

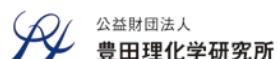
JPhO News Letter

Japan Physics Olympiad

No. 31 2021年9月

CONTENTS

- 02 アジア物理オリンピック(APhO)2021 オンラインで出題された理論問題
- 03 アジア物理オリンピック(APhO)2021 オンラインで出題された実験問題
- 05 国際物理オリンピック(IPhO)2021 リトアニア大会 オンライン参加
- 07 国際物理オリンピック(IPhO)2021 リトアニア大会で出題された理論問題
- 09 国際物理オリンピック(IPhO)2021 リトアニア大会で出題された実験問題
- 11 国際物理オリンピック(IPhO)2021 リトアニア大会に参加して
- 13 物理チャレンジ 2021 第1チャレンジの実施と講評



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/

アジア物理オリンピック 2021 オンライン大会で出題された理論問題

国際物理オリンピック派遣委員会理論研修部会 委員
杉山 忠男



はじめに

2021年5月17日～24日までオンラインで実施されたアジア物理オリンピック(APhO)2021台湾大会で出題された理論問題について解説する。予め問題は非常にチャレンジングであると台湾本部より聞かされていたが、予想以上に難しく、選手の出来は良くなかった。APhO参加選手全体および日本選手の各問の平均点は次の通りである。

配点と全参加者181名(日本選手8名)の平均点

	配点	平均点
理論第1問	10点	2.3点 (2.85点)
第2問	10点	1.5点 (1.06点)
第3問	10点	1.5点 (1.10点)
理論合計	30点	5.3点 (5.01点)

以下で問題概要を説明するが、詳細はホームページに載せられている問題¹⁾を参照して欲しい。

第1問 ウォーター・ハンマー効果

図1のように、長さ L の一様な円筒形の管の中を、水が水平速度 v_0 、密度 ρ_0 、圧力 P_0 で $+x$ 方向に向かって定常的に流れている。このとき、管の先端にあるバルブTを瞬時に閉じると、過剰圧力 ΔP_s の縦波が $-x$ 方向に遡って伝播する。

バルブを全閉または半閉にすると、圧力波が上流に向かって伝わり、貯水槽側で反射され再びバルブに戻り、そこで反射される。そのとき、別の圧力波が発生し、先ほどのプロセスが繰り返され、バルブ近傍で水の圧力上昇と低下が連続して発生する。これをウォーター・ハンマー効果と呼んでいる。本問は、バルブを瞬時に閉じたときとゆっくり閉じたときの管内の水の圧力とその流速を求める問題である。

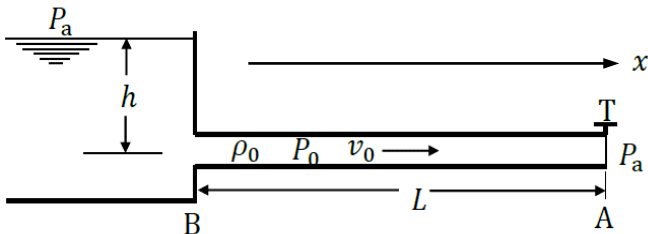


図1

第2問 光線追跡ともつれた光の生成

本問は、興味深い量子効果として注目されている光波のもつれ(entanglement)を考察する問題である。まず、等方的誘電体および一軸性誘電体中を伝播する光波を考えて、正常光線、異常光線の性質を調べる。また、等方的誘電体から一軸性誘電体に進む光波の振る舞いも調べる。

次に、「光波のもつれ」について考察する。

一軸性媒質中を進む光波は、直角方向に偏光した2つの光波に分裂することがある。このようにして別れた2つの光子はもつれた光子対(entangled photon pair)と呼ばれる。

図2に示すように、 x' 方向に対してそれぞれ角度 α と β 傾いた伝送軸をもつ2つの直線偏光子1,2を通過する2つの光子を同時計数測定する計算を行い、ベルの不等式の変形版(CHSH不等式)を具体的に計算し、古典理論と一致しないことが示される。

