

物理分野における学生の基礎学力の向上をめざして（Ⅳ）

理科教育講座・細田宏樹

1. 授業の基本情報・概要

「物理学演習 I」は、中学校及び高等学校の理科の免許に必要な選択科目である。教育学部では理学部のように多岐の分野にわたる物理学の専門科目を多く開講・履修することはできない。そこで、本科目は、物理学の基礎となる「物理学 I」（古典力学）、「物理学 II」（電磁気学）、「量子物理学」（統計力学、量子力学）の科目の補完的役割に加え、教育現場で活用可能な知識や、ものの見方考え方を学ぶ科目として位置付けられている。そして、その学ぶ内容も、教員が提案はするが、受講者同士の相談の上で決定されるという特色をもつ。

2015 年度後学期の授業は、水曜日・第 1 時限に開講され、受講登録者は 6 人であったが、最終的には 5 人が単位を取得した。

2015 年度の授業内容は、受講者からの希望により愛媛県立高等学校の教員採用試験問題（高校物理）を解くことを中心に、トピックとして、「風力発電」と「水力発電」、「結晶の充てん率」、「斜面を転がる物体」と「レンズのガラスの屈折率」など、様々な場面で教材として見聞きする事柄を扱った。

2. 授業評価・授業研究の内容

アンケートは、「自由記述による感想」として、A6 版の白紙により適宜、実施した。要所となる授業内容と工夫、及びその授業時の受講者の感想について述べる。

2-1 テーマ決定

10 月 14 日の第 1 回目の授業では、本授業で扱う内容を決めたり、私の研究課題の 1 つである概念形成に関する研究成果を話したりした。「学会発表のやつおもしろかったです」や「しっかりと概念を理解しておくのが大切だと感じた」と感想があった。また、第 1 回目の授業であることで、「今までにない授業の

感じで、興味をひかれたから」や「…教員採用試験のため…」や「物理の知識が少ないと痛感したため…」のように、興味・関心や学力の向上を目的として、本科目を受講していることが分かる。

授業で扱う内容は、特殊相対性理論という案もあがったが、賛同の多かった教員採用試験問題を用いた演習と決まった。そこで、第 2 回目からは、教員採用試験の過去の問題を解く授業を行った。

私が行う計算問題演習の授業の特色は、別解を扱ったり、小問題を追加したり、設問の設定条件を変えたり、解答に用いた高校物理の公式を導いたりすることにある。つまり、試験問題を学問的に、とことん分析し、精査しながら進めていくことになる。

2-2 光の回折・干渉（波動）

11 月 18 日の授業では、教員採用試験問題の第 5 問のレーザー光の回折と干渉の問題に加え、「結晶の充てん率」の話をした。

レーザー光の設問を解く中で、波動分野について苦手意識をもつ学生が多いことが分かった。また、教員採用試験の過去問を扱うことは、受講者にとって興味・関心を維持した状態で、既得知識の確認を行い、高校物理を復習したり、大学の物理学を学ぼうと思ったりする契機となることが分かった。

一方、「結晶の充てん率」の話とは、11 月 11 日～12 日に、愛媛県立の高校で行った出前授業に関連した話である。「結晶の充てん率」とは固体物理学の専門書には必ずと言って良いほど、最初の方に出てくる内容である。しかし、その内容の役割は、面心立方格子や六方最密格子が最密構造であること、すなわち単位体積中に最も多くの原子が入っている構造であることを、剛体球を用いた数学的モデルにおける無次元の量（充てん率）で示すことだけあり、後続の章へは続かない知識であ

る。一例として、イオン結晶の KCl や NaCl に適用しようと試みた段階で、それらが面心立方格子であるにも拘わらず、K, Na, Cl 原子の大きさが異なることを考慮した途端、「充てん率」という知識は“役に立たない知識”になることを述べた。

受講者の感想には、「イオン結晶では、イオンごとに大きさを与えるべきだと思うので、充てん率を考えることは正確に理科を教えていることにならない」という旨のものや、「充てん率は、この前の授業で実験的に求めましたので、それが無意味だとすると、少し複雑な気分です」という感想もあった。

この「充てん率」という量の考え方は、同一半径の剛体球だけを用いて表すことができる条件、すなわち同一元素から構成される結晶だけに対して適用した場合だけ意味をもち、それ以外の場合には役に立たないという前提条件を、高校生や大学生などの受講者にきちんと教えておく必要がある学習内容である。

2-3 電磁誘導の法則とローレンツ力

12月2日には、第7問の磁場中を運動するコイルの問題を扱った。ここでは、「電磁誘導の法則」による解法と「ローレンツ力」による解法の2つを、マクスウェル方程式も例示しながら、説明した。受講者の感想には、「電磁誘導の法則で解いていたけど、ローレンツ力の方でも解けるようになっておこう…」、「…2通りの解き方があっておもしろい」、「ナブラ演算子は物理学Ⅱにも出てくるので、学んでおこうと思った」などあった。

