半透鏡での位相のずれに関する問題点の発端と結論

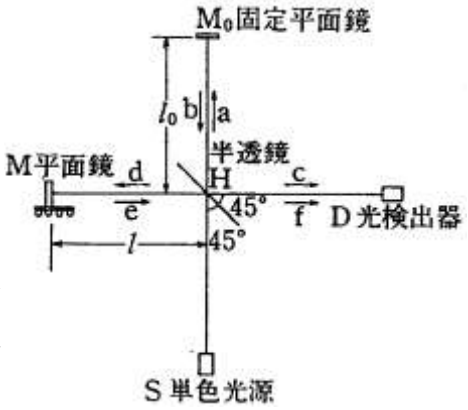
～筆者の回想を中心として～

斉藤　全弘

[1]　半透鏡での位相のずれが関与する典型的な問題として，次の入試問題を取り上げる。

大阪大学（1994 年）

図に模式的に示した装置で光の干渉実験をおこなった。



波長が連続にかえられる単色光源 S を出た光を半透明の平面鏡 H (半透鏡)にあてる。このとき，光の一部は H を透過し a となり，(光とその進行方向を矢印 a で模式的に示す。以下 b , c , d , e , f も同様)，固定平面鏡 M_0 で反射されたのち b となって H に戻る。b はさらに H でその一部が反射されて c となり光検出器 D に入る。一方，光源から出て H に入射した光の一部は H で反射されて d となり，平面鏡 M で e として反射されて H に戻る。e の一部は H を透過し f となり，これも光検出器 D に入る。光検出器 D では c と f を合わせた光の強度を測定する。H と M_0 との距離は l_0 に固定されているが，M は左右に移動できる。以下の問の [　　] をうめよ。なお整数が必要なときは記号 k を用いよ。

問 1　光源で発生する光の波長を λ に固定して，M を移動し半透鏡 H までの距離 l を変えながら D で光の強度 I を測定した。強度 I は l とともに周期的に変化した。I が極大になるのは $2|l-l_0|=$ [(1)] となるときであり，また I が極小になるのは $2|l-l_0|=$ [(2)] のときである。次に，I について極大を与える l のうちで隣り合う 2 点間の距離を u_0 とすると，用いられた光の波長は u_0 より $\lambda=$ [(3)] と表わされる。

問 2　以下は省略

大多数の人は，設問(1)の極大条件を，

$$2|l-l_0|=|k|\lambda \qquad ①$$

設問(2)の極小条件を，

$$2|l-l_0|=\left(|k|+\frac{1}{2}\right)\lambda \qquad ②$$

と答えるであろう。マイケルソン干渉計を題材にした同様の問題は，東京学芸大学（1993 年），九州大学（2002 年），熊本大学（2010 年），東海大学（2012 年）にも出題されているが，世に出回っている解答は，いずれも例外なく，上記の答を正解としている。この「正解」を疑問視する意見は見たことも聞いたこともないので，多分出題者もこれを正解としているのであろう。

これらの設問は基本的で，答はほとんど自明と見なされており，解答解説の執筆者はこれを正解とする理由を書かないことが多い。もしその理由を訊かれれば，執筆者の回答は次のどちらかになると思われる。

(A) 半透鏡の片面に蒸着してある金属層で光波が反射するとき，空気側およびガラス側のいずれから入射しても，位相が π だけずれ，透過するときには位相がずれないから。

(B) 2 つの経路で同じ反射と同じ透過が同じ回数だけあるから。

ちなみに，上記の 5 大学の入試問題では，半透鏡は細い線分で表現されており，その厚さを無視してもよいことが暗黙のうちに仮定されている。

[2] 最初に，理由(A)を検討しよう。

このような位相のずれが生じることを明記している入試問題がある。

甲南大学 (1993 年)

問 1 は省略

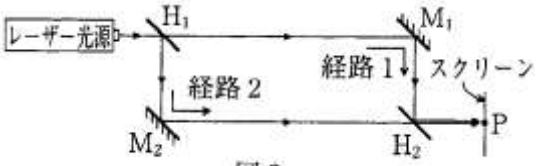


図 2

問 2　図 2 のように，レーザー光源と 2 枚の半透鏡 (50%透過し，50%反射する鏡) H_1，H_2 と 2 枚の反射鏡 M_1，M_2 からなる装置を考える。レーザー光は，H_1 で 2 つに分けられる。H_1 を透過した光は M_1 と H_2 で反射し，スクリーン上の点 P に到達する(経路 1)。一方 H_1 で反射した光は M_2 で反射し，H_2 を透過して点 P に到達する(経路 2)。経路 1 と経路 2 の光はスクリーン上の点 P で重ねられる。半透鏡の厚さは無視でき，半透鏡を透過したことによる光の位相のずれはないものとする。

