

JPhO News Letter

Japan Physics Olympiad

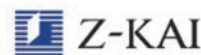
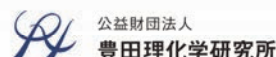
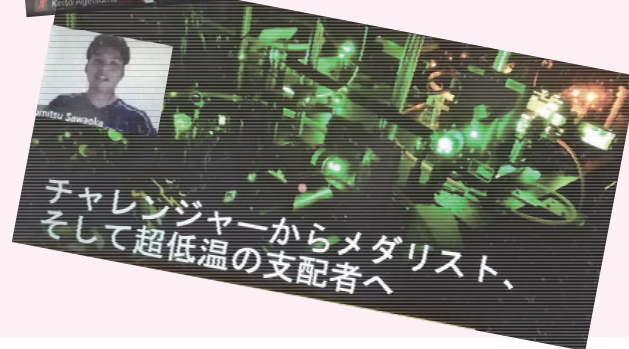
No. 32 2021年12月

CONTENTS

- 02 物理チャレンジ 2021 第2 チャレンジ理論コンテスト問題と講評
- 06 物理チャレンジ 2021 第2 チャレンジ実験コンテスト問題と講評
- 10 物理チャレンジ 2021 第2 チャレンジ報告
- 13 物理チャレンジ 2021 参加者の声
- 14 物理チャレンジの OP は今…



オンライン表彰式
みんなで
「物理チャレンジ！」



公益社団法人 物理オリンピック日本委員会

The Committee of Japan Physics Olympiad (JPhO)

Tel: 03-5228-7406 E-mail: info@jpho.jp Web: www.jpho.jp/

物理チャレンジ 2021 第2チャレンジ理論コンテスト問題と講評

理論問題部会長
三間 罔興



はじめに

2020 年度に続き、2021 年度の第2チャレンジ理論コンテストもオンラインで実施した。昨年度の経験を生かしてコンテストは格別の問題もなく無事終了することができた。2021 年 8 月 17 日、例年通り午後 1 時開始、午後6時終了の5時間で実施した。問題作成では、18 名の理論問題部会委員が協力し、昨年 11 月よりいろいろな問題提案を出し合い議論を重ねた。今年度は静力学、力学、電磁気学、現代物理（量子力学）の分野より大問4題を選び、説明や表現方法につき7月まで9ヶ月にわたりオンラインで検討し完成させた。特に、物理的なイメージを持って解答できるように、いずれの大問題もやさしい導入問題から始めるように工夫した。その結果、レーザー冷却やボース・アインシュタイン凝縮などかなり高度な内容を含んだ問題であったが、予想よりも高い 50%超の正答率で、最高点は 300 点満点となり、出題者一同に感激している。

最後に注意点であるが、薄い鉛筆で書いたものや消し残った数式が残るものなど、不鮮明な答案をスキャナーで pdf 化したものがあり、解答の意図の解読に苦勞した。今後、修正は丁寧に消し、筆記は濃い鉛筆を使うなど改めて注意を喚起したい。

理論問題全体の講評と各問題の解説を以下に記す。

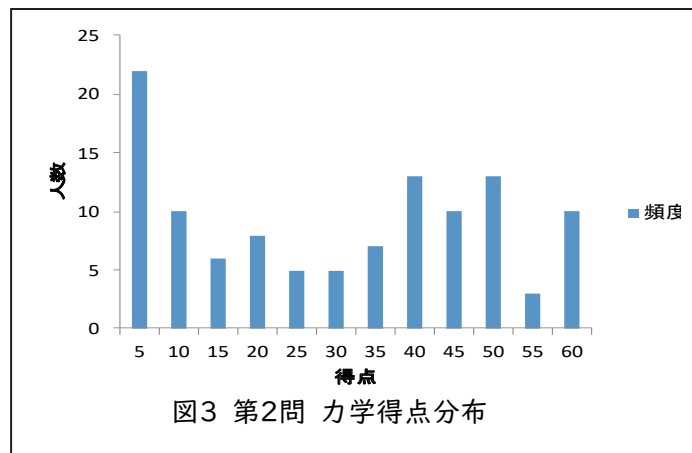
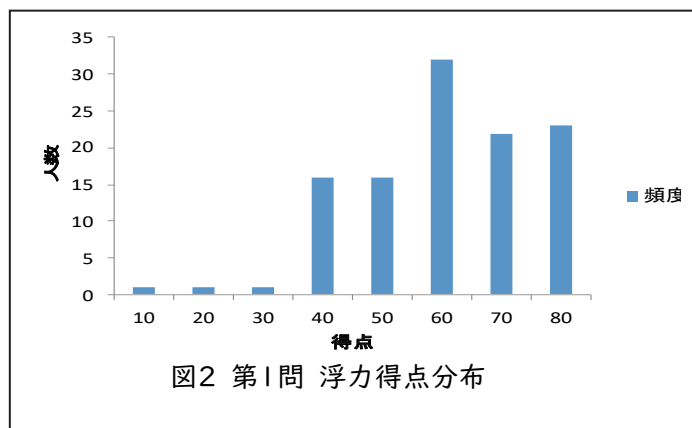
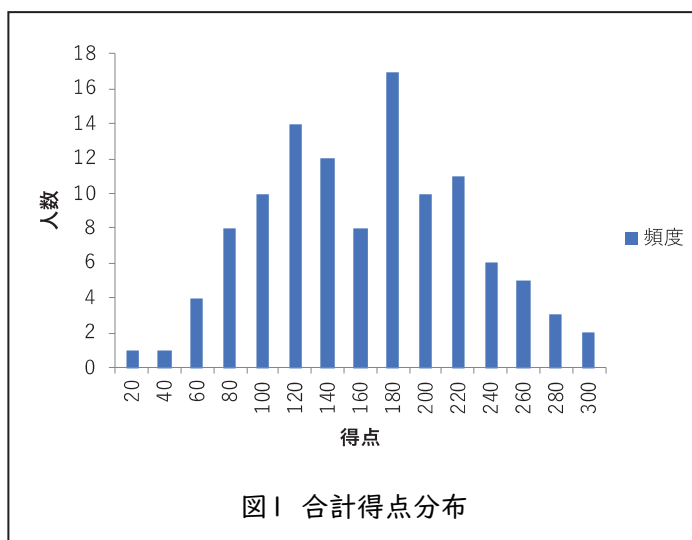
理論問題全体の講評

力学、流体力学、熱力学、統計力学、電磁気学、現代物理（相対性理論、量子力学、原子物理など）のできるだけ広い分野から出題するように問題を選んだ。その結果、今年度の問題として、第1問 浮力（氷山の浮かび方）、第2問 力学（振り子、断熱変化、パラメトリック励振）、第3問 電磁気学（単極モーターと単極発電機）、第4問 現代物理（光量子、レーザー冷却とボース・アインシュタイン凝縮）を出題した。

合計の得点分布は図1のように、300 点満点で平均点は 154.3 点で 50%を超えた。各問題の得点分布は図2、図3、図4、図5に示す通りであった。各大問の得点分布は、問題ごとに偏りがあったが、合計得点の分布は概ね正規分布をしており全体としては妥当な問題であったと自己評価している。

第1問（浮力）の得点分布は正答率 50%以上が大多数であり、第4問（現代物理）では、大多数が正答率 50%以下となっており、得点分布が対照的である。これは、第4問が時間的、内容的に手をつけにくかったのではないかと危惧して

いる。今年度の小問数は 49 題で多すぎたかもしれない。第2問（力学）と第3問（電磁気）はよく似た得点分布で、同様の問題に接したことがあるかないかで2グループに分かれたようにも見受けられる。