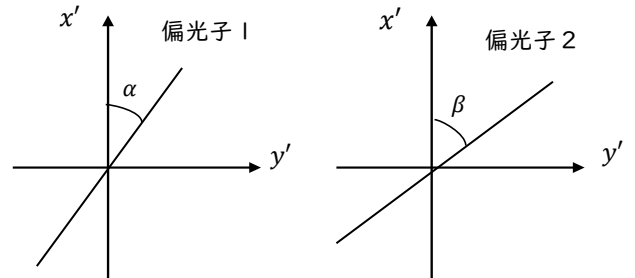


図2

第3問 磁気浮上

本問では、導電性薄膜近傍での磁気双極子の運動を考える。薄膜の上方に磁気双極子(以下では、単に単磁極という)および磁気双極子(単に双極子という)が現れた場合、薄膜の応答を考察する。

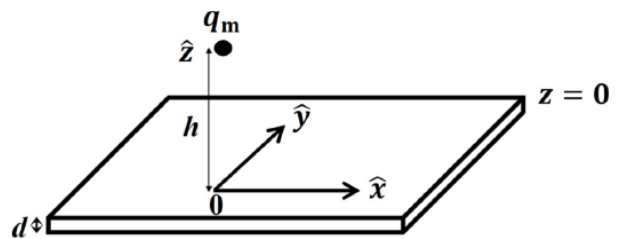


図3

まず、図3のように薄膜上に突然単磁極 q_m が出現した場合、薄膜中に誘導される電流を考え、薄膜近傍での磁場を求める。その際、薄膜中に誘導される電流による磁場は、仮想的単磁極(単磁極の虚像)を用いると考えやすい。次に、単磁極を動かしたときの応答を元に、双極子を動かした場合の薄膜の応答を求める。最後に、薄膜を超伝導性薄膜にしたとき、双極子の平衡位置とその近傍で振動する双極子の振動数を求める。

- 1) APhO2021台湾大会ホームページ
<https://apho2020.tw/site/page.aspx?pid=233&sid=1316&lang=en>
- 2) 物理オリンピック日本委員会のホームページ
<http://www.jpho.jp/syllabus.html>

アジア物理オリンピック 2021 オンライン大会で出題された実験問題

国際物理オリンピック派遣委員会実験研修部会 委員
鈴木 功



はじめに

実験課題は従来とは異なって、計算機利用のシミュレーション実験（約 100 MB のプログラム）であり、8 GB 以上の RAM を有する Window-10 のパソコンで行う必要があり、20 点満点で、2 つの大問よりなっていた。問題文は 19 ページからなり、短時間のうちに翻訳しなければならず、時々文言の訂正が入るので、8 人の委員で手分けをしつつ、翻訳ソフトを利用して実施した。和文の完成後、選手ごとに ID 付きでの正式印刷したものを渡すのだが、解答用紙、計算用紙も含めると合計 600 枚にも達するもので、5 時間の予定を若干越えてしまった。

Q-1 カンチレバーの弾性

大問のうちの第 1 問 Q-1 は、原子間力顕微鏡などマイクロスケールのエンジニアリングによく用いられるカンチレバーの弾性に関する問題であった。レーザー光をカンチレバーに照射し、その反射光を位置敏感型検出器(Position Sensitive Detector)によって到達位置を観測し、加えた力などによる変形を評価するものであった。パソコンのスクリーンには、実験装置の主要器具が表示されており、マウスをクリックすることで、それらの位置などを調整できた。作用させた力やヤング率、断面二次元モーメントによって決まる変化量を数式より計算し、測定データと比較することから、光テコとしての比例係数を定める課題があった（図 1 参照）。なお、シミュレーション実験での生データは、揺らぎの効果を含んでいるものが出力されてきて、数回の測定の平均をとることが想定されていた。

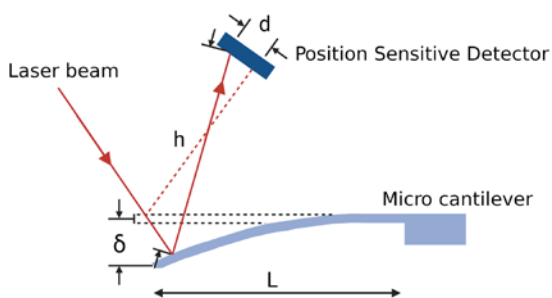


図 1：カンチレバーの変形と位置敏感検出器(Position Sensitive Detector)でのレーザー検出位置の関係を示す模式図

二重層カンチレバーでの同様の測定を行わせ、温度上昇によるひずみの効果を調べて、曲げ変形と温度との関係を求めさせ（図 2 参照）、それらから、シリコン基板上に蒸着された金属試料のヤング率を求めさせた。Q-1 の最後には、カンチレバーにタンパク質層を蒸着させた試料を複数用意し、既知の被覆率の試料での測定データに基づいて、未知試料の被覆率をレーザー光が反射してくる位置を表す測定データから、評価させるものであった。