それぞれの鏡での反射による光の位相の変化は，固定端による波の反射の場合と同じであり，位相のずれは [オ] [rad]，すなわち [カ] 波長分に相当する。しかし，2 つの経路にはともに 2 回ずつ反射があるので，反射による位相変化の影響は考えなくてよい。したがって，2 つの経路の長さが等しいとき，点 P で 2 つの光は [キ] 合う。

問 3 以下は省略

答はもちろん，(オ) が「π」，(カ) が「半」，(キ) が「強め」である。このように，出題者は，

「光が半透鏡と反射鏡で反射するときには位相が π だけずれ，
半透鏡を透過するときには位相がずれない」　③

と考えている。

また，大阪大学 (2010 年後期) にもマッハ・ツェンダー干渉計を用いた入試問題があり，問 2 に，

『光がハーフミラーおよび反射鏡の表面で反射するときは固定端反射となり，
入射光と反射光が逆位相となる。』

という記述がある。ハーフミラーを透過するときの位相のずれに関してはなにも述べられていないが，ずれないことを暗黙のうちに仮定している。そうでないとこの問題を解くことができない。

さらに，「物理学辞典－縮刷版－」(培風館，1992 年改訂版) のマイケルソン干渉計の項目に，

『 このとき縞の明暗は，二光束の位相差で決まるが，その値は M_1，M_2 の位置のみでなく，H 面での反射によって生じる位相差 π の影響を受けることに注意する必要がある。』

という記述がある。ここでも半透鏡の H 面を透過するときの位相のずれについては言及されていない。ずれないのは当たり前と考えているのではないだろうか。

しかし，位相のずれに関する主張③は間違っている。なぜなら，もし正しいとすると，最初の大阪大学の問題で式②が成り立つとき，光源 S に戻る光の強度も極小となり，エネルギー保存則に反するからである。実際，$\mathrm{S} \to \mathrm{H} \to \mathrm{M}_0 \to \mathrm{H} \to \mathrm{S}$ の経路で位相が π ずれる反射が 1 回，$\mathrm{S} \to \mathrm{H} \to \mathrm{M} \to \mathrm{H} \to \mathrm{S}$ の経路で位相が π ずれる反射が 3 回で，反射と透過による位相差が 2π となるからである。よって，強度の極小値が 0 であれば，光源から放射された光のエネルギーが消えてなくなることになる。

[3] 筆者がこのことに気がついたのは 1995 年前後で，予備校での講義の準備をしているときであった。びっくり仰天し，必死になってその原因を考えたがわからない。結局，講義では位相のずれには触れないで，ウヤムヤのうちに解答解説を済ませたが，後味が悪い。数人の同僚に事情を説明して助言を求めたが，誰もその原因を説明できない。それまでは間違ったことを基にして平然と講義をしてきたのであるが，知らぬが仏であった。その後，毎年この種の問題を扱う講義が近づいてくると憂鬱になり，なんとかしようと 2～3 週間考え続けるのだが，糸口が見つからない。やっと糸口を掴んだのは 8 年後であった(追記 1) 。そのときのことについてはまた後で述べる。

[4] 解決策を求めて電磁気学や光学の本を読んでいたとき，「物理学通論(中巻)」(湯川秀樹・田村松平，大明堂 1961 年，p 145 ～ p 146) に，次のような説明があるのを見つけた。まず，

「半透鏡の金属層に，空気側から入射した光波が反射するときには位相が
π だけずれ，ガラス側から入射した光波が反射するときにはずれないとし，
透過するときにはいずれの側から入射しても位相はずれないとする。」 ④

