

プリントは、本校の生徒が放課後自主的にやる発展課題、を前提に課題の部分を作っています。偏差値の範囲が広い一貫校の生徒に対応するため、課題にすべき物理が書いてあったり、数式変形が空欄だったりします。生徒や用途に合わせて課題部分は作り直してください。

### 【立てかけた定規の角度と支える力】

これは考えるに値するからというわけではなく、現実世界で壁にはしごを立てかけて登っていきと滑り潰れる状況に近づいている不安にかられることや、必要な摩擦係数を測定するため代わりに指で支えたと押し返し過ぎて反対側の摩擦力の向きが逆になる瞬間もあるので、データロガーでの測定がさらなる探索に活かされると考えて作った課題です。教科書の初めの方の単元なので以降のためデータロギング測定の説明にも当てました。そのためAは授業中の実験。Bが発展課題です。エクセルは別として、一次関数で実験曲線と測定データを比較するので、実験によっては測定データの関係性を見直す必要が出てくるのでそのことも入れました。GoDirectのカートセンサーとソフトを使用しましたが、Pascoでも可能です。アナログに押し棒を入れたばねばかりでもできますが、角度が大きいくところでは誤差が大きいです。また、つり合いを保つためにカートをゆっくり動かす、という指示は完全には達成されないの、カートの慣性が入るので金属製の重い台車では難しいと思います。この実験の測定方法は様々な状況での床との摩擦力の変化の測定に応用できると思います。

(力学の問題で、床の上の動く斜面台などはダンボール箱を工作して作り台車に乗せると、その上で滑走させる加重した台車の質量とトントンなので実験になります。また、垂直抗力はカートの上にカセンサを乗せれば測れます。カートセンサはその機能もありがたいが軽さもありがたい。)

### 【不均等な棒の重心を求める理論と実験】

典型的なじわじわと重心を調べる方法がありますが、そのはじめのツールステップだけで重心が求められるという問題です。しかし実際は動摩擦係数と静止摩擦係数は微妙なので、手で実験すると理論との誤差は大きいです。

不均一な棒を探してみると意外とありませんでした。金属では摩擦が表面の状況に依存しすぎる気がしたので木で探すと、お箸ぐらいしか見つけれませんでした。バットは転がって困難。元の問題のようにパイプに何か入れておくのが正解かも知れないが、実際にやる意味が見えなくなります。

(35cm級の望遠鏡設置の時、じわじわ法と両端交互持ち上げ法の両方で重心を確定しました。そういえば、赤道儀は積載重量制限はありますが、モーメントの方が重要なのでは。)

### 【重心が支点の真下ならいいのか】

物理学科では機械工学など応用はありませんでした。コマしか知らないこの分野で、力のつり合いと力のモーメントのつり合いの連立の妙が楽しい……はずの問題を、何も考えずに重心が支点の真下に来ると、と解法のテクニックで解く生徒を見て、本当にそうなのかなと思っていました。あるとき問題文をよく読まずに図だけ見て天井の定滑車にひもをかけて不均一な棒を吊していると思って解いたら間違いで、よく読むと天井の出っ張りに左右に別なひもがつけられていたという落ちだった問題に出会い、滑車の問題にして実験してみたら、つり合い点だけだと不安定点のようでした。生徒たちのポスターを筒に入れて会場に持ち運ぶとき、筒についたひもを肩にかけて歩くと、雨が降っていると手が足りず安定感が悪かった。昔は見かけなかったテニスラケットが入った大きなバッグとか野球のバッグなども同様なのかと思いました。工事現場で鋼材をクレーンで持ち上げるとき、下にいる人がうっかりフックにロープの結び目を引っ掛けずにただロープを引っかけるだけのようなことをしたら怖いのか。この探究は深めていないのでこの先どうなるかまったく分かりません。十分安全を確かめてから行ってください。

ひもをかける頂点の座標は棒の両端を焦点とした楕円の方程式に従いますがそのことが使えるかどうかはわかりません。すりごぎ棒は1000円弱ですが、使ったものは一番軽くやわらかそうな木で一番不均等でした。滑車から勢いよく外れて落ちるので怪我をしないように軽い木材がいいと思います。