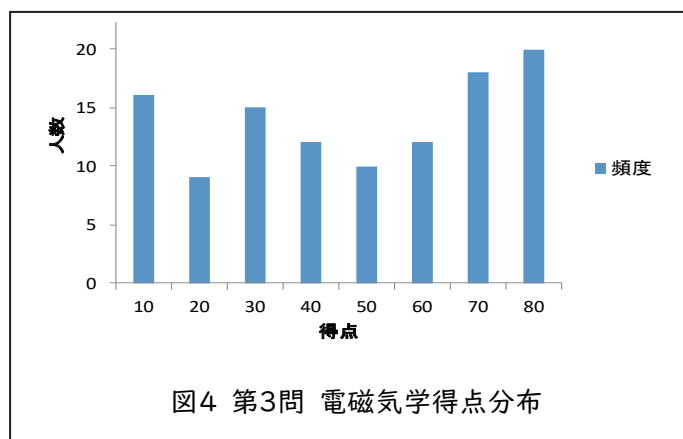


図4 第3問 電磁気学得点分布

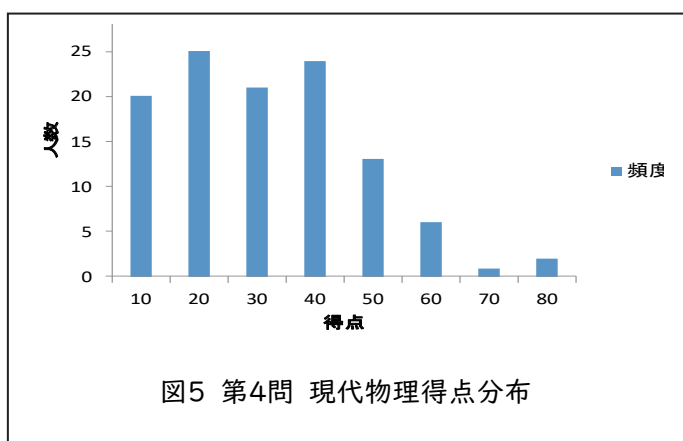


図5 第4問 現代物理得点分布

第1問 浮力(氷山の浮かび方)

アルキメデスの原理の説明からはじめ、浮かび方によって系全体の重力のポテンシャルエネルギーに差ができることを示し、より安定な氷山の浮かび方を考えることを問題とした。具体的には、水面の上に出ているのは“氷山の一角”と言われるが、よりありそうなのは図6の左図のように縦に立った状態か、右図のように横長に寝た状態かを、モデル計算により考える。

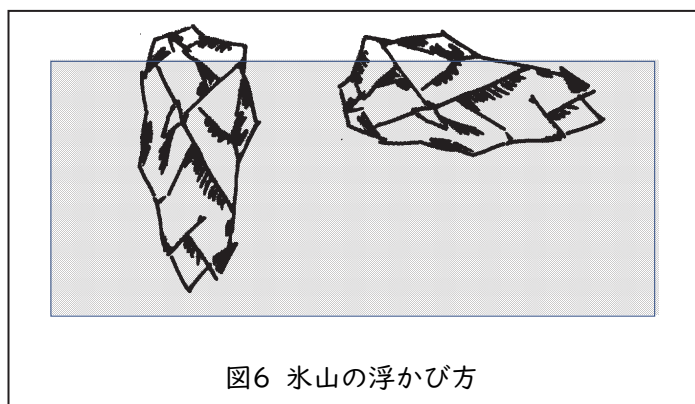


図6 氷山の浮かび方

モデル計算では、図7左図のような長方形の断面で、高さを H とし、水平方向の長さを $W < H$ とし、図7の右図では、水平方向を $W > H$ とした。系のポテンシャルエネルギーは、氷の重心で決まる氷のポテンシャルエネルギーから排除された水の元の位置の重心(浮心)でのポテンシャルエネルギー

を差し引いたものである。2つの配置のポテンシャルエネルギーの差は、 $\frac{1}{2}Mg(1-\rho)(H-W)$ となり、図7左図の状態のポテンシャルエネルギーが高い。ここで $\rho < 1$ は氷の比重であり、 Mg は氷の重量である。

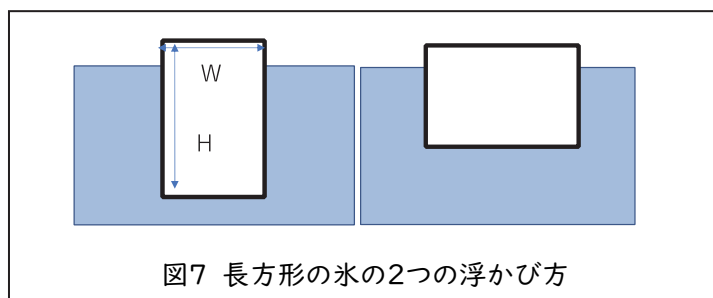


図7 長方形の氷の2つの浮かび方

さらに、図7の氷を少し斜めに傾けたときのポテンシャルエネルギーの変化を計算して、 $\rho = 0.9$ のとき、縦に浮かんだ状態は、およそ $\frac{W}{H} < 0.73$ 以上縦長になると不安定になり復元しない。

この問題の正答率は 80% で極めて高かった。これは、丁寧な導入とイメージを描きやすい問題であったことによるとされる。

第2問 単振り子の問題(力学)

振幅の小さな振り子の運動はよく取り上げられる問題であるが、図8の振り子の長さ l_0 を時間変化させた時の振り子の運動の変化を考えさせたのがこの問題の特徴である。導入の問題では、重さを無視できる糸に吊り下げられた錘の運動方程式(x の時間変化)から振れ角の時間変化が2階微分方程式に従うことを示す。微分方程式を解いて、与えられた振幅と初期位置から振れ角の時間変化を三角関数で表す。角度の振れ幅を振幅と呼んだことに抵抗感を持ったチャレンジャーもいた。

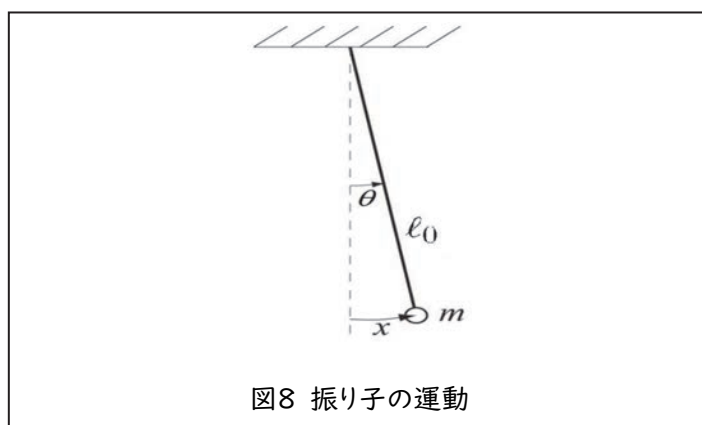


図8 振り子の運動

発展問題では、振り子の長さ l_0 を伸び縮みさせた時の振り子の運動の変化を取り上げた。

- 1) 振り子の振動に比べて十分ゆっくり変化する時、
- 2) 振り子の振動に比べて無視できない早さで l_0 を振動させた時

について振幅の変化を調べて、1) については振動周期とエネルギーの積(作用)が一定となること(断熱不変量)、2) については、 l_0 の振動周期が振り子の周期の $1/2$ の時振幅が時間と共に大きくなること(パラメトリック励振)を示す。前半の導入問題と後半の発展問題に難易度の差があり、後半は高校の教程の範囲を超えていたこともあり、正答率は前半が高く、後半が低かった。

第3問 単極発電機・単極モーター

(電磁気学と剛体力学)

誘導起電力とその逆過程であるモーターの仕組みを問題とした。誘導起電力を求めるにはファラデーの法則を、電流に働く力はフレミングの法則を用いるが、どの法則を用いるかをあえて問題では示さなかった。これに戸惑った生徒もいたようである。

図 9 のように、半径 a の電気抵抗を無視できる電気伝導体の円盤の面に垂直方向に磁場 B をかけて角速度 ω で回転させた時、半径 r と $r + \Delta r$ の近接した2つの同心円の間に生じる誘導起電力は図に示したように $\Delta \varepsilon = vB\Delta r = r\omega B\Delta r$ となる。