2-4 単振動とリサージュ図形

12月9日には、第2回目から行ってきた教員採用試験の過去問も終えたので、理科教員になることを目指す受講者の興味・関心を引くような題材を、トピック的に行うことにした。本授業科目を受講している2回生は、応用物理学概論を受講していないので、今後は、単振動の重ね合わせや剛体の運動に関する補間的な内容を含めた授業を行うことにした。

平面での単振動の重ね合わせ（リサージュ図形）を扱い、位置エネルギーから保存力を導出し、運動方程式を立てて解くことを行い、「α」の形の軌道をとる運動を導出した。さらに、軌道が「8」や「∞」の形になるため

に必要な初期条件は何かを問うた。しかし、受講者の感想を見ると、この課題は、難しかったようである。

2-5 自由端と固定端

12月16日は、過去に教員採用試験の記述問題として出題された「気柱の共鳴実験」を扱った。

「気柱の共鳴実験」での開口端では、何が起こっているのかを問うた。たとえば、開口端では音波は反射しているか否か、開口端は「自由端」か「固定端」か、などを受講者に考えさせた。

受講者の感想の中に、「自由端・固定端での話について暗記していただけだったので、おもしろかった」、「開口端補正がいる理由と、開口で反射する理由の両方が分かり、一つ賢くなった」というものに加え、「こういう当たり前と思っていたことに、疑問をもてるようになりたい」と、次の学習・探究の活動につながるものもあった。

2-6 風力発電と水力発電

1月6日には、エネルギーの移り変わりについて、受講者に考えさせた。

風車が受ける風のエネルギーとして与えられている次式は何を意味するのかを問うた。

$$\frac{1}{2}\rho SV^3$$

ここで、 ρ は空気の密度、 S は風の向きに向けた風車のプロペラが回る円の面積、 V は風の速度である。

次に、風力発電や水力発電について、エネルギーの移り変わりについて問うた。

前者の題材は、公式を理解する方法の一例として作図の重要性を伝えるためのものである。一方、後者の題材は、幼いころから見聞きしている「エネルギー」という“日常用語”が、中学生レベルの「エネルギー」という“物理用語”と、きちんと区別できているかを考えさせるものである。

受講者の感想には、「風車の公式の意味を理解することができた」、「本日の授業で発電の仕組みを改めて考えてみて、エネルギーの変化や、仕事とエネルギーの関係を理解すべきだと分かった」があった。そして、次の学習・探究の活動につながる感想として、「現象をそ

のまま覚えるのではなく、何故そうなるかまで考えていこうと思う」というものがあった。

2-7 レンズのガラスの屈折率

1月6日には、時間があつたので、愛媛県教育委員会主催の「高校生おもしろ科学コンテスト」の本選問題の話をした。このコンテストは2015年度で第9回となり、数年前には文部科学省からの視察を受け、全国的に有名な「科学の甲子園」が誕生した。その「科学の甲子園」の雛型となったのが、愛媛県教育委員会の企画「高校生おもしろ科学コンテスト」である。

私は、2015年度の物理の本選問題で出題された「凸レンズの焦点距離からガラスの屈折率を求める」理論について、本授業で扱った。受講者の反応としては、初めて見るモデルや理論計算を興味深く聞き、メモを取っていた。

2-8 斜面を転がる球の運動

1月20日は、中学校教育実習で見た実験に関する問題を提示した。中学校の理科の実験で、球を斜面上で転がし、木片などの物体に衝突させて、物体の移動距離を測定するものがある。それと関連付けて、球が斜面上を滑らないで転がる場合の加速度や静止摩擦力の式から、実験を行う上で重要な現象として、何が分かるかを問うた。

受講者は、自らが運動方程式から導出した加速度の式をみて、「加速度が一定」、「加速度は $g \sin \theta$ より小さい」、「球の半径や質量に依存しない」ことに気付いた。つまり、斜面の下端に到達した瞬間の速さは、球を質点として求めた値より小さくなることを見出した。

受講者の感想には、「回転運動まで考える力学は初めてでした」、「1つの式から様々なことが分かって面白いと感じた」があった。

2-9 その他

1月27日からは、応用物理学概論を受講していない学生が多いため、惑星の公転運動に象徴される質点の回転運動を扱うため、運動方程式の極座標表示を行い、動径方向(r 方向)成分や方位角方向(θ 方向)成分について意味づけし、公式暗記では間違えやすい「向心力」や「角運動量」を定義して、復習した。

