

物理の学習における教師と生徒との相互作用について

東京都立武蔵丘高校 溝口仁三郎

「教師と生徒とが一体となって、生き生きとした、充実した授業をしたい」というのが私の願いであり、それに向けてささやかな歩みを続けて参りました。以下、授業について私の経験をもとにして、5つの点（アンダーラインの部分）を中心に触れてみたいと思う。

教師と生徒とのよき人間関係をつくること。

先生に対してこんな事を言っは……、こんな事をしては……と、余計な神経を生徒に使わせないようなムードを作ること。乱暴な表現をしても先生には分ってもらえる。また、逆に生徒には分ってもらえるという教師と生徒間の精神的基盤をつくることである。これは何も生活指導に限ったことではなく、授業の中にも要求される教育の基盤であると思う。そのために、

〔1〕 まづ私自身が率直で淡白でありたい。

余り気長な性格ではないが、生徒の言動に対してはなるべく広い大きな視野に立ってみることに努力している。けれども人間怒るべき時には怒り、厳しい指導もしなくてはならない。そしてその怒りや憤懣もその後はさりとらと淡白でなくてはならない。一時的な感情や、えこひいきは厳に慎しまねばならない。私にとっては、なかなかつらく、むづかしいことながら、私の授業を受けた諸君は厳しい、愉快的教師と見做しているようである。

こんな調子で授業も2ヶ月、3ヶ月すると、定期考査以外の物理の試験は監督なしでもまづ心配ない状態になる。

〔2〕 時には物理を離れて横道・脱線すること。

授業の進行に合わせて、タイミングよく人生や学生生活について私の考えない、経験を語ることによって生徒との精神的距離を近づけることができる。毎年、授業の感想を書かせると意外にこの辺に親近感を覚える生徒が多いのに驚く。

教師の一方的な授業を排して生徒に積極的に活躍させること。

授業に関心をもたせ、集中させるため講義の合間に相当多くの質問をして共に考えさせる。また、講義中でも生徒が疑問に思ったら、すかさず質問するようにすすめる。従って、講義中はノートする余裕が少ない

ので終鈴の10分前位に講義は終わり、ノートする時間を与え、その間、私は机間を巡視しながら生徒の個別の質問に応じる。個別であるがために気の弱い者など案外質問し易く好評を得ているようである。個別の質問の中に生徒全体に答えた方が適当なものはこれを取り上げる。

物理の学習に興味を抱かせ、発展性をもたせるために講義はなるべく本質的、多角的であること。

例えば、摩擦の原因として、教科書で扱っているように凹凸のかみ合わせと考えたのではアモントンの法則は理解されまい。多少時間は要しても、現在正しいと認められている F. B. Bowden の凝着説（2物体が触れ合った場合、真の接触部の圧力は降伏圧力を越えて塑性変形するとともに冷溶接に似た現象を起こして凝着する。この凝着力（分子力）が摩擦力の原因となる）を説明し、より本質的なものに生徒の目を向ける。

また、万有引力の法則については Tycho Brahe の観測値をもとにして、J. Kepler の三法則および、さらに I. Newton の万有引力の法則の確立に連なる歴史的経過を説明し科学的な認識過程を知らせる。

あるいは、万有引力の大きさが距離の自乗に反比例することから地球の運動に対する影響は遠い天体ほど小さく、そのことが結果的にわれわれ地球の安全を保証する自然の妙にも触れてみる。

ともあれ、高校の物理（特に力学部門）では18世紀どまりであるから生徒にとっても古色蒼然、何かとなじみにくい面もあろう。そこで、これらの法則の歴史性、近代物理学への連関性、さらに現在、産業界で実際にどのように活用されているかに触れることができるならば18世紀の物理が、生き生きとして生徒によみがえってくるであろう。近来高校物理の近代化が叫ばれているがそれは原子物理学を取り入れるばかりでなく、上述のように扱うのが物理の近代化であろうと私は思う。

生徒の問題解答、研究発表の機会を多くすること。

講義を聞いて自分では理解した積りでも、いざ発表したり、問題に当たってみると案外答えられないものである。そこで、私はできるだけ多くの計算問題を与え

それを生徒に黒板で説明させることにしている。(このため私は独自の問題集を生徒に与えている)

また、教科書などの中から適当なテーマを選定し、2週間位の余裕を与えて生徒(個人またはグループ)に研究発表させる。これらのことは理解を深めるとともに、自分で調べることによって物理に興味を抱かせ時には自信を与える結果ともなっているようである。