(物理学科にも、機械工学、熱工学があったらよかったです。自学なさい、物理工学科もある、とか言われそうですが)

### 【3体衝突】

GoDirectのカートセンサーは位置の分解能が1/25秒とやや粗い(Pascoならもっと精細)ため、衝突状況を分解するには弾性定数が小さいばねが必要でした。オプションのリングばねが手元になく、プラ板を1cm幅で長さはプラ板のB4かA4サイズで適当に切って作りました。まあまあでしたが、耐久性がなく、使っていると、変形、割れる、が起きました。もうちょっと粘り気のある材質で作った方が良いでしょう。また、リングを直接カートにつけるとリングが縮むとき、取り付け部分の周囲の台車本体にリングが当たるのでワッシャーを入れ少しだけ前方につけています。Pascoのカートでも可能で、初めはこちらで検討していましたが本校がBYODでBluetooth接続先のPCが特定できず、Pascoのカートは相性が悪い場合がある(GoDirectにも多少ある)ドングル購入を勧められます。これはAは授業中の実験で、Bが発展課題で、Cが発展研究。

最初のきっかけは、ずいぶん前に塾講師の友人に、床に置いた三角形の物体の斜面上から物体を落下させて衝突させたA大の入試問題が問題だと言われたことです。力学的エネルギーの保存の問題と弾性衝突という用語が意味することと運動量の保存の問題と反発係数などが関係しています。他の塾講師の方々には目くらまを立てなかったが、色々聞いてみると、人によって答は1つという人もいれば、2通り答えるという人もいたそうです。彼自身は斜面部分と落下物体の衝突を考えるなら、三角の斜面物体と床の衝突も考えるべきだと。その理由は、衝突球の説明にある。

初め生徒が三角柱にした氷を使って実験しましたが、氷と床の水が撃力中やその前後で何者かになりそうで状況を複雑化して本質が追えなさそうなの、氷といえども落下球との衝突で斜面方向で摩擦がゼロなのか怪しく、仮説の違いによる落下球のはね返る方向で見極める戦法も結果が微妙でした。エアホッケーの盤上で実験する手もあると思いますが撃力によって摩擦が生じないようにしつつ相応の反動を得る重さのバランスが鍵でしょうか。

理論的に計算するとはね返って再三ぶつかるようで、そこから弾性定数に結果が依存する気がしました。衝突球のこともあり、衝突球の実験を研究させようと、余裕の出来た高3の1月の授業で、箱に入れた金属球やスーパーボールや木球を渡して、装置を作らせ研究させたら、なんと、1球ぶつけると、1球でたり、2球でたり、科学的なのに再現性がない衝突球の研究結果が出てきてびっくり。力学的エネルギー保存と運動量保存だけでは衝突球は説明できないことがこのとき分かりました。その後生徒が何種類かの視点で研究してポスター発表して、そばで大人からのコメントを聞いていましたが、なかなか理解できませんでした。

おそらく、初代の生徒が気がついた、反発係数の式を使うためにも隙間が重要な役割を果たしている、という単純なことだったのだと思いますが、こうすればもっと明快になって誰に対しても誤解を生まないだろうと考えたのが今回の実験。

理科教材の数万円の衝突球は数ミリ間隔が空いているので教材を作っている方は知っていたのでしょうか。

直径30mmの中空ステンレス球(ステンレス球ミラー仕上 径30×0.8mm 13.2g 東急ハンズ)と直径30mmのスーパーボール(12.9g)は、ほぼ同じ質量なので材質の違う衝突球の装置を作るのに使えます。フレームは初めダンボールでしたが、安価な衝突球玩具を多数買い、フレームへの振動吸収が一番の減衰理由だとわかり、3cm間隔に穴があるLアングルにして、釣り糸をアングルの穴に通したピスで締めて吊っています。ボールへの釣り糸の接着が一番の難点で結局テープで貼っています。静かに実験するならバキュームピンセットで初球をセットすると再現性が高いです。金属球だけの時は電磁石でやり、磁化が残っていないか、電磁石が熱過ぎ、など問題がありました。ちなみに金属球同士の衝突では、一度全ての金属球が同時に接触していました。弾性定数のようなものはラングウの弾性にあり、ばねと違い一次ではありません。