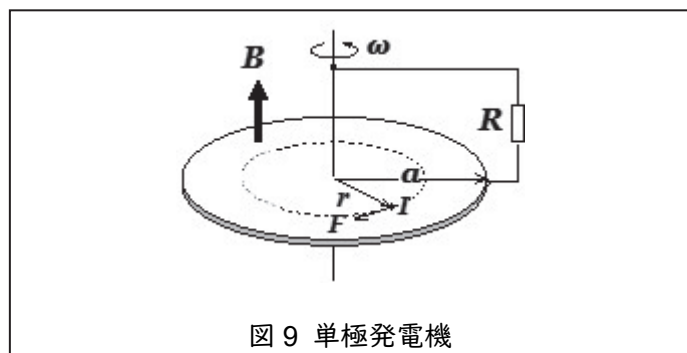


図 9 単極発電機

この結果より、円盤の中心と外周との間の電位を計算して発生する電位差が求まり、抵抗 R の外部回路を流れる電流を決定できる。この時抵抗で消費される電力は、電流が流れることによる力に抗して円盤の回転を維持するための仕事に等しいことを示すことができる。仕事量の計算では、電導体の回転軸まわりのトルク(力のモーメント)と角速度を用いるように誘導した。

単極モーターモーターについては、図 9 と同様の円盤を考えて、外部回路に電圧 V の電源を接続し、静止した状態からスタートしたときの回転速度の時間変化をもとめ、外部電流による円板の回転への仕事率の時間変化を問題とした。仕事率を求める過程では、円板の回転の運動エネルギーを計算する必要がある、慣性モーメントを概念として問題文中で説明した。

この問題も第1問同様、丁寧な導入があり比較的身近な対象が問題になったことによるのか、平均点は高かった。

第4問 光子とレーザー冷却(現代物理)

最近の話題として 1997 年と 2001 年のノーベル物理学賞の対象となったレーザー冷却とボース・アインシュタイン凝縮(BE 凝縮)を話題として取り上げた。導入として、アインシュタインの光電効果の実験で発見された光子 1 個のエネルギーから、光子の運動量を求めて光のエネルギーと運動量との関係を導いた。光の運動量からロケットの加速や運動量保存則と媒質中の光の速度からスネルの法則が導けることを問題とした。

光子が運動量を持つことで原子の速度が光子の吸収や放出で変化することを示して、ドップラーシフト効果を利用した原子の冷却過程を問題とした。

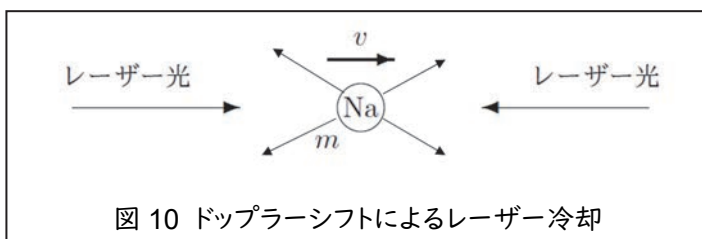


図 10 ドップラーシフトによるレーザー冷却

図 10 に示すレーザー冷却の例題として、ナトリウム原子の最外殻の第1励起状態への遷移:

$\hbar\omega_0 = (\text{上準位エネルギー}) - (\text{下準位エネルギー})$,
(2.11 eV: D 線) のレーザー吸収を利用したドップラーシフトによるレーザー冷却を取り上げた。 ω_0 より少し低い周波数 ω のレーザーを左右から対向に照射して、真空中に浮かんだ原子を減速する。原子の速度 v は光速より十分小さいと考えて良いので、ドップラーシフトは近似的に $\frac{\omega v}{c}$ であり、レーザー照射方向に $\frac{v}{c} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega}$ の速度を持つ原子は共鳴的にレーザーを吸収する。光子 1 個を吸収した時、光子の運動量で原子は反跳を受けて、 $\frac{\hbar\omega}{mc}$ だけ減速する。その結果、原子のエネルギーは $\frac{v\hbar\omega}{c} = \hbar(\omega_0 - \omega)$ のエネルギーを失うことになる。すなわち冷却が起きる。一方、励起状態になった原子が基底状態に戻る過程で、光子は図 10 に示すように等方的に放出され、その反作用で原子は加熱される。一つの光子の放出による加熱は光子の運動量に等しい運動量を持つ原子のエネルギー、すなわち、 $\frac{1}{2m}(\frac{\hbar\omega}{c})^2$ である。問題では、以上の結果を光子と原子の2体問題として、系全体のエネルギーと運動量の保存則より導かせた。

冷却が進み原子の速度が小さくなると、冷却率が下がる。その結果、原子の速度が $v = \frac{\hbar\omega}{mc}$ 、すなわち、ナトリウム原子の運動エネルギーが $\frac{1}{2m}(\frac{\hbar\omega}{c})^2 \cong 1.1 \times 10^{-10}$ eV になるとこれ以上冷却が進まなくなる。このエネルギーは温度にすると 8.0×10^{-7} K で、この状態を実現できれば、実現可能な原子密度に対し原子のドブロイ波長が平均粒子間距離より長くなり、BE 凝縮を起こす。

しかし実際には、原子のレベルの広がり(自然幅)のため、ド

ツプラー効果によるレーザー冷却の到達温度はBE凝縮に達しない。BE凝縮を実現するには、蒸発冷却など別の冷却法を追加することが必要であった。

最後に

第1問:小問 18、第2問:小問9、第3問:小問 11、第4問:

小問 11で、合計小問数 49 であった。5時間の解答時間を考えると小問1題あたり6分になる。にもかかわらず高い平均点となったことに、第2チャレンジャーに敬意を払いたい。ただし、今後は、難易度は別にして、じっくり考えながら解答できるよう配慮すべきと考えている。



物理チャレンジ 2021 第2 チャレンジ実験コンテスト問題と講評

実験問題部会長
一宮 彪彦



はじめに

昨年の第2 チャレンジ実験コンテストは COVID-19 の感染拡大により対面方式での実施が中止となり、オンラインでの実施も十分な準備期間が取れないために、実施を見送らざるを得なかった。今期については、対面方式でのコンテストを想定して、実験問題作成の準備を行ってきた。一方、感染状況によってはオンライン実施の可能性も考えられたため、そのための問題作成の準備も並行して行ってきた。本年7月に、オンライン実施が決まり、急遽インターネットを利用した計算機シミュレーションによるオンライン実験の準備を進めることとなった。

実験は3課題からなり、

課題Ⅰ: 液体の比熱の測定

課題Ⅱ: 光電効果によるプランク定数の測定

課題Ⅲ: 電気ブラックボックス

を、Web 上で行った。以下に、各課題についての講評を述べ、最後に全体についての講評を述べる。

実験課題Ⅰ: 液体の比熱の測定

実験課題Ⅰでは、図1のような液体の比熱測定装置を想定した。測定容器は1.5 リットル(10cm×10cm×15cm)の容量を持ち、厚さ0.2mmのアルミニウム容器の外側を厚さ1cmのポリスチロールで覆ったものを想定して、計算機シミュレーションプログラムを作成した。実験は液体の質量、電熱線の電力、加熱時間を計算機に入力し、そこで得られた液体の温度を基に、熱伝導で失

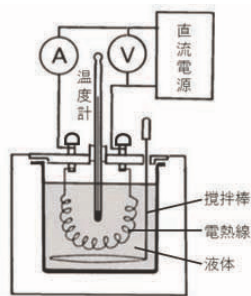


図1 液体の比熱測定装置

比熱の測定

1/5 画面 次へ

入力値に数値(半角)を入れ、実行ボタンをクリックしなさい。

液体の質量 M	100	g	240 g以下とすること
電力 P	10	W	
時間 t	3000	秒	
実行			
結果	87.5℃		

図2 Web入力画面

われる熱量、液体の比熱、液体以外の容器等の熱容量を求めることとしている。図2に示す Web 上の入力画面で、質量100 gの液体を10 Wの電力で3000秒加熱したときの温度、87.5℃が得られている。

まず、図3のように液体の質量を100gに設定し、加熱時間を十分に取った時の温度を電熱線の電力を変化させて測定し、温度がほぼ一定となった時の温度に対する電力の値を図4のようにプロットする。その変化の勾配から熱伝導で失われる熱量における、液体の温度と外気温との差にかかる比例係数を測定することが出来る。また、加熱初期における液体の温度変化(図5)の勾配の逆数を図6のように液体の質量に対してプロットし、その勾配から比熱を得ることが出来、また質量ゼロの切片から液体以外の容器等の熱容量を得ることが出来る。

設問では、図3および図5のようなグラフを書かせ、それを用いて、比例係数、比熱、液体以外の熱容量を求める方法を問い、それらの値を答えさせるもので、記述による解答も含まれている。