生徒の認識過程(つくり上げるときの論理)と教師の論理(でき上がっているものの論理)。

力や質量の概念、摩擦のない斜面というような物理の抽象化、簡素化は物理を学び、力学の体系をよく知っている教師にとっては、何んでもないことかもしれないが生徒にとってはかなり抵抗があるものである。そこで教師は授業の内容がどのように受け取られているか、どこに障害があるかを確めながら進める必要がある。私は上述したような相互間の質問形式によって両者の食いちがいをできるだけ埋めるようにしているが、これを怠ると、生徒は理解困難な障害の積み重ねによって授業を無味乾燥なものにし、引いては物理から離れてしまう結果になる。

以下、本年度2年生(男子65名、女子33名)の力学のペーパーテストの結果から生徒の障害箇所、発想の仕方、その対策などについて述べてみよう。

〔註〕この問題は39年6月および9月の定期考査(本校は2期制である)に他の計算問題と混みにして出題したもののいくつかである。不答の生徒数が多少多いのは他の計算問題に時間を要したためと思う。

問題1

物体に作用する2力の合力の大きさはその物体に作用した2力【のいずれよりも必ず大きい。よりも小さい場合もある。】

結果

正答(よりも小さい場合がある)………
 ……87人 正答率 $\frac{87}{98}=89\%$
 誤答… 6人
 不答… 5人
 計 98人

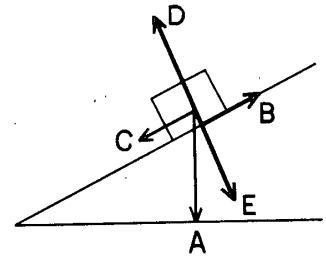
考察

ベクトルの概念はやや高度なもので、その計算についてもかなり抵抗がある。2力の合力は平行四辺形の方法で求められることは中学校でも教わったが、その対角線の長さがどうして合力の大きさを示すのかという疑問をもつ生徒も出る。誤答の6人はベクトル計算をスカラー的に扱って合力は常にその分力のいずれよりも大きいと考えたのである。

問題2

図のように物体が斜面上に静止している。このとき

物体に作用している力は【重力A。面の摩擦力B。斜面上にそって物体をすべり落とそうとする力C。面の垂直抗力D。物体が面を垂直に押す力E。】である。



結果

正答(A, B, Dの3力)……57人 正答率58%
 誤答 { 上の3力の外にCの力を加えた者……11人
 { 上の3力の外にEの力を加えた者…… 6人
 { Aの力とDの2力と答えた者………14人
 不答………10人

考察

物体に作用する力として重力と面の抗力の2力をあけるのが適当であろうが、高校では面の抗力を摩擦力と垂直抗力に分けて考えるのが普通のものである。図のCとEの力は重力Aの分力であるが、重力Aの外に別にCまたはEの力が存在すると考える者が全体の約11%もいる。これは分力、合力の意味が充分理解されていないからであろう。

問題3

軽いひもの一端を固定し、他端を1kgwの力で引っ張るとき、ひもの張力は1kgwである。同じひものを2人の人がそれぞれの端を1kgwの力で引っ張り合うときのひもの張力は【0.5kgw・1kgw・2kgw】である。

結果

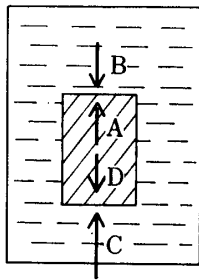
正答(1kgw)……66人 正答率67%
 誤 { 2kgwである……29人
 答 { 0.5kgwである… 0
 不答……… 3人

考察

一端を固定して他端を引っ張る場合も、両端をもって引っ張り合う場合も、ひものに作用する力のつりあいから考えて全く同じであるが、生徒は感覚的に2kgwと考え、その数が全体の30%もある。もともと抗力や張力は分りにくい力であるから通り一遍ではなく、できるだけ実体的に説明しなければならないが、この場合は糸が静止していることから、糸のどの部分をとって考えても、そこに働く力(これを糸の張力という)は釣り合うはずで、その大きさはひものそれぞれの端に働く1kgwに等しいと考えればよい。

問題 4

図のように液中に物体が浮いているとき、物体に作用している鉛直方向の力は【浮力A・物体の上面を液が圧する下向きの力B・物体の下面を液が圧する上向きの力C・重力D】である。