(接触している2物体の一方に3体目を衝突させる、3体同時衝突は、衝突後の動作について条件を1つ付加すれば回避できますが、その条件の理由を十分に説明できる余裕がないと考えられる入試問題からは、除外した方がよろしいのではないかと考えています。)

## 【反発係数と失われるエネルギーと重心系】

衝突問題では散乱角が実験系と重心系で面白い点なのですが少々難解です。そこよりも、重心系で見るともっと単純に見える利点を明快にして、記憶に残した方が重心系をもっと使うのでは、というあくまで気がしたので作った課題です。

## 【気体分子の衝突によるエネルギー差の変化】

高校生の頃、壁の分子から熱量(エネルギー)が気体分子に伝わるのをちゃんと力学的に見たくて、一次元の問題にして解いてしまったので、エネルギー差が縮み、高いエネルギー差があった状況から低いエネルギー差になるように衝突によってエネルギーが流れ込むと勘違いしてしまっていました。お恥ずかしながらこの課題を作るまで勘違いしっぱなしでした。均一なエネルギーに近づいていこうとするが、いっぱいあるので多少ばらつくのでしょうか、なんて勝手に思っていました。力学的に何が言えるのか。完全に衝突がランダムに起きたらエネルギー差(分布)はどうなるのでしょうか。

(これで初めて、マックスウェルが球をはじめ色々な衝突を議論していたのを読もうかなと思いました。)

## 【ランダムな分配が繰り返される場合の分布の自然法則を調べる】

大沢流統計力学の本を読んで、ほぼ頂いたものです。できるだけ気体の分子衝突の見解にあわせてつもりです。エクセルで膨大な数の場合のシミュレーションをするバージョンも考えて試してみたら非常にきれいにるのでどうしようかなと思いましたが、レクリエーションも兼ねて体験的に統計法則を体得してもいいかと、あえてゲーム実験のパターンのままにしました。

(均等にならない、ということと、指数関数的、の二つの重要な要素に視点を向けさせるには、もう少し設問を変えないとよくないと思っています。)

## 【気体分子のエネルギー分布関数を考える】

キッテルの本のように場合の数からスターリングの近似で指数関数という導出が、どんな原理で指数関数?と思っていたところに、ランダウの本を読んだときに感動したような記憶だったのですが、ランダウを今パラパラ見てもどこだったか分からないので違うかも知れません。微分方程式をブラックボックスで解くとまたしても意味がなくて関数そのものの特徴として理解すべき内容なのだと思います。本当は、衝突の何かが均等として、エネルギーの分散の比率が決まってきて、そのことも考慮して平衡の式を書く話にしないといけない気もしますが、そういう制限がなかったらどうかということはどうでしょうか。もちろん、確率なので合計1を考えると合計する変数に対する測度が必要で、それは速さを変数に取った時に3次元でまた別に扱った方が面白いと思います。

(平均の速さが分布グラフのどのへんかを示すグラフは原点で0になっていて指数関数ではなく、この測度が縦軸にくっついています。その辺あいまいなものがあったたびたび混乱していました。)

## 【カウンターウエイトがついた装置による円運動】

赴任したときから装置と実験プリントがあって生徒実験させてきた実験ですが、最初からどこに注目したらいいのか分からない気がしていました。モスクワの森という本だったと思いますが高度が違う人工衛星の接近のさせ方の問題があって意外な答だったのを、この実験をやっているとき思い出していました。はじめ手回しは芸がないので固定したらどうなるかという課題を作ったら、なんとほぼ等速で降下運動。そういえば等速運動の速度は慣性の法則(ガリレオの相対性原理)から自由で決まっています。空気抵抗力と重力のつり合いによる等速運動以外、等速運動の速度の示し方が分かりません。この問題でもつり合いからでは速度が出せません。けれども実験的には決まっていそう。どんな仕組みなのでしょう。これはAとBが授業中の実験で、Cが発展研究です。

(半径が変わる回転する物体のリアルタイムの角速度の測定法で回転に影響を与えないのが思いつきません。)