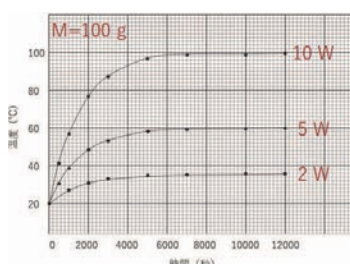


図3 100 gの液体の加熱時間と温度

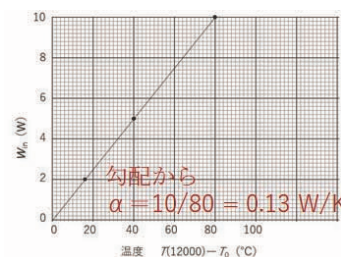


図4 飽和温度に対する電力

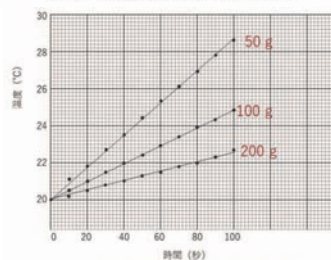


図5 電力10 Wにおける加熱初期の温度変化

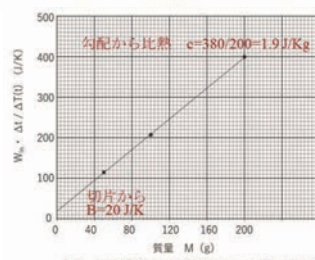


図6 加熱初期における温度変化の勾配の逆数を質量に対してプロットしたグラフ

図3から図6の例では、比例係数 α が0.13 W/K、比熱 c が1.9 J/K·g、液体以外の熱容量 B が20 J/Kと得られており、これらの値は、計算プログラム内で設定した値に非常に近い値となっている。

この課題の得点分布は図7に示すように比較的高得点に集中しており、全般によくできていた。これは実際の実験に比べて、数値を入力すれば結果が得られることが、問題を易しくしていると思われる。この傾向は、次の実験課題Ⅱにおいても同様である。

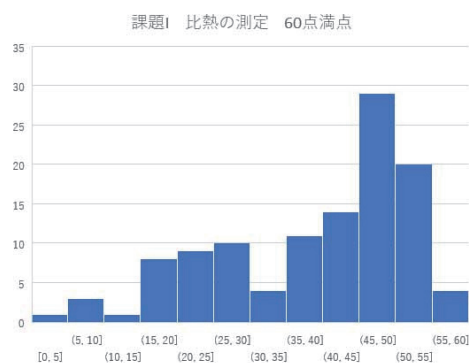


図7 課題1：比熱の測定の得点分布

実験課題 II: 光電効果によるプランク定数の測定

プランク定数の測定は、光電効果を利用した方法が一般的である。実験課題 II では図 8 のような装置による実験を想定した。高校の教科書に掲載されている光電効果測定用の電極の配置とは異なり、固体内の電子が真空中に飛び出すために必要なエネルギー（仕事関数）を測定するための装置の電極配置となっている。ターゲットと対向する 測定電極は同じ金属材料で出来ている。また、ターゲットと電極は真空中に置かれている。

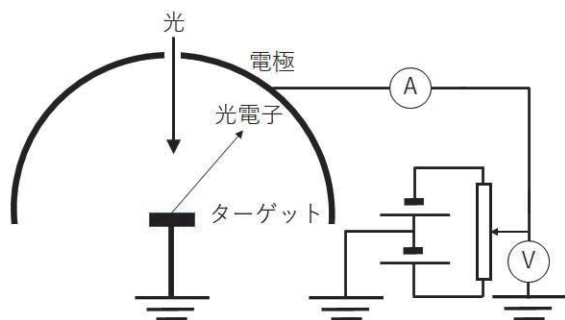


図8 プランク定数測定装置

ターゲットに光を照射するとターゲット内の電子は光の振動数に比例するエネルギーを得る。この時に比例定数がプランク定数である。このエネルギーが仕事関数より大きくなると電子は光電子として真空中に放出され、測定電極に到達する。ターゲットから電極に流れる電流は電流計で測定できる。固体内の電子のエネルギーは幅をもって分布しており、その最大エネルギーを光の振動数に対して測定すれば、その勾配からプランク定数を測定できる。この最大エネルギーは、対抗電極に負の電位を印加し、電流値がゼロになる電圧（阻止電圧）を測定することで求めることができる。

実験では、図 9、10 のように可視光の波長（380 nm～800 nm）と印加電圧を入力しその時の電流値を測定する。この実験では、印加できる電圧は 0.001 V 以上に設定され、測定電流は $0.001 \mu\text{A}$ (1 nA) まで測定可能としている。

図 9 では波長 500 nm を入力し、電圧を 1.2 V 印加したときの電流値が $6.995 \mu\text{A}$ と出ている。ここで電圧を 1.3 V に上げると図 10 のように電流値は 0 となり、阻止電圧はこの間にあることになる。したがって、この間の電圧を探ること

が求められる。

光電効果によるPlanck定数の測定

2/5 前へ 次へ

入力欄にそれぞれの数値(半角)を入れ、実行ボタンをクリックしなさい。

光の波長 λ nm (入力は整数)

印加電圧 V V (入力は小数点以下三桁まで)

実行

結果

$6.995 \mu\text{A}$

図9 波長と印加電圧の入力画面

実験では、図 11 のように、例えば波長 400 nm に対して印加電圧を変化させながら電流値を測定し、阻止電圧を求める。この作業を、波長を変えて行い、図 12 のように、光の振動数に対する阻止電圧の変化をプロットしその勾配からプランク定数を求める。また、振動数 0 の切片から仕事関数を得ることが出来る。

光電効果によるPlanck定数の測定

2/5 前へ 次へ

入力欄にそれぞれの数値(半角)を入れ、実行ボタンをクリックしなさい。

光の波長 λ nm (入力は整数)

印加電圧 V V (入力は小数点以下三桁まで)

実行

結果

$0.000 \mu\text{A}$

図10 波長と印加電圧の入力画面

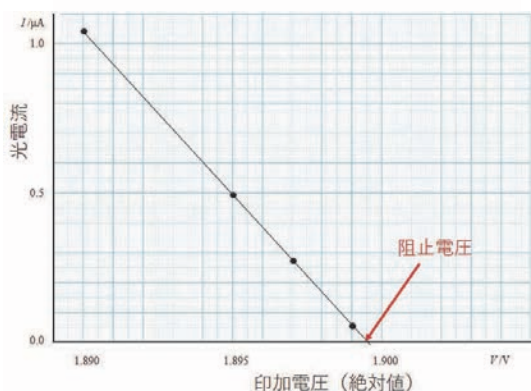


図11 印加電圧に対する光電流の変化 (波長400 nm)

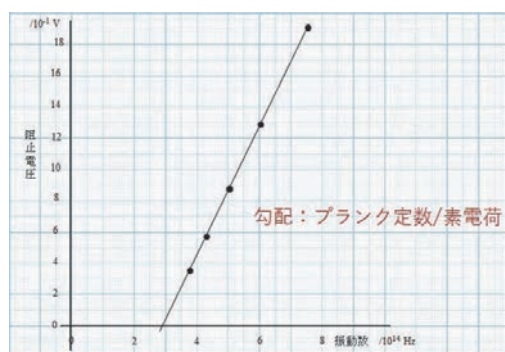


図12 光の振動数に対する阻止電圧の変化

問題では、任意の波長を選び、印加電圧を変化させて、図 11 のようなグラフを描かせ、阻止電圧を決めるとともに、印加電圧とともに、電流値が徐々に減少する理由を記述させている。さらに、図 12 のような、光の振動数に対して阻止電圧をプロットさせ、その勾配を求めるとともに、勾配からプランク定数を決定させた。また、グラフから、仕事関数も決定させている。得られた値は、プランク定数が 6.6×10^{-34} Js で仕事関数が 1.2 eV と設定値に一致した値を得ていた。



図13 課題2：プランク定数の測定の得点分布

実験では、波長と印加電圧を入力すれば電流値が表示されるので、課題 I と同様にそのデータの処理が採点の中心となる。そこで、データ処理における単位の正しい取り扱いが、点数をかなり左右することが見られた。図 13 の得点分布において、得点が 50% から 75% の範囲で広く分布しているのは、主に、単位の取り扱い方によるものである。たとえば、nm を 10^{-6} m と勘違いしているなどである。また、印加電圧に対する光電流の変化についての問いについては、問題の解釈に幅が出るような記述でもあり、点数のばらつきが得点分布に現れている。全体的に、課題 I と同様に比較的やさしい問題で、高得点側に分布している。