もしこれが正しいとすると，最初の大阪大学の問題において，検出器 D へ向かう光の強度が極大となる条件は，

$$2|\,l - l_0\,| = \left(|\,k\,| + \frac{1}{2}\right)\lambda \qquad ⑤$$

である。このとき，光源 S に戻る光の強度は極小となる。また，検出器 D へ向かう光の強度が極小となる条件は，

$$2|\,l - l_0\,| = |\,k\,|\,\lambda \qquad ⑥$$

であり，このとき，光源 S に戻る光の強度は極大となるので，矛盾は生じない。しかし，このような位相のずれが生じる理由については，明確な説明がなされていない。

次の引用文のように，主張④に同調する人は他にもいる。

「量子もつれとは何か」(古澤　明，講談社 2011 年，ブルーバックス B1715，p 124)

ハーフビームスプリッターではさらに、ガラス板の表面と裏面にそれぞれ反射防止コート(AR コート) と反射増強コートを施し、表面では反射が起きず、裏面ではエネルギーの 50% が反射(振幅が$\frac{1}{\sqrt{2}}$倍の光が反射) し、残りは透過するようになっている。したがって、ハーフビームスプリッターでは構造が図 7－8 のようになり、固定端反射は下から入射する光 (空気からガラスへの入射) に対してのみ起こり、上から入射する光および透過するすべての光の位相は保存される。

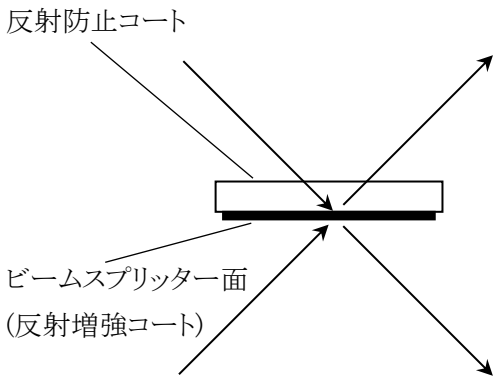


図 7－8

ここでも，なぜそのようになるのかについての説明はない。

[5] それでは，どのようにすれば位相のずれの正しい値を求めることができるのか。筆者がその計算方法に辿り着いたのは 2003 年であった。正月休みに「レーザー物理入門」(霜田光一：岩波書店 1983 年) を手に取って，43 頁まで読み進めたとき，電磁場の複素表示を用いて金属表面での境界条件を解けばよいということがわかり，一瞬のうちに解決した。理論計算と数値計算には時間がかかったが，3 月末日までに原稿を書き上げ，「駿台フォーラム　第 21 号」に発表することができた。

計算式の導出と数値計算の結果については，このホームページに何度も書いているので，詳しい記述は省略して結果だけを以下に述べる。詳細を知りたい人は，「熱中物理」の補遺[5]を読んでほしい(追記 2) 。

[6] 図 1 のように，空気側から入射した光波が金属層で反射するときの位相のずれを δ_{r} ，透過するときの位相のずれを δ_{t} とする。同様に，ガラス側から入射する場合のずれを δ_{r}' , δ_{t}' とする。これらの値は，ガラス板の屈折率 n_3 ，金属層の屈折率 $n_2\,(=n_{\mathrm{R}}-\mathrm{i}\,n_{\mathrm{i}})$ とその厚さ w ，および入射角 $\theta\,(\theta')$ に依存し，π や0 といった定数ではない。その依存関係は偏光によって異なる。

金属層による光の吸収がない場合，すなわち，$n_{\mathrm{R}}=0$ の場合には，

$$(\delta_{\mathrm{r}}+\delta_{\mathrm{r}}')-(\delta_{\mathrm{t}}+\delta_{\mathrm{t}}')=\pm\pi \qquad ⑦$$

となることが理論計算によって証明されている。

(「駿台フォーラム」第 21 号，p 95 ，または「熱中物理」の論文[3])

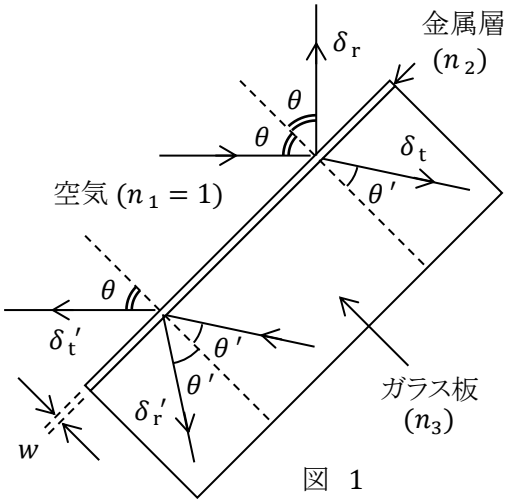


図 1

また，文字通りの半透鏡の場合，すなわち，金属層で反射される光のエネルギーと透過する光のエネルギーが等しい場合には，数値計算によって次のことが示されている（「熱中物理」の論文[8]）。