## 【気柱共鳴】

これは初め他校の生徒発表で、音が大きくなるだけでなく小さくなるというグラフを見て惹かれたのと、自分でいくらやっても理論通りにならない経験があったのと、近年の入試問題で音波が話題になっていたからです。結果からいうとまださっぱりわからん、という状況でまともな課題が作れません。イヤホンは圧力変化が最大のピストンの場所に入れた方がいいのか、それとも変位が最大の開口部に置いた方がいいのか。コンデンサーマイクならピストン部で間違いないけど。それは、イヤホンは、振動板が気柱内に直接音波を発すると考えるのか、それなら振動板と同じ振動をあたるなら振動が大きい開口部、イヤホンの開口部から出てくる音波が気柱の空気を同様に振動させようとするのか、それなら周囲へ圧力変化を及ぼそうとしていて圧力変化大きいピストン部。いや、ちがうのか。

(ピストンの押し棒に回転センサーを直結して管の長さはデータロガーで測定できますが、音量センサが管に入るほど小さくないのが問題で、管の中の場所による共鳴音の違いなどは自作の小さなコンデンサーマイクに整流器をつけて電圧センサでデータロギングしてきました。またピストンが簡単に動く装置はピストン周りの隙間から内部に音が漏れて管全体の共鳴が混じります。音源が小さいスピーカーだと測定された音量変化はマイクが内部にあるときと外部にあるときではまるで違うものになります。測定は内部でやるのが正解で外部では音源との干渉効果が入ります。縦波なのが音波でまず間違えやすい。壁に斜めにはね返ると変位はどうなるのか。垂直成分は固定端、平行成分は自由端。圧力変化波で考えるならどうなるか。まずこのへんで混乱する。一番分からないのは音源の振動する物体の動きと周囲一帯の気体分子が同じ動きなのか、物体が動き気体分子は近くは衝突して動き、少し離れたところは動かず圧縮されるのか、少し離れたとはどのくらいか。振動体と気体分子流体の相互作用を真正面に扱った文献が見つけれられません。知っている方、是非教えて下さい。共鳴のエネルギー源は音叉なのか。振動から音波に変わる変換効率が共鳴で変化するのか。音叉に大きな共鳴音のエネルギーが作れるのか。音叉の振動は微少すぎて、また減衰もはやく測る方法が分かりません。音源が遠かったら共鳴しないのかと生徒が実験したら、なんと音源から離れた共鳴管の近くだけ音が大きくなり、音源付近では音量が変わらず、振動体の音波への変換効率ではなさそうな結果がでた。生徒の研究発表へのコメントに、共鳴や共振は勝手に動いているだけ、と言われたこともあります。それは、単純化して長いつる巻ばねを手で揺る実験を生徒がしていて反射波が共振時に揺らすの手伝うことがなんとなく分かったときで、そんな大事な事...だぶんどこかに書いてあったのかな。そのとき、エネルギーではなく振動に着目するように注意を受けていましたが、目標が共鳴音のエネルギーを一から理解したい、なのでしかたありません。共鳴管は常に大きな音のエネルギーを出し続けています。ブランコのように蓄積した結果を見せているのとは違います。外に共鳴音波を出してエネルギー減衰しない理由が必要です。また、生徒が試行錯誤している中で開口端に音源を近づけると共鳴振動数が変わるのにも気がつきました。それは多分複雑で、開口端がそもそも音を跳ね返す媒質の何らかの境界面になっていることと、共鳴管から出てくる音と音源(小さいスピーカーなど)からの音が干渉する効果もあり、さらにそこに共鳴点をまたぎ共鳴音の位相が反転する現象も絡んでいる、ということまでは分かりました。外部発音器を使った共鳴の実験はこの点を気をつけないといけません。私にはまださっぱりわからん状況なので、やればやるほど予想外の結果で、私は面白いのですが生徒はそうでもないらしく私の方法論の失敗のようです。音波をある意味可視化する圧力変化ではなく気体分子の振動速度を測れるマイクが高額ですが存在しています。だれかこれで徹底的に研究しないかな。波動を、物理学科にそんな科目ない、とずっと怪しい目で見ていたのが悪かった。量子力学や流体も結局偏微分方程式だし、その境界条件の物理に関心を払うべきでした。)