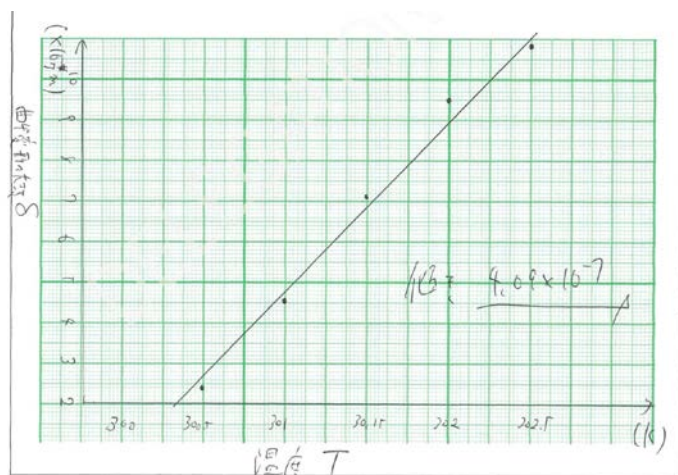


図 2：二重層カンチレバーの変形 δ と加熱温度 T との関係を示す測定の一例

Q-2 模擬生体試料の構造

大問の 2 番目 Q-2 は、光学的手法で模擬生体試料（ガラス球を充填した長方形セルを周期的に並べた構造体）の構造を調べるという課題であった。最初に二重スリットを校正用試料として使用して、その干渉縞を 50cm 離れた位置のスクリーンに表示させて、暗線の位置からスリット間隔を求めさせた。その後 3 三つの可視域レーザーを用いて微小ガラス球間の距離を、回折パターンから求めさせた。

試料とスクリーンの間の距離を大きくさせて、直交する二方向での 4 次から 7 次の回折パターンの輝点の位置を測定させ、その平均値から、微小球の詰まっているセルの大きさ (l, w) を求めさせるものもあった（図 3 参照）。また赤外域レーザーを使用させて、縦横 4×4 の輝点パターンの位置を測定させ、セルの配向方向 (φ)

とセル間距離 (dx, dy) を決定させた (図 4 参照)。最後に、微小球の詰まったセルの大きさとその間隔を 3×3 セル分だけの平面図を描かせた (図 3 参照)。