「実際の半透鏡に用いられている金属の複素屈折率を含む広い範囲の複素屈折率に対して，δ_r，δ_r'，δ_t，δ_t' の値が $\pm\pi$ または 0 となることはない。」

金属を蒸着するかわりに，ガラス板に誘電体膜を張り付けた半透鏡でも，結果は同じである（「熱中物理」の論文[7]）。したがって，主張④のような位相のずれ，

$$\delta_r = \pi\ ,\ \ \delta_r' = 0\ ,\ \ \delta_t = 0\ ,\ \ \delta_t' = 0$$

を生じさせる半透鏡は存在しないと言ってよい。

[7]　最初の大阪大学の問題に戻って，正解がどのように表されるかを考えてみよう。そのために，まず図 2 のようなマイケルソン干渉計を考察する。補償板 C の材質と厚さは半透鏡 H のガラス板と同じとする。また，H の面 B での光の反射は検出器 D での干渉に影響を与えないとする。そのためには，面 B に反射防止膜を張り付けるか，用いる光波の波連の長さがガラス板の厚さより小さくなるようにすればよい。図 2 の点 P から反射鏡 M_1，M_2 までの光路長を L_1，L_2 とすれば，M_1 または M_2 を経由して D で重なる 2 つの光波の位相差 Δ_D は，

$$\Delta_D = \frac{4\pi}{\lambda}(L_2 - L_1) + (\delta_t + \delta_M + \delta_r') - (\delta_r + \delta_M + \delta_t)$$

$$= \frac{4\pi}{\lambda}(L_2 - L_1) + (\delta_r' - \delta_r) \qquad ⑧$$

となる。ただし，δ_M は M_1，M_2 での反射による位相のずれである。よって，D で光の強度が

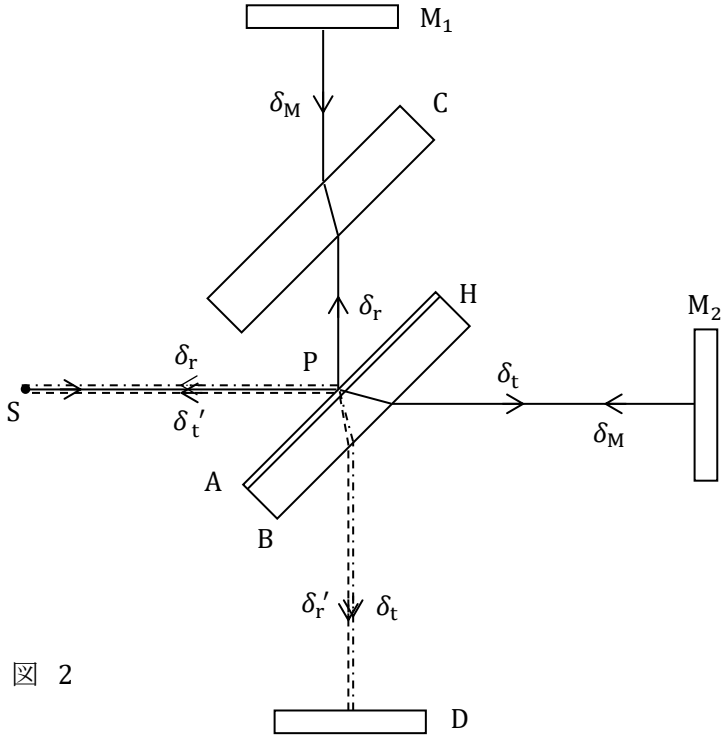


図 2

極大または極小となる条件は,

$$2(L_2 - L_1) = \begin{cases} \left(k + \dfrac{\delta_r - \delta_r'}{2\pi}\right)\lambda & : \text{極大} \\ \left(k + \dfrac{1}{2} + \dfrac{\delta_r - \delta_r'}{2\pi}\right)\lambda & : \text{極小} \end{cases} \quad ⑨$$