さらに、弦の運動を扱った。弦を伝わる横

波の速さ、弦の張力、弦の線密度の関係については、高校物理では公式を覚えるだけである。そこで、弦を伝わる横波に関する波動方程式を導き出した。

2-10 まとめ

受講者の感想の最終回提出分の抜粋を、次に示す。

- ◇ 幅広い内容を学ぶことができた。授業で少しかじった内容について自分で少し勉強してみたい。
- ◇ 物理は得意ではなく、分からない問題が多い。教採の問題も難しく、公式の条件や使うタイミングを復習することができた。これからも少しずつ復習して、理解を深めていきたい。
- ◇ 微分方程式の使い方をすぐに忘れてしまう。使い続けないといけないと思ったので、問題集を買って解くことにします。
- ◇ 改めて、解き方が1つではないことが分かった。一番簡単に速く解ける方法を今まで選んできた。この授業を通して、そうではない方法を選んでも楽しいと思った。また、先生の出してくださった問題も物理って感じでおもしろかった。
- ◇ 物理学演習Iを受講して、今まで習ったことの復習や、1つの解に対する様々な解き方について考えることができた。教採の演習では、通常解き方と、試験用の解き方の2通りを考えて、もっとそうした切り換えができるよう、これからも演習に取り組みたいと思う。

このように、教員採用試験の過去問の利用は、一見すると受験勉強という印象をもつ人が多いと思われるが、大学で学ぶ物理学の基礎や物理教育で研究されている誤概念や因果スキーマを用いて教材として活用すると、小学校から高等学校までの物理分野の知識や概念をまとめなおすことができる。

3. 「授業時間外学習の促進」について

授業で扱う題材として、教員採用試験の問題、授業の教材や自由研究として取り扱いやすい事象、学校教育課程での授業者であっても誤解を生じる教材を扱った。そのため、授

業内容が受講者の興味・関心と合致し、授業時間外学習の課題を積極的に出していないが、自発的な学習につながったと思われる。

4. 総括

物理学演習 I という学習内容を学生たちが自由に決めることができる授業で、教員採用試験の過去問を題材として演習を行う利点は、教採の受験という共通の関心事であることが学びの契機となり、小学校から高等学校までに学んできた知識や概念が正しいかどうか、大学で学ぶ物理学の基礎・基本に照らし合わせて、学生自ら考え判断しながら学んでいくことにある。

たとえば、大学入試の受験勉強では、短時間で解ける方法を覚えると有利になる。しかし、それは学問的基礎に基づく万能な考え方や、すなわち探究活動として使える知識や、物理学的なものの見方考え方ではないことが多い。このことを理解して学んでいく経験が、教員養成課程の学生には必要なことである。

しかしながら、学校教育課程の物理分野の学習内容は、世間では“簡単”や“当たり前”で“正しい”ことと勘違いされているためか、中学校理科の教科書だけでなく、最近は大学での教材研究の中にも、物理学的に見て、必ずしも正しいとは言えない説明が見られる。

たとえば、「単結晶 X 線構造解析」と題して、レーザー光と回折格子を用いた教材をみた。その教材は、私が経験してきた理学的な研究で行う「単結晶 X 線構造解析」とは異質なものであった。

簡単にできる教材の改善方法として、単一元素の原子だけで構成される金属結晶との関連だけを考えるなら、消滅則だけでも観測できるように教材を工夫する必要がある。そして、発展としては、イオン結晶の場合のように単位格子内の電荷分布を求めるためには、できるだけ多くの散乱光の強度を観測する必要があること、さらに最大の難題であるフーリエ合成の計算を行う際の位相の問題や、波数ベクトル空間で考えるエバルトの作図やラウエの条件と言われる入射光・散乱光と逆格子点との関係など、次の学習や次の世代につながる知識として、伝えるべきことは沢山ある。

このような改善方法の提案に対する反論

として、高校での物理分野や化学分野の学習ということで、「高度な話をするとう高校生が混乱する」という旨の判断をされる教育者や研究者は、現在多いと思われる。しかし、金属結晶の充てん率の重要性も含め、その場限りで後続の学習では出てこない内容、すなわち「先での学習には関係ないから忘れなさい」と言える内容に重点をおくことは重要であろうか。さらに、小学生や中学生だからといって、必ずしも正しくないことを実験させ理解を促す実践を述べた研究論文も見かけたが、それを行うことは、はたして意義があることなのだろうか、疑問に思っている。

以上のような問題意識から、本授業科目では教材として、小中高校の教科書や参考書や大学の紀要などから、物理学の学問に照らし合わせて、記述の間違いを指摘し、学生たちと議論する授業を行っていききたい。そして、“簡単”や“当たり前”で“正しい”と思われる学習内容に対しては、学問的に間違った説明でも可能であること、具体的には教育者・研究者のもつ誤概念や専門外の知識に対する未熟さに起因する思い込みや勘違いであっても、一見すると科学的に正しい説明にみえることを学生たちに体験させたい。

今後の方向としては、以上のような教育界にある誤解や勘違いも題材として、「理科は専門的に知らなくても、教育方法を学んで教えればよい」という、聞きようによっては「詐欺師」になろうとしている学生の志向を一喝し、「専門的に知ることは必ず必要であるので、どのように学問を学び、文献から得た知見が正しいか否かをどのように判断していくのか、を大学時代に学んでいく」方向に、学生たちの志向を変えていきたい。そして、本授業科目も含め、共通教育や教員養成課程の物理学の授業研究を行い、工夫・改善していききたい。