### 【正弦波の合成波はなぜ正弦波なのか】

三角波の問題は正弦波の問題を際立たせるための問題。正弦波の合成は三角関数の合成で考えれば当たり前ですが、わかった気がしないだろうと思いました。頭の中で棒を振り回して考えていたときに、なるほど気がついたので課題にしました。まあ、はじめから当たり前と言われれば当たり前の話なのですが。

(位相の分だけ回転する棒を、重ね合わせてどんどん継ぎ足していくのは、ファインマンの一般向けの本にも似たものを見かけた気がしますがちゃんと読んでないので曖昧です)

### 【ギターの2つのアナログな調律の違い】

高校の頃ギターを弾いていましたが、倍音を使ったチューニングばかりしていて、いくら正確にやっても2,3弦あたりがいつもおかしかった。若干安物の自分のギターが安かろう悪かろうなのだと思っていました。どこかに倍音チューニングの問題点を書いてあったのだらうけど、平均律なんかより倍音の方が正しいやらかただと思い込んでいた。ピタゴラス的に誰にもある感覚と一般化して作った課題でしたが、今時の人は、デジタルチューナーですがそれがなにか、でした。

(エレキギターでやった方が倍音が長く聞きやすい。ナイロン弦のギターだと倍音を鳴らすテクニックを先に磨く必要があります)

### 【楽器をドレミファソラシドに倍音と平均律で調律したときの違い】

ギターを始めたころ、なんでドレミファソラシドと並べないんだ。と思ったのが、いまだに残っていて作ってしまった課題です。持っている生徒に聞くとハーブは実際こうらしい。純正律楽器と平均律楽器を両方を弾いて、差を感じ取りたいという希望もあります。6弦ギターでやった場合に、弦が張りすぎて切れないようにセッとしたので音程が低すぎてつまらない。

(ソフトで和音を作ると、純正律と平均律の違いが少し分かります。だから純正律がいいぞ、という今時の人は平均律の汎用性を逆に反論してくる。倍数とべき数がほぼ一致する点が多数力所あるという数学は整数とかのジャンルで面白いのではと思います。1/12乗は小さすぎて近似するのにずるくないか、という気もしないではないですが、その倍や半分で音階作るとどうなるのかなどきつと理論的研究はどこかにあるでしょうが、いまならそれで演奏も簡単に出来る気がします)

### 【凸レンズと組合せレンズの作図と実験】

大人になってからももう一度望遠鏡に興味を持ち、倍率の計算をしたとき、見た本が子供向けだったのか古かったのか接眼レンズの前に仮想のスクリーンを立てて対物レンズの像を一旦作ってから、接眼レンズをその像に対して計算していたのが気に入らなかった。現実の光線の動きではない。簡単なのでこの説明の仕方をその後もあちこちで見かけましたが、生徒も気が付いていやるものもいるだろうと思って、もう一つルールを加えることにし、練習問題が応用のヒントになるようにしてみました。

(4つめのルールも、所詮、問題や解答の解説の中では書かれるのだから、初めからルールとして書いておくことにならないかなと思います。私のルールの解釈が悪い(はじめから、レンズを通った光は結像する部分に集まる、と書いてあるだろう、というのは論理的には正しいと思いますが)、ということもあり得ます。)

### 【レンズの形の関数を求める(近似式の活用)】

このあと干渉で使うのでおなじみの近似式の課題をここにしました。レンズ内を光軸に平行に光線が流れるとすると、屈折の法則はどこへ行ったら、になりませんがどうでしょう。どうせ望遠鏡は、薄いレンズ近似、ではすまされませんか。

(レンズの公式を球面レンズで薄いレンズの時に求めると、レンズに入射して屈折角だけは近似した屈折の法則を使い、反対側から光が出ていく高さは入射した高さと同じという近似(薄い)を使う。この辺との兼ね合いをもうちょっと調べるべきなのでしょう。)