結果

正答（重力Aと浮力D，あるいはB，C，Dの3力）……71人 正答率72%

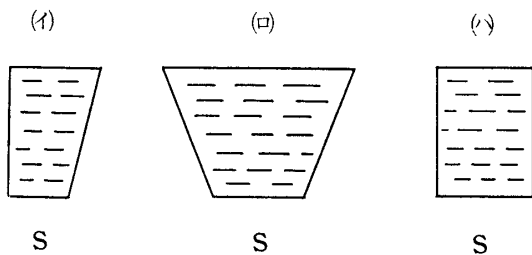
誤答 { 重力Aと浮力Dの2力の外にBとCの力を加えた者……13人
DとCの2力と答えた者……7人
不答……7人

考察

簡単な問題であるが、正答率が72%と低いのは浮力なる力の内容が充分理解されていないからである。浮力は物体に働く液の鉛直方向の力の差として与えられるのであって、液のBとCの力の外に浮力Aが作用するわけではない。また物体に作用する力として重力Dと液のCの2力として答えた者が全体の7%いる。

問題 5

図のように底面積が等しい(i), (ii), (iii)がある。これに同じ液を等しい深さまで満たしたとき底面のうける全圧力はそれぞれ【等しい。等しくない。】



結果

正答（等しい）……55人 正答率56%
等しくない……40人
不答……3人

考察

全圧力は底面積と圧力の積であるから容器の形が違って底の全圧力は等しいはずであるが、正答率は56%と極めて低い。

それは器に満たされた液の重さは(ii), (i), (iii)の順に重いのに全圧力がともに等しいという一見矛盾しそうな結果に迷ったからである。器に満たされた液の重さは全器壁に与えられる鉛直下向きの力の合力に等しい。よって、(i)の液の重さは底面Sに与えられる全圧

力に等しいが、(ii)の液の重さは底面Sに与えられる全圧力と側面の器壁に与えられる液の鉛直下向きの全圧力との和になる。また、(iii)の液の重さは底面Sに与えられる全圧力と側面の器壁に与えられる液の鉛直上向きの全圧力との差になるのである。

問題 6

作用、反作用の力は向きが反対で、大きさは等しいが、それぞれの力が動かそうとする相手がちがっているから、この2力は【つりあうことはない。つりあう。つりあうこともある。】

結果

正答（つりあうことはない）……40人 正答率40%
誤答 { つりあう……47人
つりあうこともある……8人
不答……3人

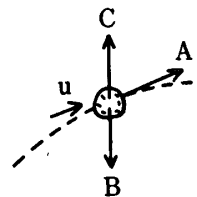
考察

つりあう2力と作用、反作用の2力は、表現の上で極めてよく似ているので誤り易く、正答率も40%と非常に低い。両者のちがいについては基本的な概念であるので十分に理解させたい。

すなわち、力がつりあうというのは、ある物体を動かそうとする力の働きが互にうち消し合う場合に用いられる言葉であって、必ず同一物体に働く場合に限る。作用、反作用の力はそれぞれの力が動かそうとする相手がちがっているから、この2力がつりあうことは全くないのである。

問題 7

真空中を図のようにvの方向に飛んでいる小石がある。この小石に作用している力は【運動方向に作用する力A・重力B・浮力C】である。



結果

正答（重力Bのみ）……61人 正答率62%
誤答 { 重力の外にAの力を付け加えた者……28人
重力の外に浮力Cを付け加えた者……8人
不答……1人

考察

重力Bの外に運動方向に作用する力Aを答えた者が全体の29%もある。それは、

(1) 小石が初速を与えられるのに要した力がそのまま継続して作用していると考え、このような発想を他の問題についてもする場合が非常に多い。

(2) かつてスコラ学派が考えたように、落体が次第に速くなるのは空気がたえまなく物体に寄り合っ常 に新しい衝激を物体に与えるからであって、従って、

運動している物体には常に運動方向にある種の力が作用していると考え。これは歴史的にもある意味では常識的な考え方である。——ガリレオの『新科学対話』参照——。

問題 8

糸の先におもりを付けて鉛直面内で振動させるとき、この単振り子に作用している力は【重力・向心力・糸の張力】である。

結果

正答（重力と糸の張力）…73人 正答率74%

上の2力の外に向心力を加えた者…17人

不答……………8人

考察

おもりに作用する力は重力と糸の張力の2力である

から法線方向に作用する力は $(T - mg \cos \theta)$ で、この力が向心力となる。

重力と糸の張力の外に向心力なる別の力が存在すると考える者が全体の17%もある。円運動の場合などにも、向心力や遠心力が実際に働く力と同じように別個に作用すると考える生徒が相当に多い。

以上、生徒との相互作用という面から『私の授業』を報告したのであるが、学習指導の内容や形態についてはそれぞれの教師によって、いろいろな方法やタイプがあっただけであるべきであろうが、少なくとも生徒との相互作用を欠く指導は教育とは考えられないと思う。