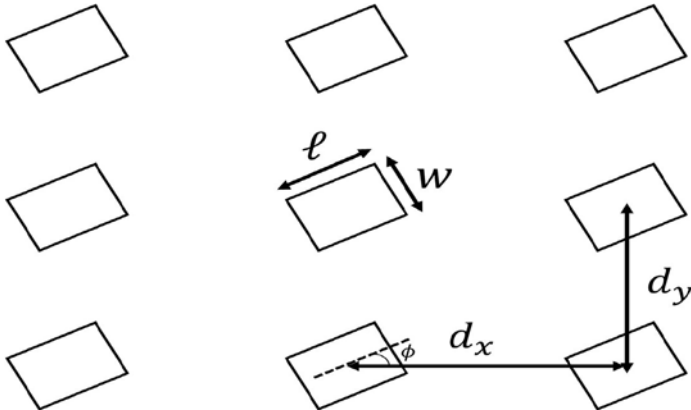


図 3：微小球充填の長方形セルの 3×3 構造の模式図

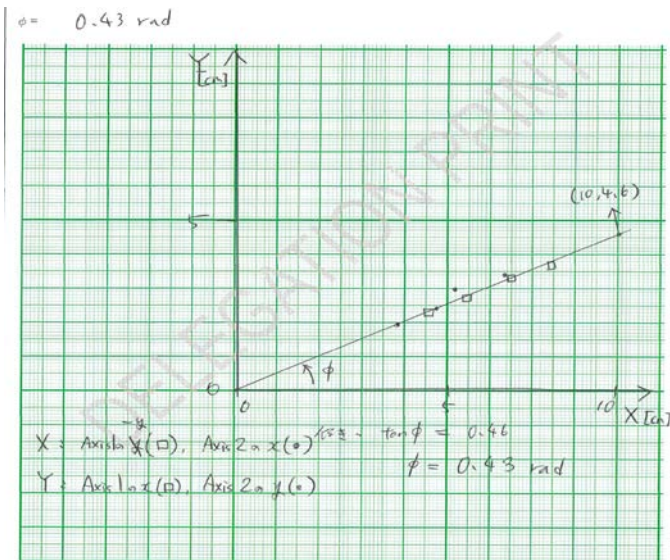


図 4：長方形セルの配向角(ϕ)の決定のための回折像輝点の座標(X, Y)のグラフの一例

問題文の中では必要な数式については説明がなされ、具体的な物性定数、幾何学的なサイズ等は提示してあるので、問題の解法には困難なく取り組めたと考えられるが、測定は多数回を実行させることが多く、測定に時間がかかりすぎてしまう可能性が高かった。また、採点基準が、求めた値が正確であることを高く評価するようになっていることが多かった。したがって物理実験の能力自身を問うものというよりも、パソコンのマウス操作の熟練度を試す感があった。

おわりに

日本選手の半数以上が、送られてきた計算プログラムの圧縮ファイルを解凍できなかった。(数時間前にプログラムは付添委員より、スティックメモリーを仲介して伝達され、試験開始直前にその解凍パスワードが

選手に伝えられた。) そのため委員側で解凍できたファイルをスティックメモリーより伝達した。

また微細にミラーなどを調整する操作を要求するものが最初に出題されており、その微細操作の結果がスクリーン上には表示されないものであった。(Q-2での問題では、マウスの一度のクリックでの移動幅が示されていたのだが。) これらのことから、必ずしも十分に完成したものとは言えないが、初のシミュレーション問題で、スクリーン上でのミラー操作等を実現できていることなどは高く評価できるであろう。



国際物理オリンピック 2021 リトアニア大会 オンライン参加

物理オリンピック日本委員会 (JPhO) 理事長
長谷川 修司



はじめに

COVID-19 パンデミックのため、昨年の IPhO2020 リトアニア大会は中止されて今年に延期となった。そのため、この 7 月に全参加国が自国から参加するオンライン形式で IPhO2021 が開催された。日本を含む 76 の国と地域から 368 名の代表選手たちが参加した。IPhO の成績が、各選手の奨学金や大学入試にかかわる国も多いので、きわめて厳格な形での実施体制が必要となる。そのため、リトアニア本部から下記のような実施形態を要請された。JPhO としては、すべての要求条件を満たして公正な状態で参加していることを示すため大変な努力を払った。

(1) 選手たちが受験する試験実施場所と、役員たちが問題の検討・翻訳作業をする場所は別々にすること。

(2) 試験実施場所での試験監督者 (2 名) は、JPhO の関係者ではなく利害関係のない中立の者とする。

(3) 試験中の選手の監視はもちろん、試験監督者が行う実験キットの入っている段ボールの開梱や試験問題冊子の印刷、解答用紙のスキャン・提出 (アップロード) 作業まで、すべての工程をリトアニア本部によるオンラインカメラ監視下で行うこと。

(4) 選手たちを、学生証などの写真入りの ID で確認するので、それを常に携帯させること。

(5) 問題が役員に開示されてから理論・実験の両方の試験が終了するまでの 3 日間、選手たちからスマートフォンや PC などすべての通信手段を取り上げること。

この要請を満たすため、試験会場は八王子の大学セミナーハウス、役員たちの作業場所は飯田橋の「ベルサール飯田橋駅前」と遠く離れた場所に設定した。試験会場には、日本代表選手 5 名と試験監督者 2 名のほか、生活面の支援のためにアシスタント 2 名が、7 月 18 日から 22 日朝まで 4 泊 5 日の期間、缶詰め状態となった。試験監督者は、IPhO2023 日本大会の役員である家泰弘先生と早野龍五先生に引き受けていただいた。試験会場では、各選手の机を監視する web カメラ 5 台と、問題冊子を印刷するプリンターと答案用紙をスキャンして PDF にするスキャナーの両方の機能を持つ機器を視野に含める形で部屋全体をモニターする Web カメラ 1 台、合計で 6 台のカメラをリトアニア本部とオンライ