### 【正立装置(直角反転ミラース)】

アマチュア天文趣味の世界では知る人ぞ知るめがねのまつもとさんが比較的最近発明したものと認識しています。この発明が最近だったことは驚きですが、プロの天文学者は観測用望遠鏡を双眼にするほど贅沢はできないし、撮像による観測一辺倒になったせいかもしれません。これで高倍率の望遠鏡による双眼鏡が手軽になりました。双眼視は、明らかに認識能力が上がります。そういう意味は確実にあり単眼を双眼にする装置よりも明るいですが、数倍ほどの差も視差もないので、僅差でも認識力が重要という人たちが使うでしょう。

(それより私は、双眼鏡は、視差と自分の片目の遠近感の両方を利用する、雲を立体感をもって見られる双眼鏡が欲しい。老後はこれで飽きない気がします。)

### 【光の偏光】

ベル不等式がノーベル賞で注目を浴び、このポイ偽物の実験は天井の蛍光灯で安全にできそうと思えたのと、これしかシュレーディンガーの猫に近づけそうな実験がなかったので計算して作ってみたものです。やってみると理想の偏光板は存在しなく、いろいろ補正が必要で、若干怪しい面倒なものになってしまったので、単純におもしろがれなくなってしまった点が痛いところです。本物は、このポイ偽物の2枚の偏光板の中間からエンタングルしたペア光子を両側の偏光板に向けて発して2つの偏光板の外側でそれぞれ測定するものなので、エンタングルしたペア光子がない段階で全然違うものです。その代わり不等式を、中間状態を確定して測定した結果を合算しても未確定な時を再現することはできないという話に利用しました。本物とこのポイ偽物を計算すると、主要な部分は同じになっていると思うのですがどうでしょう。見てないときは、本当は死んでいるか生きてるかどちらかだけど、知らないだけなんでしょ、という身近な人を説得したくて少々焦って作りました。その焦りが仇となっていないか不安です。確率のルートが確率振幅だなんて、とお叱りを受けますが、なんとなく確率振幅の香りがする量を自分で具体的な数値として測定した気になれる経験を持てたらいいなと思いました。PascoのセンサをXplorer GLX Handheld Dataloggerで使いました。偏光板を置けるようにセンサを7cm角の木材に穴を開けて通しましたが、センサの開口部がガタつくので瞬間接着剤で固定。センサーは実験台で固定。天井の蛍光灯直下で実験。光センサは高価なのでデジタルルクスメーターBTMETER BT-881Eも買ってみたがこれでも大丈夫。もちろんGoDirectのセンサでも可。できたてなので、独りよがりて意味がないとか勘違いや間違いが、大いに心配。Dが授業での実験で、E,F,Gが発展課題。

(見つけれないので夢かも知れませんが、昔原子核が量子力学の衝突の授業で、確率振幅を真ん中で折り返したような公式か定理があったようななかったような。実物とこのぼい偽物はそれと似ている気がする。夢か間違いかも。光の面白い実験はレーザーがつきもので、量子消しゴムを演示実験で行っていますが、生徒には、失明するから絶対に振り向かないこと、と過剰に言っています。生徒にやらせる実験は安全第一優先と決めています。だからレーザーは誘惑されるけど使わないと決めています。干渉がないと量子力学っぽいことができないと思っていました)

### 【平行板コンデンサー】

なんといっても電気は見えない。だから身近なものに、これだけ蓄えたぞ、ほら見て、でしょう、という結果が欲しかったので、よくある実験にクーロンメーターをつけました。クーロンメーターは少々高価ですが、可視化は重要だと思います。AとBが授業での実験で、Cが発展課題です。

(他に、静電気の電位を測る装置もちょっと高価ですが購入しました。が静電気の安全性も最近気になっています。冬場に予期せず経験しているからいいとは思いますが、生徒に実験させる、となると安心感がどうも湧きません。時代的に想定外だったとしても。もし安全なら、検電器のガラス部分に帯電棒を10秒くらい近づけると、遠ざけるときの箔が変な挙動する現象が観察されておもしろい実験が出来ます。おそらくガラス表面の湿気が帯電・拡散して、その様子を測定できるのではないかと思います。金網シールドボックスを作って、静電気を逃がす手袋を使えば多少安全に実験した気がするかも知れませんがまだ躊躇しています。クーロンメーターに電気をいっぱい溜め込みたくなくて、 $Q=CV$  からつい帯電棒で自作コンデンサーを充電してみたら、クーロンメーターが一瞬で静電破壊…)

