学の法則の法則は、光行差の場合には破れます（第Ⅱ節の冒頭参照）。」

このことから、私が以前に語った保存則の破れが生じます。

「あなたがそう語ったことは私も覚えています。ただし、ここでは保存則は何の関係ありません。干渉計中における光路の変化は、それ自体としてはまだ保存則の破れをもたらしません。繰り返します、議論されているのは運動学についてであって、動力学についてではありません。」

地球はエーテル（もしそれが存在するとすれば）の中をいかなる抵抗も受けずに運動しています。

「ピョートルさん、あなたは「地球はエーテルの中を」という表現をしたのですから、地球やその他全てのものはエーテルから「作られている」ことを理解しなければなりません。我々の惑星は、大きくて複雑なエーテルの励起系です。この系は、まるで水面上の波頭のように、エーテル粒子を移動させることなく世界媒質中を運動しています。地球が何十億年も太陽の周りを回っている間に著しい抵抗を受けていないのは、まさにそのためです。質量はもっぱら電磁気的本性を持っています。慣性質量が重力質量と等しい理由は、このことにあります。我々の議論の道筋を見失わないようにするため、このテーマをこれ以上掘り下げるのはやめましょう。重要なのは、約 200 年前に生まれたエーテルの部分引きずりに関するフレネルの理論から導き出される結論を覚えておくことです。それは次のように述べています。地球およびその他任意の物質的物体は世界媒質を静止したままにする。移動作用の対象となるのは、媒質の余剰密度、すなわち媒質のある種の渦運動あるいはその他任意の擾乱のみである。」

ですから、ビームはどこへも偏向することはありません [偏向する。私はその理由を既に説明しました]。あなたの船倉中の噴水[?]もまた、どこへも偏向することはありません。

「何てことだ！ いったいなぜ、船倉中なのか？ ピョートルさんは全く何も理解していなかったのだ。彼には空間的想像力が完全に欠如している。噴水は空気媒質（すなわち風）によって押し流されるのだから、噴水が存在している場所は屋根や覆いのない場所でなければならない。私は誰のために図 8 と 10 を考案したのか？ 1 番目の絵では、噴水は、航行している汽船の煙突から出る煙に置き換えられている（図 8）。2 番目の絵では、煙は、水流によって押し流される気体に置き換えられている。私は何のためにこの置き換えをしたのか？ ピョートルさん、それは、気体と煙が外部圧力から自由であることをあなたに感じ取ってもらうためだったのです。それらは媒質の移動によって移動しています。あなたがずっと繰り返し言っている媒質の抵抗が発生するのは、何らかの物体（噴水の水滴、煙の粒子、気泡）を何かを押すと

き、すなわち、媒質内部を運動することを物体に強制する力がそれに作用するときなのです。それに対して、我々の場合には、物体と媒質は常に同一の速度を持っています。言い換えると、物体は媒質中で静止しています。

最初の気泡が沼の底の表面上方へごくわずかにだけ上がり、即座に気泡が水流の運動座標系中に入ったところを想像してください。気体は水に対していかなる抵抗も及ぼす暇がなかった（最初の瞬間を除いて）。そしてその先、気泡は垂直上方へ上昇して行く。次に2番目の気泡が現れ、やはり上方へ向かって行く。その後、その他の気泡が誕生し、それらは列をなして斜めの連鎖になる。なぜなら、より早く出た気泡は、水流によって流れに沿った前方のより遠い所へ押し流されるからです。まさにこれが基本的な光行差効果なのです—お分かりですか、ピョートルさん。抵抗のことは忘れてください。ここには保存則のいかなる破れもありません—それがどんな破れなのか、私は知りません。あなたは、噴水の偏向は「エネルギー、運動量および角運動量の保存則に反しています」、すなわち、いっぺんに3つの保存則に反していると書いておられます。言わせていただきますが、これはひどい言いがかりです。]

光の波動性を考慮すると、ビームは、運動方向が選択されているとき、垂直線から右側へ偏向するのであって、あなたが描いているように左側へは偏向しません。

[ピョートルさん、面倒くさがらずに、まさに光波が描かれている図4を注意深く調べ、そこに付けられているテキストを最後までお読みください。もし光波の配置に同意されないのなら、ご自分の図を描き、それを説明してください。]