となる。ガラス板の厚さが薄いときには, $L_2 \fallingdotseq l_0$, $L_1 \fallingdotseq l$ と見なして, これらを式⑨に代入したものが, 設問 (1) と (2) の答となる。

次に, 光源 S に向かう 2 つの光波の位相差 Δ_S は,

$$\Delta_S = \frac{4\pi}{\lambda}(L_2 - L_1) + (\delta_t + \delta_M + \delta_t') - (\delta_r + \delta_M + \delta_r)$$

$$= \frac{4\pi}{\lambda}(L_2 - L_1) + \delta_t + \delta_t' - 2\delta_r \quad ⑩$$

となる。式⑩と式⑧の差をとり, 式⑦を用いれば,

$$\Delta_S - \Delta_D = (\delta_t + \delta_t') - (\delta_r + \delta_r') = \pm\pi \quad ⑪$$

を得る。したがって, D に向かう光の強度が極大 (極小) となるときに, S に向かう光の強度が極小 (極大) となり, 矛盾は生じない。

[8] ところが, 基礎物理学選書の「光学」(石黒浩三 : 裳華房 1982 年 , p 90 ～ p91)では, 図 2 と同じ状況設定で, 2 つの経路の光路差 ($L_2 - L_1$) が 0 のとき, 検出器 D に向かう 2 つの光波の位相差は 0 となり, D での光の強度が極大になると説明している。式⑧からわかるように, $L_2 - L_1 = 0$ のとき, $\Delta_D = 0$ となるのは $\delta_r' = \delta_r$ の場合であるが, これは成り立たない。したがって, この説明は間違っている。

また, マイケルソン干渉計を題材にした千葉大学(2004 年) の入試問題にも, 光路差が 0 のとき検出器で 2 つの光は強め合う, という記述がある。半透鏡の厚さを無視しているので, その構造はわからないが, もし図 2 の半透鏡を薄くしたものを想定しているのなら, この記述も間違いということになる。

[9] ここからは, 式①と式②が正しいとする 2 つ目の理由(B)を検討する。

「2 つの経路で同じ反射と同じ透過が同じ回数だけあるから」と言っているが, 図 1 のような半透鏡では $\delta_r' \neq \delta_r$ であるから, 同じ反射とは言えない。図 2 において, 補償板 C を半透鏡 H の面 A に密着させて, 図 3 のような対称な半透鏡にすれば, 2 つの経路で反射と透過による位相のずれは同じになる。しかし, 通常, 半透鏡と言えば, ガラス板の片面だけに金属を蒸着させたものを

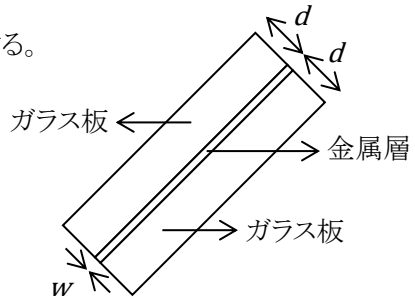


図 3

指すのではないだろうか。なんらかの理由に基づいて，図 3 のような半透鏡を用いた干渉計で実験や観測をする人がいるかもしれないが，その理由も実物も筆者は寡聞にして知らない。

もし，最初に出て来た 4 つの大学の入試問題作成者が，対称な半透鏡を想定していたのであれば，式①と式②が正解ということになる。

東京大学 (2007 年後期) が出題したマイケルソン干渉計に関する問題に，検出器 D における 2 つの光波の位相差 Δ_{D} を求めよという設問がある。問題文に『半透鏡の厚さは無視できる』とは書いてあるが，半透鏡の対称性については何も書かれていない。図 1 のような非対称な半透鏡であれば，答は式⑨の

$$\Delta_{\mathrm{D}} = \frac{4\pi}{\lambda}(L_2 - L_1) + \delta_{\mathrm{r}}' - \delta_{\mathrm{r}}$$

であり，δ_{r}' とδ_{r} の値が必要となる。出題者が対称な半透鏡を想定していたとするならば，

$$\Delta_{\mathrm{D}} = \frac{4\pi}{\lambda}(L_2 - L_1)$$

が正解となるが，その場合には，問題文に対称な半透鏡であることを明記しておくべきである。繰り返すが，通常の半透鏡は非対称である。

[10] ここまで読まれた読者には，次の入試問題が出題ミスであることは明らかであろう。

早稲田大学－理工学部 (1988 年)