実験課題 III：電気ブラックボックス

実験課題 III では、図 14 のような、ダイオードを含むブラックボックスを用意し、そこに図 15 のような電源をブラックボックスの端子に接続する。そこで、スイッチを入れた時の応答から内部の素子の配線を推測し、それを基として、ブラックボックスを利用して作製した種々の回路の応答を調べるものである。

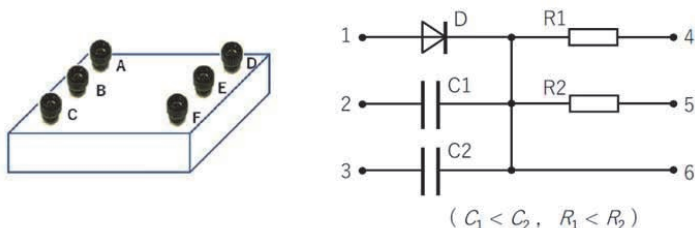


図14 電気ブラックボックス 外観と内部回路

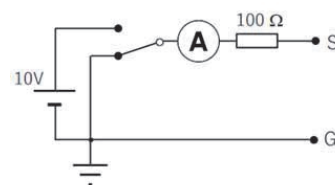


図15 電流計付き 10 V 電源

実験は、まず電源の S 端子と G 端子をブラックボックスの A~F の任意の端子に接続し、スイッチを 10V の電源側に切り替えた時に記録される電流値の時間変化から、内部回路の端子 1~6 との対応を決定することから始める。Web 上では、図 16 に示す入力画面で、A~F を入力する。ここでは、S を A 端子に G を E 端子に接続した例を示す。その結果、図 17 のような応答を示した。この結果から端子 A と E はコンデンサと抵抗を含む回路に繋がっていることがわかる。このようにして、順次応答を調べることで、A~F の端子が 1~6 のどれに対応しているかが分かる。また、C1、C2、R1、R2 の値も決定できる。

実験課題III-A

3/5 前へ 次へ

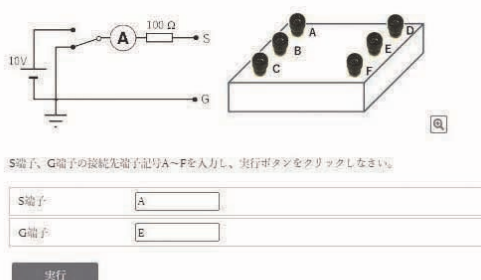


図16 電気ブラックボックスのWeb入力画面

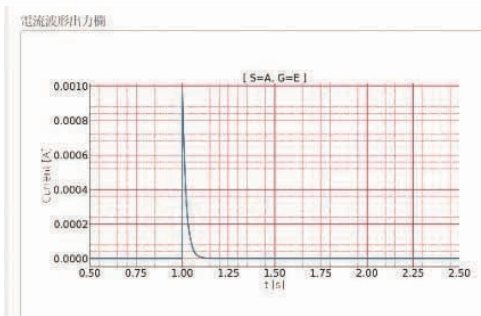


図17 図16の入力に対する応答

さらに、図 18 の回路にコンデンサを加えた図 20 の回路を用いて図 19 の交流電源とオシロスコープを接続し、(c)の位置での波形を求めさせるとともに、図 18 の回路における同じ位置の波形との違いについて理由を述べさせている。またこの回路では、端子の 2 または 3 および 4 または 5 が G に接続されることになる。

問題では、ダイオードの特性を示す設問から入り、ブラックボックスの各端子と回路図の端子との対応および各素子の値を求めさせている。実際の対応は、 $A=4$ 、 $B=1$ 、 $C=6$ 、 $D=5$ 、 $E=2$ 、 $F=3$ となっており、また、抵抗値およびコンデンサの容量は $R_1=10\text{ k}\Omega$ 、 $R_2=200\text{ k}\Omega$ 、 $C_1=1.98\text{ }\mu\text{F}$ 、 $C_2=10.1\text{ }\mu\text{F}$ である。それらが分かった上で、図 18 のような回路になるように図 19 に示す電源とオシロスコープを接続させる。図 14 の端子 1、4、6 が夫々図 18 の(a)、(b)、(c)に対応するように A~F の端子を選び、夫々 S、G、P に接続させる。それによる出力波形を描かせ、また(a)の位置と(c)の位置における電位の差を求めさせている。

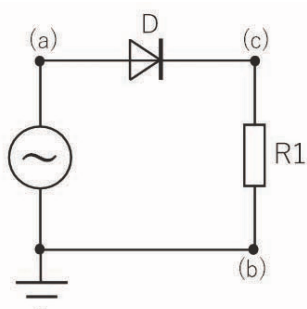


図18 ブラックボックス内に作る回路

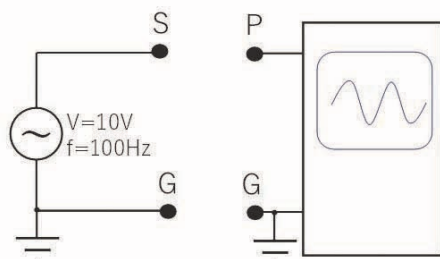


図19 交流電源とオシロスコープ

この回路の設問では、図 21 に示すような波形におけるリップル率について、図 20 の回路で得られた波形のリップル率を求めさせるとともに、リップル率を下げるには抵抗値とコンデンサの容量をどのようにしたらよいか、またその理由についても解答を求めている。

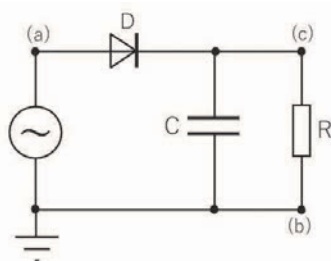


図20 図18にコンデンサを加えた回路

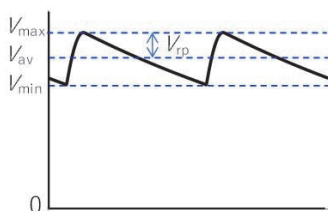


図21 リップル

課題 III では、課題 I、II に比べてかなり盛りだくさんの設問があり、また、オシロスコープ上の波形の振幅等も実際に物差し等で測定することを求めており、得点分布もかなり広範囲に分布すると予想された。実際の得点分布は図 22 に示すように、得点が高い範囲に分布し、2つのピークが見られ、問題が難しかったか、時間不足になった可能性が高い。

課題III 電気ブラックボックス 100点満点

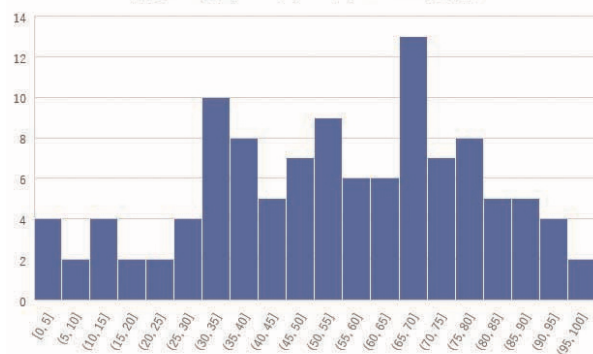


図22 課題3：電気ブラックボックスの得点分布

実験問題全体の講評

今回の実験問題はオンラインのため、計算機シミュレーションによる実験を行った。そのため、試験自体が易しくなるのではないかと、点数の差が付きにくいのではないかと危惧があったが、全体の得点分布は図 23 のように高得点側に偏ってはいるものの比較的正規分布に近く、問題の難易度としては全体として丁度良かったのではないと思われる。