あなたはご自身の何か曖昧な推論から光行差を引っ張り出し、それを全く無関係なこの過程に当てはめたのです。

[ドップラー効果が存在するのなら（電磁振動の振動源と受振器が存在している以上、ドップラー効果は存在します）、それはすなわち、光行差も存在するということです。上記において述べたように、光行差とドップラー効果はコインの両面です。目のある人なら誰でも、それと同じ図4上で光行差とドップラー効果の両方をはっきり見て取ることでしょう。]

敬具、ピョートル

[敬具、オレーク]

文献一覧

1. Oppenheimer R. 『空中ブランコ』, モスクワ, Atomizdat, 1967. [原著は J. Robert Oppenheimer «The Flying Trapeze: Three Crises for Physicists» (London, Oxford University Press, 1964)。原著をキーワード «Internet Archive, Oppenheimer, The Flying Trapeze» で, またロシア語版を <https://ikfia.ysn.ru/wp-content/uploads/2018/01/Oppengejmer1967ru.pdf> で入手可能。]
2. Jaffe B. 『マイケルソンと光速度』, モスクワ, 外国語文献出版所, 1963. [原著は Bernard Jaffe «Michelson and the Speed of Light» (New York, 1960)。]
3. Einstein A. 「地球の運動が地球に対する光速度に及ぼす影響に関する新たな実験」, 『科学論集』, 第 2 巻, モスクワ, Nauka, 1966.
4. Pais A. 『アルベルト・アインシュタインの研究活動と生涯』, モスクワ, Nauka, 1989. [原著は Abraham Pais «Subtle Is the Lord: The Science And the Life of Albert Einstein» (Oxford University Press, 1982)。]
5. Einstein A. 「運動物体の電気力学について」, 『科学論集』, 第 1 巻, モスクワ, Nauka, 1965.
6. Holton J. 「アインシュタインと決定実験」, 『物理科学の成果』, 第 104 号, 1971. [原論文は «Gerald Holton, Einstein and the «Crucial» Experiment, Amer. J. Phys., No. 10, 37 (1969)» であり, <https://dash.harvard.edu/server/api/core/bitstreams/ac85072b-98e9-4c1a-bf64-c7790469c691/content> で入手可能。]
7. Holton J. 『科学の主題分析』, モスクワ, Progress, 1981.
8. Bondi H. 『相対性と常識』, モスクワ, Mir, 1967. [原著は Hermann Bondi «Relativity and Common Sense: A New Approach to Einstein» (Dover Publications, 1962) 。]
9. Bondi H. 『物理理論における仮説と神話』, モスクワ, Mir, 1972. [原著は Hermann Bondi «Assumption and Myth in Physical Theory» (Cambridge U.P., 1967) 。]
10. Michelson A.A. 『光学に関する研究』, モスクワ・レニングラード, 国営技術出版所, 1948. [原著は Albert A. Michelson «Assumption and Myth in Physical Theory» (University of Chicago Press, 1927) 。]
11. Michelson A.A. 『光波とその応用』, モスクワ・レニングラード, 国営技術出版所, 1934. [原著は A.A. Michelson «Light waves and their uses» (University of Chicago Press, 1903) 。]
12. Lorentz H.A. 「物理学における新方向」, 『物理学の古い問題と新たな問題』, モスクワ, Nauka, 1970.
13. Lorentz H.A. 『電子理論と光学現象および熱放射現象へのその適用』, モスクワ, 国営技術理論文献出版所, 1953. [原著は H.A. Lorentz «The Theory of Electrons: and Its Applications to the Phenomena of Light and Radiant Heat» (1916)]
14. Michelson A. and Morley E. 「地球と光伝達エーテルの相対運動について」, G.M. Godin, S.R. Filonovich 『物理科学の古典』 (古代から 20 世紀初頭まで) 所収, 参考書, モスクワ, Vysshaya shkola, 1989, pp.512-523. 論文«On the relative motion of the Earth and the luminiferous ether» /// American Journal of Science, Ser. 3, 1887, vol. 34, p 203, p. 333 – 345. の S.R. Filonovich による翻訳。[原論文は <file:///C:/Users/cbb30/Downloads/62505-on-the-relative-motion-of-the-earth-and-the-luminiferous-ether.pdf> で入手可能。]
15. Frankfurt U.I., Frenk A.M. 『運動物体の光学』, モスクワ, Nauka, 1972.
16. マイケルソン・モーリーの実験に関する会議 (1927 年 2 月 4・5 日にカリフォルニア州パサデナ市ウィルソン山天文台において開催) / Conference on the Michelson – Morley experiment. Held at the Mount Wilson Observatory, Pasadena, California, February 4 and 5, 1927. [原論文は <https://articles.adsabs.harvard.edu//full/1928ApJ...68..341M/0000341.000.html> で入手可能。]
17. Zommerfeld A. 『理論物理学に関する講義. 光学』, 第 4 巻, p.99.