図 1 のように，波長 λ の単色光の平面波を半透明鏡 S に入射させて，反射光と透過光にわける。それぞれの光は平面鏡 M_1，M_2 で完全に反射され，再び半透明鏡で反射光と透過光にわけられるものとする。このうち，スクリーン P に向かう光について考えてみよう。ただし，半透明鏡は光線に対して45° 傾いており，平面鏡とスクリーンおよび図中のA 面は光線に対して垂直であるものとする。また，2 枚の平面鏡とスクリーンおよびA 面はすべて初めは半透明鏡の中心から等しい距離L だけ離れており，半透明鏡の厚みは無視できるものとする。

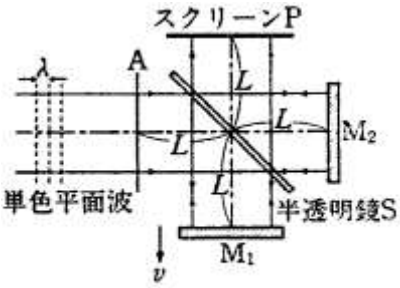


図 1

今，ある時刻 t でのA 面における光波の状態が，振幅をE_0 として $E_0\cos(\omega t)$ と表せるとき，M_1 で反射して P にとどいた光波の同時刻の状態は，振幅をE_1 として $E_1\cos(\omega t -$(1) $\boxed{}$)と書くことができる。

以下省略

設問(1) に答えるためには，半透鏡での反射と透過による位相のずれδ_{r} とδ_{t} (または，δ_{r}' と δ_{t}') の値，および平面鏡 M_1 での反射による位相のずれδ_{M} の値が必要である。この問題の作成者も，問題集などでこの問題の解答を書いた人も，

$$\delta_{\mathrm{r}} = \pi\ ,\ \delta_{\mathrm{t}} = 0 \qquad ⑫$$

$$\delta_{\mathrm{M}} = \pi \qquad ⑬$$

と思い込んでおり，答を $8\pi L/\lambda$ としている。多くの受験生もこれと同じ答を書いたと思われる。物理の教師でも式⑫と式⑬が正しいと思っている人が多いのではないだろうか。と言うのは，前述のような位相のずれに関する多くの間違いが，新聞や学会で取り上げられたという話は聞いたことがないからである。それでは，なぜ式⑫や式⑬を正しいと考えてしまうのだろうか。

ここからは筆者の想像であるが，一つには間違った連想が働いているのではないかと思う。金属は空気やガラスより密度が大きい。密度が大きいほど屈折率が大きい。よって $\delta_{\mathrm{r}}=\pi$ となる，といった連想である。光の吸収がない誘電体の境界面で，屈折率の小さい媒質から大きい媒質に向かってS偏光が入射する場合，入射角に関係なく式⑫が成り立つ。それ以外の場合，入射角に関係なく式⑫が成り立つことはない。

式⑬については，次のように考える人が多い。金属の内部に電場が存在することはないので，その表面で電場は $\vec{0}$ である。よって，金属表面での電磁波の反射は固定端反射となり，$\delta_{\mathrm{M}}=\pi$ が成り立つ。大筋では間違ってはいないのだが，いまの場合にはもう少し詳しく考察する必要がある。確かに，静電状態では金属の内部に電場が存在することはないが，電磁波が入射する場合，振動する電磁場は金属の内部に少し進入したあと，表面から出ていく。そのため，反射による位相のずれ δ_{M} は π とは少し異なった値になるのである。その差は 0.1π 程度になることもある。具体的な計算の一例は「熱中物理」の論文[5] にある。マイケルソン干渉計やマッハ・ツェンダー干渉計の場合，検出器における 2 つの光波の位相差は，δ_{M} の値が π であろうがなかろうが影響を受けないが，早稲田大学の入試問題の場合には，$\delta_{\mathrm{M}}\fallingdotseq\pi$ と近似するなら，そのように断っておくべきである。

薄い金属層の場合には，進入した電磁波の一部が金属層を突き抜けてしまう。その場合には，δ_{M} の値は π からさらに大きくずれてしまう。そのずれた値が δ_{r} である。いずれにしても，反射による位相のずれは π か 0，透過による位相のずれは 0，といった安直な見方は排除しなければならない(追記 3)。