### 【ブリッジ回路を流れる電流の式と測定の解釈】

昔、ブリッジに電流が流れない条件をブリッジ間の電圧が0になるとして解けると思ったことがあって、その時の自分をいまだに説得しようと試みてしまっただけの課題です。

(やはり電流って何者なんだろうといまだに思います。基本的に中性。流れや動きはその中性を維持している。全体としては何も変わらない。電荷は正味が外に見える。電流はいくらあっても外から見えない。実態が見えない。電気工作をしたことがある人とならない人で、見識は違うと思いますが、電気回路の場合、電流はまず測れません。電圧チェックがメイン。つながっていれば同電位が基本。そこから考えられることを想像して電位差と抵抗から電流を見積もる。だからどうにかしろと言われるとつい電圧で考えたくてしまう。よく考えてみると、電気回路で電流が流れてない生きてる電線ってどういう所なのか見当が付きません。ブリッジ回路を作る人の気分にならないと永遠に解決されないのかもしれない。)

### 【帯電した回転するリングの磁場(磁場の不可思議)】

電流はくせ者、というわけではないが、こんな変な設定もよく見かけます。棒磁石をもって力を感じる設定にしたところがちょっとだけした工夫です。

(単極モーターとかソレノイドとその前の磁石を相対的に回転させるという問題があります。これらもみんながそこに何が起きているか同じ見解にすぐになれるような問題でなければ、やっぱり十分な説明をする余裕がない入試問題からは除外した方がいいのではないかと思います。パークレーの電磁気には平行電流の相対論的な解釈があります。直線電流のそばで平行に電荷を走らせると、相対的な見方で矛盾が生じます。中性の電線を走って見ると帯電しているんです、という話ですが、この課題のケースでは回転運動なのでローレンツ変換ではありません。一般相対論で計算したことはないです。回転半径を大きくすれば重力効果は小さいでしょうから局所的に特殊相対論でいい近似かも知れませんが、回転と特殊相対論の怪しい本が昔あったのをふと思い出しちょっと躊躇します。)

### 【ファラデーの電磁誘導の法則をコイルを動かす場合と磁石を動かす場合で比較する】

相対論の論文の冒頭の話をもとに、誘導電場がある状況を作るために、一定に大きくなる磁場を作ればいいと単純に思って始めたら、マクスウェル方程式に当てはまらないとまずいと適当に直していたらこんな磁場になってしまいました。この問題も、大いに心配。

(与えられた磁場の関数から電場を作るようなことやっただけでなく、ソースがあるポアソン方程式からグリーン関数だったりして解く以外の、ソースを二の次にしたやり方を知りません。この電磁場ではソースが現実的ではないかも。でも局所的な電磁場ということはどうでしょう。)

### 【マクスウェルの誘導磁場の法則】

ファインマンの本にある方法。もっといいのは浮かびませんでした

### 【単振動の量子化を試みる】

位相空間で運動量を座標で周回積分する量子化条件をスムーズに導入したかったのと、このタイミングならこの程度の積分はできます。

(できれば、両端で浸みだしてトンネル効果と同様な効果で、両側で四分の一波長ずつ余計に長くなって、ゼロ点エネルギーもあることを、そのうち作りたい。前期量子論を搜したら無くて、WKB 近似の  $\hbar$  の2次の項で出てくると今頃理解した次第。エルミート関数や生成消滅演算子の行列などで分かったつもりでしたが本当の出処はまだよくわかっていませんでした。局所的に存在するためには減衰が必要で、局所的なので不確定原理が顔を出し、減衰と不確定原理は関係がある。ところで、なんで片側にはみ出す長さが四分の一波長なのでしょう)

こうして振り返ってみると、高校生の時の自分にとって考えるに値する課題を作っていたようです。他の誰かのお役にも立てばいいのですが。