著者紹介



オレーク・エヴゲニエヴィッチ・アキモフ (Олег Евгеньевич Акимов, Oleg Evgenievich Akimov) (生年不詳～2021 年)

1. 著者の専門分野と業績 (https://vk.com/wall-151261609_65?ysclid=m93ud2rw5958103460, <http://www.vixri.ru/d/Akimov%20O.E.%20REZJuME..pdf?ysclid=m910hw2d2d39267961>)

数理解物理学準博士。相対性理論, フロイト主義, エジプト学の問題点に対するアクティブな批判者。科学史家, 教育家であり, 数冊の本の著者 (『構成的数学』, 反相対論的な『物理学教程』, 『認知心理学』。教科書『自然科学: 連続講義』および『離散数学: 論理・群・グラフ・フラクタル』はロシアの技術系高等教育機関のいくつかの講座で基礎的教科書として採用されている)。古典的ドップラー効果の修正公式の提唱者。また, 半導体中の励起子との類推を行い, 固体結晶エーテルモデルを提唱した。

2. 著者のサイトと動画

- ・著者のサイトのトップページ: <https://sceptic-ratio.narod.ru/site.htm>。
著者のサイトはブラウザの翻訳機能を使って日本語訳で読むことができる。ただし, トップページの日本語訳中の次の語句は完全な誤訳 (2025 年 5 月 Google で閲覧)。
(1) 「Ratio-Skeptic (比率懷疑論者)」→「Ratio-Skeptic (懷疑的理性)」。この誤訳の原因は「日本語の数学用語の有理数, 無理数は誤訳」という有名な話にも関係している。
「理性」という用語の由来については, 日本語版 Wikipedia の記事「理性」を是非参照されたい。
- (2) 「世界環境」→「世界媒質」。
- (3) 「差異の発見」→「微分の発見」。
- ・YouTube における著者の講義の動画
(1) Эфир. Часть 1. Эфирный ветер нельзя обнаружить (エーテル. 第 1 部. エーテル風は検出することができない) https://www.youtube.com/watch?v=j4_GL_Nfi7g (ちなみに視聴回数は 40 万回)
- (2) Эфир. Часть 2. Модель атома Томсона и пылевая плазма (エーテル. 第 2 部. トムソンの原子モデルとダストプラズマ)
<https://www.youtube.com/watch?v=UcXMs50gRsQ&t=58s>
- (3) Эфир. Часть 3. Становление физики. Вся правда о Ньюtone. Ньютон – вор! (エーテル. 第 3 部. ニュートンに関する全ての真実. ニュートンは泥棒だ!)
<https://www.youtube.com/watch?v=pgTpt5xFYc0&list=PLNJG6P8L4YJ-OGWaedyD8UiAzsE-K7p52&index=3>

3. 本論文「10. マイケルソン・モーリーの実験」の位置付け

本論文は, 著者の著書『自然科学: 連続講義』(モスクワ, UNITY-DANA, 2001, 639 p.) に含まれている相対性理論に関する部分を基にして, それに大幅に手を加えて著者のサイトに掲載された 16 本の論文のうちの 1 つである。本書の「要約」には, 「この出版物には, 1992–1996 年にモスクワ電力工学研究所 (現国立研究大学モスクワ電力工学研究所 (MPEI), 極東国立大学, コムソモリスク・ナ・アムール国立工科大学で行われた上級コース「自然科学」の講義が収録されている」と記されている。