[11] 京都産業大学 (1987 年) と慶應義塾大学 (2013 年) にファブリ・ペロー干渉計を題材にした問題が出題されている。2 枚の平行平面鏡での光の反射率は 99%程度で，全反射に近いからであろうか，どちらの問題でも反射による位相のずれを π としている。上記のように，実際には π ではないが，この場合，π でないとすると計算が少し複雑になるので，入試問題としては，便宜上近似的に π としても許されるであろう。

[12] 最後に，対称な半透鏡での位相のずれについて述べておく。対称な半透鏡では，$\delta_{\mathrm{r}}'=\delta_{\mathrm{r}}$，$\delta_{\mathrm{t}}'=\delta_{\mathrm{t}}$ であるから，光の吸収がない場合には，式⑦より，

$$\delta_{\mathrm{r}}-\delta_{\mathrm{t}}=\pm\frac{\pi}{2} \qquad ⑭$$

となる。この関係式を導出する別の方法は，「熱中物理」の補遺 2 にある。対称な半透鏡では，透過波の位相に比べて反射波の位相が $\frac{\pi}{2}$ だけずれているのである。これについては一般啓蒙書（「量子コンピューター」：竹内繁樹，講談社 2005 年，ブルーバックス B1469，p66）にも記載されており，この問題に関心のある人たちの間では，昔からよく知られていたようである。ところが，なかには杜撰な解釈をして，あるいは勘違いをして，「半透鏡で反射した光波は，入射波に対して位相が $\frac{\pi}{2}$ だけずれる」と主張する人がいる。もしかしたら，これは予備校の模擬試験にその責任の一端があるかもしれない。その問題の解説で δ_{r} の値を求めようとしているのであるが，何の理由もなく $\delta_{\mathrm{t}} = 0$ を仮定しているので，$\delta_{\mathrm{r}} = \frac{\pi}{2}$ が導き出されるのである。δ_{r} と δ_{t} の値を個別に求める計算式は，「熱中物理」の補遺 2 にある。

追記 1

筆者はケータイやパソコンを持たないことにしていたのだが，このホームページを立ち上げるために，仕方なく 2010 年にパソコンを購入した。購入して最初にしたことは，この矛盾についての検索であった。そのなかで，ある人が，この矛盾についてはこれまで何度も何度も指摘されてきた，と書いているのを見つけた。しかし，正しい考え方については何も書かれていなかった。この矛盾は高校生でも理解できることであるから，実際多くの人が気づいていたであろう。また，正しい考え方を発信した人もいたにちがいない。ただ，物理教育の現場で，それが共通認識として広く行き亘らなかっただけ，という気がする。

追記 2

金属層での位相のずれを求めるために筆者が用いた基本公式は，大昔に誰かが導出しているはずだと思い，書店で電磁気学や光学の教科書を立ち読みして捜したが，見つけることはできなかった。現在では，筆者が用いた基本公式と等価な式がいくつかの教科書(たとえば，「光学の原理 I」：マックス・ボルンとエミル・ウォルフ，東海大学出版会，1974 年，p90 ～ p99) に載っているのがわかっているが，その当時はたまたまこれらの本が品切れまたは出版前であったので気がつかなかった。図書館で調べておれば見つけていたかもしれないが，結果的には，独力で基本公式を導き出すことができて，結構楽しむことができた。

追記 3

最近ある人から，このようなことはすべてよく知られていることである，という指摘を受けた。基本的な考え方は 1823 年にフレネルによって確立されたのであるから，筆者が計算に用いた諸式は

すべて物理学史のなかの遺物と言ってもよいようなものである。そのことは筆者もよく承知している。しかし，よく知られているというのなら，訊きたい。ではどうして，日本を代表するような多くの大学で，前述のような間違い問題が出題され続けるのか。また，著名な物理学者でも，δ_{r} や δ_{t} の値をどのようにして計算すればよいのかを知らない人が少なからずいるのはなぜか。光学の専門家は知っている。当たり前である。大学で物理学を教えている教官も知っているはずである。知っている人が入試問題作成委員会に入っておれば，間違いは外に漏れ出なかったであろう。しかし，実際には漏れ出てしまった。自分が所属する大学の入試問題を毎年解いている人は少ないであろうが，もしその人たちが間違いに気づいたとき，委員会に告知するであろうか。多分しないであろう。だからこそ新聞種にもならず，いつまでも間違い問題が出題され続けるのである。誰かが声を上げなければならない。δ_{r} や δ_{t} の値が必要となる入試問題は出題しないで下さいと。