総合得点分布 200点満点

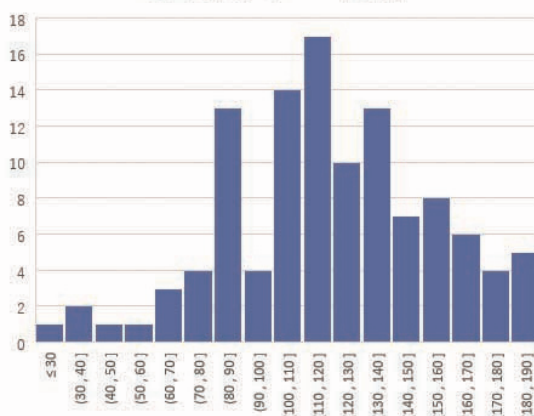


図23 総合得点分布

全体の平均点は 200 満点中 119 点であり、ほぼ 60% の得点となっている。最高点は 187 点であり、5 名が 180 点以上となった。また、オンライン実験のため、チャレンジャーには不評だったのではないかと危惧も、コンテスト後のアンケートでは、「面白かった」「楽しかった」とのコメントが多く、おおむね好評であった。

実験問題作成に関しては、実行ファイル形式を想定して、ある程度準備はしていた。しかし実際のチャレンジャーのパソコン環境等を考慮すると、実行ファイル形式は難しいことが判明し、急遽、Web 入力方式を取ることにした。それについては、株式会社教育ソフトウェアから多大なご協力が得られたことに感謝いたします。

物理チャレンジ 2021 第2チャレンジ報告

物理チャレンジ実行委員長
岸澤 眞一



はじめに

物理チャレンジ 2020 第2チャレンジは、新型コロナウイルス感染拡大のため、残念ながら9月に理論問題だけのオンライン開催となってしまいました。2021年の第2チャレンジはさすがに合宿形式での実施が可能になるだろうとの見込みで、岡山のコンベンションセンターや国際交流センター、岡山大学などに十分に広い会場を準備し、かつビジネスホテルのシングルルームを確保するなどの感染対策を十分立てて準備を進めてきました。一応念のため、オンラインによるコンテストの準備も同時並行で進めてきました。

対面かオンラインかを最終決定する事業推進会議が7月3日に開かれました。この時点ではまだ第5波のフェーズには入っていませんでしたが、感染者が急激に増加する兆候がみられたため、やむを得ず8月17日(火)～19日(木)にオンラインにより行うことが決まりました。今年は理論問題とともに、コンピュータシミュレーションを使用したバーチャル実験問題も実施し、さらに講演会や問題解説会も実施することになりました。

7月17日には、第2チャレンジ進出者を決定する事業推進会議が開かれ、116名が選出されました。なお、2023年度の国際物理オリンピック日本大会に向けて、今年度に限り高校1年生以下の優秀者数名がこの中に含まれています。

オンライン試験への準備

事業推進会議での決定を受け、その日のうちにソフトウェア会社にオンライン試験システムの構築を依頼しました。基本的には昨年度のシステムと同様ですが、多少の仕様変更が必要となります。

オンライン試験では、Zoomによる試験監督、問題のダウンロードと印刷、手書き答案のスキャンとアップロードを行います。本番中にトラブルが発生すると大変ですので、事前練習が必要となりますが、昨年度はZoomの練習のみを必須とし、その他は各自に任せていました。しかし実際には多くの人がZoom以外の練習をしなかったため、本番でトラブルが多発してしまいました。その反省を受け、今年度はすべての練習を必須にし、練習を完了しないとオンライン試験システムにログインできないような仕様にしました。またバーチャル実験を実施しますので、その機能の追加も必要となります。これ

らの仕様を組み込み、7月下旬にはユーザインターフェースがほぼ完成しました。

事前練習の数日前までには、オンライン試験の手順を記述した実施要項を参加者に送る必要があります。時間がない中、何とか7月30日に投函することができました。事前練習は8月7日～9日の3日間、1日当たり2回、それぞれ1時間半の時間を設定し、一連の流れを実際に体験しました。この期間にできない場合は別の日に個別対応をし、全員が事前練習をするように徹底しました。実際に練習してみると、印刷ができない、スキャンのやり方がわからない、PDFファイルが1つにまとまらない、など多くの問題が発生しました。また答案の提出まで完了したものの、不鮮明だったり、枚数が足りなかったりなどで、再提出した事例も数多くありました。練習の必要性を改めて認識しました。

今回はコンテストが2日間にわたるため試験監督者も多く必要になります。理論問題部会、実験問題部会以外の委員の方々にも声がけをし、必要な人数を確保することができました。オンラインですと監督者も全国各地から参加しますから、監督者間の連絡手段の確保が重要となります。Zoomのチャット機能は不正防止のため禁止にしていますので、昨年度はメーリングリストと電話で連絡を取りあいましたがかなり不自由な思いをしました。今年になってチャットツールのSlackの存在を知り、便利そうということから連絡はSlackに統一しました。事実、本番中Slackは大変有効に機能しました。

第2チャレンジの実施

第2チャレンジ進出者116名のうち3名が辞退したため、最終的な参加者は113名(うち女子は8名)となりました。コンテスト前日から理論問題の解答用紙のダウンロードが可能になり、コンテスト開始前までに印刷を終えるように指示が出されています。8月17日(火)、理論問題当日です。12:00からZoomに参加開始、全員がそろったところで諸注意、その後ブレイクアウトセッションにより参加者は各試験室に割り振られました。12:40から理論問題のダウンロード・印刷を行い、13:00からいよいよ理論問題コンテストが始まりました。コンテスト中は、スマホやタブレットの電池が切れてしまう、回線の状態が悪くZoomが切れてしまう、Zoom画面で

解答用紙に記入した文字が読めてしまう、などいくつかのトラブルが発生しましたが、その都度 Slack を使い監督者と本部とで連携しながら対応しました。18:00 に試験終了すると、一番心配していた解答用紙のスキャンとアップロードが始まります。数名スキャン時にトラブルが発生しましたが本部が対応し、ほぼ全員が時間内に終了しました。アップロードが終わった人は、解答用紙の封入（手書きの解答用紙は念のため郵送してもらうことになっています）、翌日の実験問題コンテストの解答用紙のダウンロード、印刷へと進みました。



本部の様子（Zoom で試験監督中）

18 日（水）の実験問題コンテストのスケジュールは理論問題コンテストとほとんど同じです。前日の経験が生かされたようで、試験中のトラブルはだいぶ減りました。実験問題では、ブラウザ上でパラメータの入力や実験結果の読み取り作業があります。初めての試みですので心配していましたが、特に問題は発生しませんでした。実験問題コンテスト終了後はアンケートに回答してこの日は終わりました。

2 日間のコンテストを通して、試験中のトラブルは 2020 年度と比較して激減しました。事前練習を必須としたことの成果が表れたようです。

去年はスマートフォンだけでも参加することができましたが、今年は Zoom 中継をしながらブラウザ上で実験問題を解く必要があったため、スマートフォンだけでの参加はありませんでした。ただ、Zoom 中継用にスマートフォンを使用した人は若干名いました。

「物理チャレンジに参加して科学を学ぶ意欲が高まったと思うか」という質問に対しては、全員が「『とても』または『どちらかといえば』そう思う」と答えていました。物理チャレンジが科学を学ぶ動機の向上に役立っていることは確かなようです。

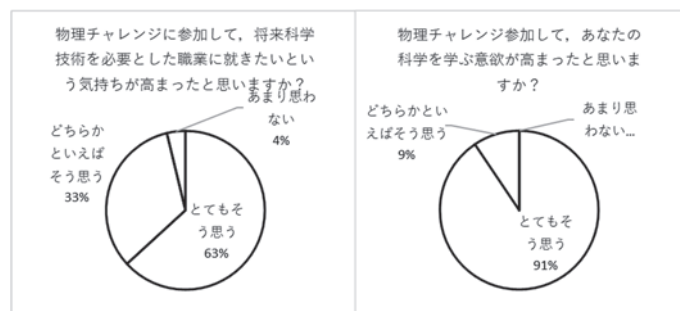
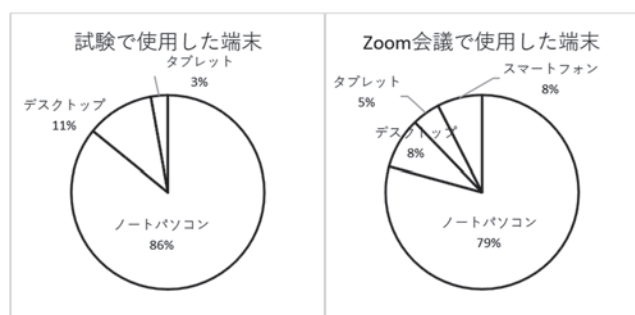
自由記述より