相対性理論に関する 16 本の論文のうち連番が付けられている 1～14 ではそれぞれのテーマが詳しく検討されており、残りの 2 本は概論的な内容となっている。

- (1) Введение (はじめに) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es1.htm>
- (2) Новый взгляд (新たな眼差し) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es2.htm>
- (3) Мифы XX века (20 世紀の神話) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es3.htm>
- (4) Эффект Доплера (ドップラー効果) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es4.htm>
- (5) Парадокс штриха и парадокс лыжников (プライムのパラドックスと嘘つきのパラドックス) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es5.htm>
- (6) Парадокс штриха для координат (座標の場合のプライムのパラドックス) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es6.htm>
- (7) Спекулятивная геометрия (思弁的幾何学) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es7.htm>
- (8) Пространственные парадоксы (空間のパラドックス) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es8.htm>
- (9) Парадоксы времени (時間のパラドックス) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es9.htm>
- (10) Эксперимент Майкельсона – Морли (マイケルソン・モーリーの実験) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es10.htm>
- (11) Радиолокационный метод (レーダー法) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es11.htm>
- (12) Отклонение лучей света вблизи массивных тел (有質量物体の近傍における光ビームの偏向) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es12.htm>
- (13) Аномальное движение перигелия Меркурия (水星の近日点の異常移動) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es13.htm>
- (14) Как создавалась общая теория относительности (一般相対性理論はいかにして創出されたか) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es14.htm>
 - Главный аргумент против теории относительности (相対性理論に反対する主要な論拠) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/Mich.htm>
 - Почему теория относительности ошибочна (Коротко, доступно и исчерпывающе) (相対性理論はなぜ間違っているか (短く, 分かり易く, そして徹底的に)) <https://sceptic-ratio.narod.ru/fi/pochemu.htm>

〔訳注〕訳文中の「物質*」について

他の欧米諸語と同様、ロシア語には「物質」を意味する複数の単語がある。物理学で主に使われている用語は「**материя** [materia]」と「**вещество** [veshchestvo]」である。本来、この2つの単語の日常的用法における概念は大きく重なっており、両者の違いを文脈から切り離して定義することは事実上不可能である。しかし、ロシアの物理学界ではこれらの用語の使い分けについてある程度の合意が成立しているように思われる（当然のことながら、両者の概念の具体的な内容は論者の立場によって異なる）。

したがって、ロシア語文献からの訳文の理解に混乱を生じさせないためには、両者を訳し分けなければならない。しかし、訳者の知る限り、これらの用語に対応する日本語の物理学用語は「物質」の1語しか存在しないため、異なる用語によって訳し分けることはできない。そこで訳者は、多少煩わしさを感じさせるかもしれないが、「**материя**」は「**物質***」、「**вещество**」は単に「物質」と表記することで両者の違いが分かるようにしている。

かなり大まかな括り方をすると、「**материя** (物質*)」は「**вещество** (物質)」の上位概念であり、「**материя** は **вещество** および場などからなる」と言うことができる。おそらく、日常的な語感では、日本語の「物質」から思い浮かぶのは「**вещество**」のほうであろう。

ロシア語版 Wikipedia の記事「**Материя**」は次のように説明している（一部のみ抜粋）。

「**материя** —— 客観的現実、空間の内容物、科学および哲学の主要カテゴリーの1つ、物理学の研究対象。

物理学は、空間と時間（時空）の中に存在する何ものかとしての **материя**（ニュートンに始まる理解——空間は事物の入れ物、時間は事象の入れ物）、または空間と時間の性質をそれ自体が与える何ものかとしての **материя**（ライプニッツに始まり、後にアインシュタインの一般相対性理論において表現された理解）を記述する。時間の中で様々な形態の **материя** とともに生じる変化が物理的現象をなす。物理学の主な課題は、あれこれの種類の **материя** およびその相互作用の性質を記述することにある。

主な種類の **материя**

現時点では3つの形態の **материя** が存在する。

・ **вещество** —— ハドロン物質、バリオン物質／古典的理解における物質、反物質／中性子物質／その他の種類の物質／クォークグルーオンプラズマ／仮説上のプレクォーク超高密度物質*形成物

вещество とは異なり、場の内部に空虚はなく、場は絶対的な稠密性を持っている。

- ・ 場（古典的意味での） —— 電磁場、重力場／量子場
- ・ 物理的本性が不明な物質*の対象物 —— 暗黒物質*、暗黒エネルギー」