追記 4　（2015/10/24）

本稿の[8]で取り上げた千葉大学（2004 年度）の入試問題と実質的に同じ仮定に基づく問題が 2015 年度の東京理科大学に出題された。

追記 5　（2016/11/13）

マイケルソン干渉計での光の干渉に関する問題が新潟大学（2016 年度）に出題された。問題文には「なお， 鏡および半透鏡において光の位相は変わらないものとして， 以下の問いに答えよ。」という但し書きがある。問われていることに答えるだけなら不都合なことはなにもないのだが，これを認めるとエネルギー保存則に反することが生じてしまう。位相のずれについて疑問を抱いている受験生への心遣いからこの但し書きを入れたものと推察するが， 物理学の立場からすればこれを容認することはできない。このような但し書きがなくてもこの問題を解くことができるのである。

なお， ”旺文社 2017 全国大学入試問題正解“ の執筆者は「分離後の 2 つの光線の， 反射鏡との反射回数， また， 同一半透鏡での通過回数･反射回数は同じであるので， これらによる位相のずれの合計は全く同じである。」と書いているが， これが正しいのは対称的な半透鏡の場合である。普通の半透鏡は対称的ではない。

追記 6　（2018/08/07）

2018 年度の入試問題では，東京理科大学にマイケルソン干渉計での干渉条件を問う問題が出題され，上記の新潟大学と同様に，文中で「反射鏡，半透鏡における光の位相変化はないとする」と仮定している。

また，同志社大学にマイクロ波を用いたマイケルソン干渉計での干渉条件を問う問題が出題されたが，半透鏡に相当する「分別器」での位相のずれについては何も書かれていない。

今後もこのような問題が跡を絶たないと思われるので，対応策を提案したい。

光源，半透鏡，反射鏡，検出器が設定された状況で，いきなり二つの光が強（弱）めあう条件を問うことは避けてほしい。反射鏡の位置を調節して強（弱）めあう状況にしておいて，そのあとで反射鏡を移動させたり，傾けたり，あるいは経路中に置かれた容器に封入した気体を抜き取ったりして，再び強（弱）めあった状態になったときに成り立つ式を問うことにすれば，問題は生じない。こ

のように制限しても工夫次第で面白い問題を作ることは可能である。

追記 7　（2019/04/13）

北海道大学の 2019 年度後期試験に，マイケルソン干渉計で 2 つの経路に何も挿入しないときに，光が検出器で強め合う条件式を求める問題が出題された。その中で，「経路 1 と経路 2 では固定端反射が共に 2 回生じるため」 というヒントが与えられている。何度も言うように，これを認めるとエネルギー保存則が成り立たなくなる。何とかならないものか。

追記 8　（2020/09/09）

2020 年度の入試問題では，東京理科大学（理）にマイケルソン干渉計での干渉条件を問う問題が出題され，その文中で「点 T において光が強め合う条件は，半透鏡 M による光の位相の変化を考えないでよいとすると･･･」と断っている。「考えないでよい」とはどういう意味なのか。「位相の変化を 0 とする」という意味か，それとも「物理の理屈は無視しなさい」という意味なのだろうか。いずれにしても問題である。

追記 9　（2022/09/27）

北海道大学の 2021 年度後期試験に，マイケルソン干渉計を用いて気体の屈折率を測定する問題が出題された。まず気体を封入する容器がないときを考え，厚さの無視できる半透鏡で反射･透過した 2 つの波長 λ の光が検出器で重なって強め合うとき，2 つの経路の光路差を整数 m を用いて表せ，と問うている。答えが 作問者の想定している正解$m\lambda$ になるのは，対称な半透鏡の場合である。対称でない場合には「全国大学入試問題正解」の執筆者が述べているように，作問者の言う光路差の概念を拡大解釈しないと正解にたどり着けない。しかし筆者の意見では，光路差はあくまで光路長の差である。

追記 10　（2024/10/05）

日本大学（理工ほか）の 2024 年度入試問題に，本稿の 1 頁にある問題と本質的に同じ問題が出題されている。半透明鏡の厚さが無視できるという条件を付けているだけで，位相のずれについては何も書かれていない。

「熱中物理」に掲載されている論文の要約 は こちらへ