ン接続して試験にあたった。また、八王子宿泊者全員は、COVID-19 の感染状況をチェックするため、毎日、検温およびコロナ抗原検査キットでのチェックを行った。

このような体制を作るため、試験監督者と JPhO 役員は、1 か月ほど前から数度にわたるオンライン会議をもち、試験会場でのインターネット接続環境や電源容量までも含めて入念に事前準備を行って臨んだ。

結団式

7 月 18 日 (日) 午後、選手、試験監督者、アシスタントおよび JPhO 理事長が八王子セミナーハウスに集合し、その一室をメイン会場としてオンラインで「日本代表選手団結団式」が行われた。選手たちのご家族や所属高校、協賛企業、文科省などからも出席をいただき、激励の言葉をいただいた。過去の IPhO 代表選手 OP から歴代の代表選手で引き継がれてきた日の丸の国旗が選手たちに手渡された。午後 4 時、結団式終了後、JPhO 理事長や IPhO-OP はすぐに大学セミナーハウスを去り、以後代表選手たちと接触が一切できない状態となった。以下に紹介する八王子会場での様子は試験監督者からの報告書に基づく。



結団式での日本代表選手たち

実験試験準備

7 月 18 日 (日) 午後 5 時には、リトアニアから役員のみにも実験問題が開示され、全参加国役員によって問題および採点基準が適切かどうか、検討が始まった。飯田橋会場に集合している日本役員は、問題の検討の議論に参加すると同時に翻訳作業も進めた。翻訳作業は翌朝の 6 時まで続いた。これと並行して、八王子会場では、リトア

ニア本部の監視のもと、試験監督者が実験試験に使われる実験キットが入っている段ボール箱を開梱し、内容物の確認と機器の動作確認作業を行った。今回の実験では実験キットに入っているタブレットを使うため、直前になってそのソフトのアップデート作業も試験監督者がリトアニア本部の指示にしたがって行う必要があった。この間、選手たちは、別室で自習したり散歩を楽しんだりした。夜にはリトアニアからのノーベル賞受賞者によるオンライン講演会に参加した。



試験監督者が実験キットを開梱し、タブレットのソフトをアップデートする。

実験試験

7月19日(月)早朝、飯田橋で役員たちが徹夜で翻訳した問題と解答用紙のPDFを試験監督者がリトアニア本部のサイトからダウンロードして印刷し試験開始を待つばかりとなった。

時差の関係で、この日の午後5時から、試験時間5時間の実験試験が始まった。5名の選手のうち3名は予定通り午後10時で終了したが、ほかの2名の選手のタブレットのバッテリーが切れてしまったので途中で充電を行い、結局夜中の0:30に2名の試験が終了した。そのあと、試験監督者は解答用紙をスキャンしたPDFをリトアニア本部サイトにアップロードした。思わぬハプニングはあったが、無事実験試験が終了した。

理論試験から閉会式まで

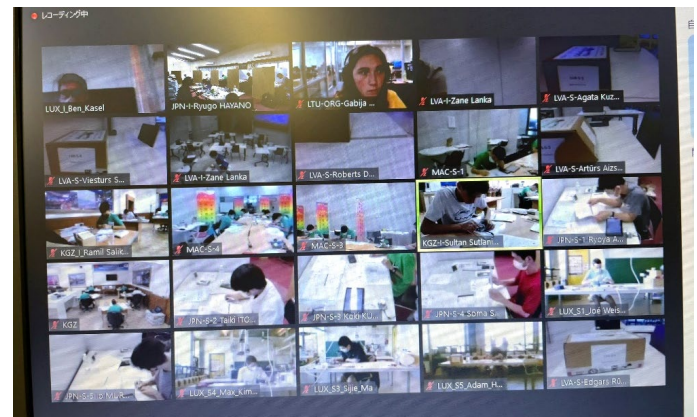
7月20日(火)昼間は、選手たちも試験監督者も昨夜遅くまでかかった実験試験の疲れをとり、自習などで時間過ごした。午後3時ごろからリトアニア本部とオンラインで結んで、“Mindfight”ゲームや“Lithuanian Dance Performance”などのエクスカージョンに参加した。一方、役員たちは、午後5時から理論問題がリトアニア本部から提示され、その検討および翻訳作業をまた徹夜で行った。