- ・ 全体的に非常に難しい問題ばかりでしたが、これを通して、物理の面白さがよく分かりました。今後も努力を重ね続け、来年は今回よりも良い成績を残したいです。独創的な問題を作ってくださった物理チャレンジの運営者の皆さん、ありがとうございました。
- ・ オンライン開催になったのは残念でしたが、問題を解くのは楽しかったです。理論試験は身近な話題から現代物理学まで、テーマが多様で、どれも興味深かったです。第二チャレンジの実験試験は初めてで、あまり実験の経験がない僕にとっては少し難しかったです。
- ・ 初めての参加でしたが理論問題・実験問題ともにとても楽しめました！特にブラックボックスの問題はパズルみたいで面白かったです。
- ・ 参加者交流がしたい！！！！

皆さん第 2 チャレンジを楽しんでくれた様子が見えます。でも参加者同士の交流はやはりやりたかったですね。

アンケート結果

アンケート結果の一部を以下に示します。



講演会・問題解説会

最終日の 19 日（木）には以下のようなスケジュールで講演会と第 2 チャレンジ問題解説会が開かれました。

10:00～11:00

澤岡洋光氏（ハーバード大学物理学博士課程、IPhO2013 メダリスト）

「チャレンジャーからメダリスト、そして超低温の支配者へ」

11:15～12:15

相馬淳人氏（株式会社エリジオン 取締役 CTO（最高技術責任者））

村下湧音氏（株式会社エリジオンチーフエンジニア、IPhO2006 入賞、2007、2008 メダリスト）

「ものづくりの講義」

13:15～14:15

吉田直紀氏（東京大学大学院理学系研究科教授）

「富岳コンピュータで挑む宇宙と素粒子の謎」

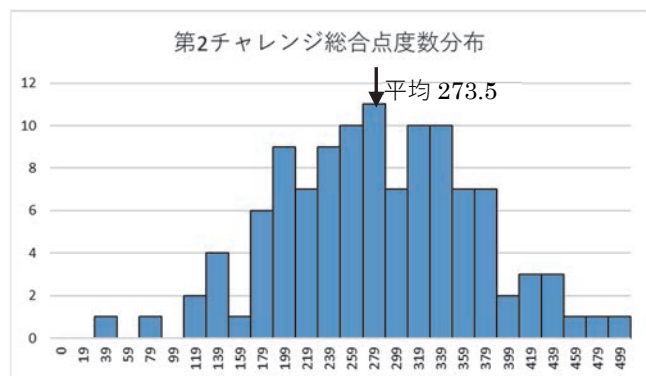
14:30～15:15 理論問題解説

15:15～16:00 実験問題解説

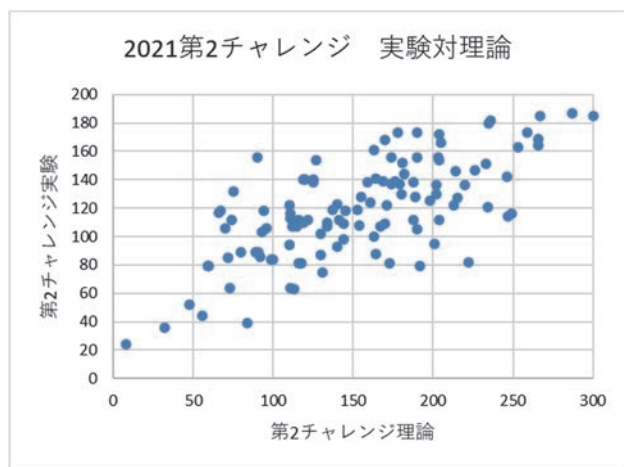
参加者は約 100 名で、ほとんどのチャレンジャーが参加しました。いずれの講演でも複数の質問が出されて、講演者と熱心なやり取りをしていました。

成績概況

理論問題 300 点、実験問題 200 点合計 500 点満点で、平均点は 273.5 点（得点率 54.7%）でした。成績の度数分布を以下に示します。



下の図は実験と理論の相関図です。相関係数は 0.70 で例年と比べると若干強めです。バーチャル実験だったためかもしれません。



表彰者

9月19日（日）にZoomによるオンライン表彰が実施され、以下の皆さんが表彰されました。

【第2チャレンジ】

☆チャレンジ大賞（理論・実験総合で最優秀）

楠元 康生 久留米大学附設高等学校 3 年生（福岡県）

☆エリジオン賞（理論問題コンテストで最優秀）

楠元 康生 久留米大学附設高等学校 3 年生（福岡県）

☆TDK 賞（実験問題コンテストで最優秀）

栗野 稜也 筑波大学附属駒場高等学校 3 年生（東京都）

☆理研計器賞（高校 2 年生以下で最優秀）

三宅 智史 東海高等学校 2 年生（愛知県）

☆東京エレクトロン賞（女子参加者で最優秀）

伊藤 陽莉 白陵高等学校 3 年生（兵庫県）

☆金賞

栗野 稜也 筑波大学附属駒場高等学校 3 年生（東京都）

伊藤 陽莉 白陵高等学校 3 年生（兵庫県）

楠元 康生 久留米大学附設高等学校 3 年生（福岡県）

黒田 優人 大阪府立北野高等学校 3 年生（大阪府）

西尾 朋人 石川県立金沢泉丘高等学校 3 年生（石川県）

三宅 智史 東海高等学校 2 年生（愛知県）

☆銀賞

揚妻 慶斗 筑波大学附属駒場高等学校 1 年生（東京都）

安藤 祐翔 岐阜県立岐阜高等学校 3 年生（岐阜県）

大倉 晴琉 埼玉県立大宮高等学校 2 年生（埼玉県）

喜多 俊介 筑波大学附属駒場中学校 2 年生（東京都）

木下 晴登 市川高等学校 3 年生（千葉県）

小泉 風翔 江戸川学園取手高等学校 3 年生（茨城県）

田中 優希 灘高等学校 1 年生（兵庫県）

徳田 陽向 京都府立洛北高等学校 3 年生（京都府）

中谷 快 広島市立基町高等学校 3 年生（広島県）

藤谷 恒輝 早稲田高等学校 2 年生（東京都）

山本 裕太 灘高等学校 1 年生（兵庫県）

吉田 悠真 灘高等学校 3 年生（兵庫県）

☆銅賞

石川 亮太 千葉県立東葛飾高等学校 2 年生（千葉県）

越前 克仁 富山県立高岡高等学校 3 年生（富山県）

大平 達也 海陽中等教育学校 6 年生（愛知県）

片山 哩 岡山白陵高等学校 2 年生（岡山県）

京 具輝 灘高等学校 3 年生（兵庫県）

田中 勇吾 埼玉県立浦和高等学校 3 年生（埼玉県）

辻村 昌幸 灘高等学校 2 年生（兵庫県）

童 予昕 芝高等学校 3 年生（東京都）

埜上 照 宮城県仙台二華高等学校 2 年生（宮城県）

原島 寛之 岡山県立岡山朝日高等学校 3 年生（岡山県）

宮永 雄史 岡山白陵高等学校 3 年生（岡山県）

山口 航志郎 浅野高等学校 2 年生（神奈川県）

☆優良賞

石黒 勇樹 福島県立福島高等学校 3 年生（福島県）

伊藤 嵩志 岡山県立岡山朝日高等学校 3 年生（岡山県）

植田 靖啓 灘高等学校 1 年生（兵庫県）

大村 慧 市川高等学校 3 年生（千葉県）

沖汐 龍 麻布高等学校 1 年生（東京都）

加藤 大智 名古屋市立向陽高等学校 3 年生（愛知県）

金田 燈和 横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校 2 年生（神奈川県）

釜口 悠太 海城高等学校 3 年生（東京都）

熊谷 洸希 秋田県立秋田高等学校 3 年生（秋田県）

久米 伸太郎 東大寺学園高等学校 2 年生（奈良県）

黄 翌成 灘高等学校 3 年生（兵庫県）

小島 将吾 明星高等学校 3 年生（大阪府）

鷲根 亮 栄東高等学校 3 年生（埼玉県）

高相 歌秀 早稲田高等学校 2 年生（東京都）

田中 志歩 桜蔭高等学校 2 年生（東京都）

煙岡 英樹 西大和学園高等学校 1 年生（奈良県）

中條 創太 徳島市立高等学校 3 年生（徳島県）

土居 寛市 東大寺学園高等学校 2 年生（奈良県）

橋爪 淳 静岡県立清水東高等学校 3 年生（静岡県）

何 櫟 茨城県立竹園高等学校 3 年生（茨城県）

本澤 龍紀 神奈川県立多摩高等学校 3 年生（神奈川県）

宮崎 陽人 大阪星光学院高等学校 3 年生 (大阪府)
 孟 那日遜 灘高等学校 2 年生 (兵庫県)
 山下 航弥 大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎 2 年生
 (大阪府)

