

私から大学入試センターに再度質問（H19.2.23 付）をしましたが、それに対する回答（H19.3.7 日付）は次のとおりです。

私の再質問の内容と回答をぜひ読み比べてみてください。

平成 19 年度大学入試センター試験試験問題に関する照会について

「物理 I」の御質問について、下記のとおりお答えします。
このたびは、貴重な御意見をいただきありがとうございました。

記

1 第 1 問問 1 について

私たちの回答の真意を再確認させていただくために、以下のとおり再度回答申し上げます。

先日回答いたしました「物理 I」第 1 問問 1 は理想的な鉄心を仮定した問題で、実験によって理想的な結果が得られることは期待しておりません。誤解のないように繰り返させていただきますと、前回の回答で、“棒状変圧器が理想的な変圧器である”と主張したつもりはなく、理想的な鉄心を仮定した設問であると回答させていただきました。

出題意図について以下のとおり改めて御説明申し上げます。

物理学は理想化（モデル化）することで自然界の法則を記述する学問であり、実験による検証と理想化した場合の理論予想を常に車の両輪として進歩してきた学問であると考えます。

御指摘のとおり、棒状鉄心を現実に使って実験を行った場合 100% の効率を再現することは不可能ですが、磁気回路を閉じたループ状鉄心を使った場合でも効率は決して 100% にはなりません。実際に生じる起電力は、鉄心の形状、材質、コイルの形状、巻き数、渦電流、与える交流の性質等に依存して様々な値を取ることになります。50%

と 99% は工学的応用，実用上には大きな違いであり物理実験教育においてこの差を議論することは極めて重要であります。しかしながら，99% と決して現実では到達できない100%との間には量的な違い以上に本質的な違いがあります。

つまり理想化した理論を理解して初めて現実において 100% が達成できないことを議論することが可能になります。

この様な理想化は高校物理の範囲では頻繁に行われます。例えば，力学の問題で空気抵抗，摩擦，物体の大きさ等を見捨てる理想化を行うことやソレノイドコイルの作る磁場を巻数と電流の積で表す事などがありますが，御存知のとおり，高校物理で学ぶべき内容の本質を見失わないためには必須の理想化です。

そして，これらの“理想化された”問題のすべてが必ずしも実験で確認する必要があるとは思いませんし，確認不可能な問題も数多く存在することも明らかです。

棒状鉄心に二つのコイルを巻いたものが高校物理の範囲で理想的変圧器であるという主張をするつもりは毛頭ありませんが，電磁誘導の基礎概念を議論する際に理想的な鉄心を仮定することは「物理 I」の範囲では極めて当然の仮定と認識されております。受験生から本問に関する質問が一切無かったことから，受験生が混乱しなかったことは明らかです。

実際に実験してみた学生は理想と現実の変圧器の違いを知り驚くことになりませんが比較する対象である理想的な状態を知らなければそもそも現実の値が小さいということすら分かりません。このような意欲的な学生や「物理 II」を学んだ学生は当然，理想的な変圧器を理解した上でその先を考慮しているはずですが。今回の選択肢の中には損失のある変圧器の場合に対応する選択肢はなく，これらの学生が理想的な変圧器の場合に達成される結果を選ぶことに躊躇するとは考えられません。

繰り返しになりますが，本問の目的は電磁誘導現象の最も基礎的な理解を問うことにあり，現実の変圧器が効率100% を達することができないという「物理 I」の範囲を超える内容を問うことにはありません。

なお，本問は理想的な鉄心を想定した場合には全く問題のない設問であり，訂正あるいは削除の必要を認めません。

このたび頂戴した御意見は，今後の参考にさせていただきます。ありがとうございました。

2 第3問B問5について

2-1 風上と風下で聞く音の大きさの違い

前回の回答でも述べましたが、選択肢④では一様な風のもとでの近距離の現象を想定しています。このとき観測者が受け取る音の単位時間単位面積あたりのエネルギー流は無風状態に比べ風下で $\left(\frac{c+u}{c}\right)^2$ 倍、風上で $\left(\frac{c-u}{c}\right)^2$ 倍になります。ここで音速は c 、風速は u としました。波面の速度が増減する効果はエネルギー密度が変化する効果と相殺するので、べき指数は3ではなく2となります。

2-2 実験結果

2-1の音のエネルギーの差を弁別できるかどうかについては、実験を行って検証しています。詳細は以下のとおりです。

1. 使用した音は周波数1kHzの正弦波で、被験者の耳の位置で音圧レベルはおおよそ70dB（騒音計で計測）のものを用いる。
2. 最初に一定レベルの音を5秒間、被験者に聴かせる。3秒の間をおいて最初の音に比べエネルギーで20%増、あるいは20%減の音を5秒間聴かせる。その後、後の音が前の音より大きいか、小さいかを答えさせる。このエネルギーレベルの差は、風速約15 m/sに相当する。
3. 最初に練習として、音が強くなる場合と弱くなる場合についてそれぞれ2回聴かせ、そのつど正答を教える。
4. 後の音を大きくするか、小さくするかはそのつど乱数を発生させて決定しながら、1被験者につきこの検査を10回繰り返す。
5. 被験者数は5名。この実験における正答率は96%でした。これにより有意な差で20% (0.79dB)の音のエネルギーの違いを弁別できるものと判断いたしました。

少し古い本ですが実験についての記述があります。「現代音響学」（改訂2版）牧田康雄編オーム社1986年p.59に刺激の序列を聞き分ける機能（弁別）の記述とグラフがあり、音の強さの弁別閾値は、純音の場合、周波数1kHzと4kHzで80dB以上の音なら0.4dB（1928年、Riesz）、白色雑音では30dB付近で0.6dB（1956年、Miller, G. A.）と読み取れます。

2-3 波の屈折

波が偏向する現象は、反射、屈折、回折、散乱など様々な原因で起こります。このうち屈折の法則（スネルの法則）にしたがって伝搬方向が変化する現象が屈折と考えられます。大学院レベルの教科書であるランダウ-リフシッツ理論物理学教程「流体力学2」東京図書 第8章「音」§65「音波の反射と屈折」p.292でも屈折波が屈折の

法則を満たすことが書かれています。

御指摘のような媒質の運動による波の偏向現象では、屈折の法則は一般には成り立ちません。媒質が動く場合についてはランダウ-リフシッツ「流体力学2」第8章「音」§ 67「運動する媒質中の音波の伝播」p. 298 に詳しく書かれています。一方、温度勾配がある場合の音波の偏向では屈折の法則が成り立ち、媒質が動く場合とは本質的に異なります。また、温度勾配の場合はエネルギーの進行方向と波面の法線方向は一致しますが、媒質の速度勾配の場合にはこれらは一致しません。以上の理由により、確立された物理概念としての屈折に、媒質の流れによる波の偏向現象は含まれないものと判断いたします。

2-4 音響学での「屈折」

波の位相速度が変化するスケールが波長に比べ大きい場合、回折、散乱による波の偏向は小さく、屈折が明瞭に観察されず。一方、音響学が扱うような音響装置、部屋などの大きさは可聴周波数の音波の波長と同程度です。さらに空気の乱流による影響も加わり、音波の伝搬は様々な効果の重ね合わせとなります。このため、屈折に分類される現象は可聴域音波を扱う音響学では稀少です。したがって、風や速度勾配による波の偏向を「屈折」と呼んでも特に混乱はおこらないため、音響分野ではこのような用法が用いられてきたものと思われます。実際、「Waves in Fluids」James Lighthill, Cambridge University Press, 1978年, p. 191, では、2点を最小時間で結ぶ軌跡（エネルギー流）が曲がる現象をすべて refraction と定義しています。したがって、速度分布がある現象はすべて refraction となります。しかし、他分野の屈折とは物理的起源が異なる現象であります。音響学の「屈折」が他分野の屈折を包含するより高度な概念というわけではありません。これは、特殊相対論がガリレイの相対性原理を包含する高度な概念である場合とは異なります。これについては音響学会関係者からも同様の感想をいただきました。

御指摘の速度勾配による音波の偏向は、「音と音波」小橋豊著裳華房、「振動と波動」吉岡大二郎著東京大学出版会、「流体力学2」ランダウ-リフシッツ東京図書 p. 301 では屈折とは書かれていません。また、引用されていた「ハテ・なぜだろうの物理学 I」培風館の原著 The Flying Circus of Physics with Answers, J. Walker 著を調べました。日本語訳のもとになった 1977 年版は入手できませんでしたが 2006 年に出た第 2 版を入手しました。その中の 3.18 Long-distance sound p. 153-154 に温度や風による音の偏向について初版よりずっと長い記述があります。そこでは温度の効果については refracted (屈折) が使われています。一方で、風の効果では angled, bent, redirected などが使われ、refracted は使われておらず、著者は二つの概念を明確に区別していると考えられます。

2-5 むすび

しかしながら、前回にもお答えいたしましたとおり、音響に関する長距離スケールの現象を屈折と呼ぶ分野があることに留意していなかったことも事実であり、結果として、問題文に曖昧さが残ってしまったことに対しては大変遺憾に思います。御質問、御指摘の趣旨を真摯に受け止め、今後の作題ではより慎重な姿勢で取り組みたいと考えております。

重ねて貴重な御指摘をいただき誠にありがとうございました。