【第 1 チャレンジ】

☆第 1 チャレンジ最優秀賞 (実験・理論総合で最優秀)

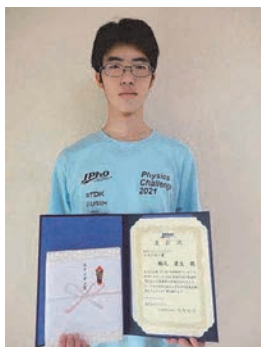
何 櫟 茨城県立竹園高等学校 3 年生 (茨城県)

冠賞受賞者の声

☆エリジオン賞 (理論問題コンテストで最優秀)

楠元 康生
 久留米大学附設高等学校 3 年生
 (福岡県)

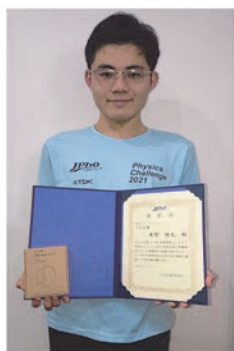
この度は、第 17 回全国物理コンテスト「物理チャレンジ 2021」において、理論問題コンテストで最優秀の成績を修めたチャレンジャーに与えられる「エリジオン賞」を受賞することが出来て大変嬉しく思います。株式会社エリジオンチーフエンジニアの村下湧音様は物理チャレンジと国際物理オリンピックの先輩であり、今年の第 2 チャレンジの講演会では、株式会社エリジオン取締役 CTO の相馬淳人様とともに、数学や物理の現実問題への応用についての意義深い講演をして頂きました。点群データの効率的な処理のためのアルゴリズムの話は興味深く、数学や物理の社会での活用の具体的事例を知り、高校での学習では得ることの出来ない新鮮な刺激を受けました。大学では、現実の問題への応用を念頭に置きながら、今よりも更に幅広い分野の学習を進めて行く所存です。



☆TDK 賞 (実験問題コンテストで最優秀)

栗野 稜也
 筑波大学附属駒場高等学校 3 年生
 (東京都)

高校最後の年に金賞受賞と言う良い結果を残し、更には実験最優秀の TDK 賞を頂くことが出来て本当に嬉しく思います。物理チャレンジは 4 年目になりますが、毎年様々な人と出会い交流し、どの年も非常に楽しく有意義な時間を過ごすことが出来ました。物理への造詣が深まったばかりではなく、内面的にも物理チャレンジを通して成長できたのではないかと思います。私は、物理学の持つ、数学を用いて未来が予測でき、実世界に幅広く応用できると



いう魅力に惹かれ、勉強を続けてきました。まだまだ学ぶことは多く、現段階では発展し続ける物理学に追いつけてはいないですが、大学以降での学びで物理学の最前線に到達し、最終的にはその知見を生かして社会に貢献できるような人材になることを志しています。

☆理研計器賞 (高校 2 年生以下で最優秀)

三宅 智史
 東海高等学校 2 年生 (愛知県)

この度は理研計器賞という名誉ある賞をいただき、誠にありがとうございます。私は物理を勉強し始めてたった 2 年目の未熟者ですが、自分なりに努力した結果このような賞をいただくことができ、非常に嬉しく今後の励みにもなります。物理を勉強し始めたきっかけは数学を使って現象を記述し解明する巧みさ、美しさに惹かれたことなのですが、そういった意味で物理チャレンジの問題はどれも楽しく解き応えのあるものばかりです。しかし、フィジックスライブで物理を用いた技術に触れたり、第一線で活躍する研究者の方々のお話を聞かせていただいたことで、物理を楽しむだけでなく、将来は社会に役立つようなことに繋がりたいと思うようになりました。今後もより一層勉学に励んで参りたいと思います。ありがとうございました。



☆東京エレクトロン賞 (女子参加者で最優秀)

伊藤 陽莉
 白陵高等学校 3 年生 (兵庫県)

高校最後の物理チャレンジでこのような賞をいただくことができ、とてもうれしいです。初めて物理チャレンジに参加した時は重力加速度も知らない状態で、もちろん第 2 チャレンジに行くことなど夢のまた夢でした。

去年の物理チャレンジでは運よく代表候補に選ばれ、研修を通して高校の範囲を超えた物理に多く触れることができました。理解できなくて大変でもありましたが、そうした貴重な経験が今回の賞につながったのだと思います。

最後に、東京エレクトロン株式会社様、特別賞をありがとうございました。



物理チャレンジ OP は今…

物理チャレンジ 2007 第2チャレンジ参加
河野 彩乃



物理チャレンジでの経験を経て

私が物理チャレンジに参加したのは、高校3年生の夏のことです。大学受験を控え、自分の興味・関心の向く先を模索するなかで、全国の高校生が集う物理コンテストの存在を知りました。正直なところ、当時は必ずしも物理が大好きというわけではありませんでした。が、受験科目としての物理には面白さを感じつつあったので、もっとその楽しさに触れてみたいと考え、応募してみました。その年の第1チャレンジの理論問題コンテストが身近な場所で開催されたことも応募を後押ししてくれたように思います。

運良く第2チャレンジへ進めることとなり、初めての一人旅に緊張しながらつくばの会場まで向かったことを覚えています。つくばでは「理論」と「実験」のコンテストに加えて、ノーベル物理学賞受賞者の江崎玲於奈先生によるご講演や、当時建設途中であった加速器施設 J-PARC 内部の見学などイベントが目白押しで、最初の緊張はすぐに溶け、終始圧倒されつつも知的好奇心に心躍る4日間を過ごすことができました。

私にとって、物理の面白さと同じかそれ以上に印象的だったのは、同世代の参加者の姿です。物理が大好きな参加者たちがそこそこで物理談義に花を咲かせている様子を目にしたり、そんな彼らと一緒に実験の展示や研究施設見学を心から楽しんだりするなかで、知的好奇心を素直に受け止めて一つのものと心血を注ぎこむことの楽しさ、美しさ、大切さを学んだように思います。この高校時代の体験があったからこそ、その後、研究の道を志すことになったのだと感じています。

大学では、物理とも関係の深い材料科学を専門に選びました。とくにナノ・マイクロオーダーの材料が持つ様々な性質や機能の探索に興味を持

ち、大学院修士課程修了後は企業の研究所で研究開発に従事しています。現在はイギリスのケンブリッジ大学に留学し、自分にとっては新しいテーマでもある、原子・分子レベルでの有機・無機ハイブリッド材料の階層構造の制御や機能探究に関する研究への挑戦を始めました。異国の地で、バイタリティ溢れる研究室の同僚たちと、刺激的な毎日を送っています。知的好奇心に溢れた人たちに囲まれていい仕事をしたいというモチベーションも、今自分が立っている場所から一歩踏み出して、新しいフィールドに挑んでみようと思う心意気も、今振り返ると高校3年生の夏に生まれたものだと思います。

コロナ禍での物理チャレンジはオンライン開催になっているとのことで、参加者同士のコミュニケーションや臨場感を得ることの難しさはあるかもしれません。一方で、オンライン開催になったことで、日本全国より多くの学生がより気軽に一歩踏み出してチャレンジするチャンスに巡り合うことができるのでは、と期待する部分もあります。すでに物理が大好きという方はもちろん、高校生のころの私のようにまだ物理に興味を持ち始めたばかりのみなさんにも、学ぶ楽しさや醍醐味に触れる機会と捉えて、ぜひ気軽に応募してほしいと思います。

物理チャレンジ 2007 の様子は、HP から閲覧可能です。