7月21日(水)午後5時から10時まで理論試験がトラブルもなく無事行われた。

7月22日(木)朝、代表選手や試験監督たちが解散



試験会場での日本代表選手たち



Zoomで監視されている各国の選手たち

して帰路についた。役員たちは、22日と23日に答案を採点しリトアニア本部での採点結果と比較して、採点調整会議を経て、各選手の最終的な得点が確定された。

7月24日(木)閉会式がオンラインで開催され、各選手・役員は自宅から参加した。日本選手は、金メダル1名、銀メダル3名、銅メダル1名の好成績を収めた。

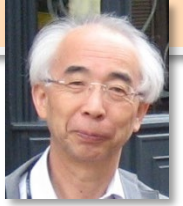
異例の形式となったIPhO2021に無事参加することができ、関係したすべての皆様に感謝申し上げます。惜しむらくは、対面形式でのIPhOで例年繰り広げられる海外の選手たちとの交流を日本代表選手たちにさせてあげられなかったことである。そのような国際的な交流体験は選手たちにとって試験より貴重であったはずだが...



試験の間にはダンスに挑戦

国際物理オリンピック 2021 リトアニア大会で出題された理論問題

(オンライン参加)



国際物理オリンピック派遣委員会理論研修部会 部会長
元岡山大学 東辻浩夫

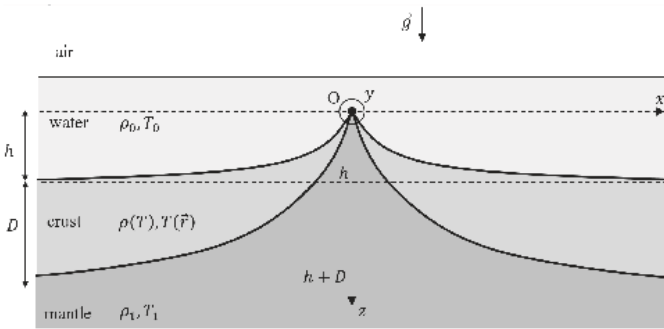
はじめに

連続体力学, 電磁気学, 現代物理の構成である⁽¹⁾。熱学に特化した問題はない。現代物理の Part C でも統計力学には立ち入らず, 事実を与えている。

第1問 惑星の物理

A. 中央海嶺の構造

下のような断面の海嶺がある。マントルと海水は静的平衡にあり, 密度・温度は一定である。地殻(crust)の温度は深さの線形関数であるとして, 熱膨張係数から密度分布, 十分遠方での厚さ, および地殻に働く力を求める。また, 次元解析で, 地殻の温度緩和の時間スケールを求める。



B. 地震波の伝搬

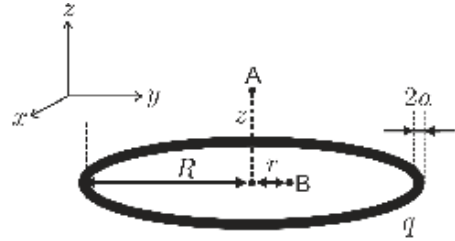
地殻表面の直線状震源から地震波(P波)が放射されたときの振る舞いを求める。地殻は成層構造をもち, 波の(位相)速度は深さの1次関数で表される。問題では波が円弧に沿って進むことが「知られている」としている。このような場合, 波の経路が円弧になることは, おそらく大部分の参加者が知っていたと思われる。

前半で対象となった系はなじみがなかったかも知れないが, 連続体の力学・波動の問題としては標準的である。

第2問 静電レンズ

A. B. C.

右上の図のような円形リング(中空トロイド)を電荷 q で帯電し, 中心をとおり, リング面に垂直な軸に沿った電子線に対する静電レンズとするときの特性を求める。リングの中心付近のポテンシャルを求め, 電子がリング面付近を通過するときだけ帯電するとして, 電子線について光学の(薄い)レンズの公式が成り立つことを導く。



D, E. コンデンサとしてのリング

リングの静電容量 C を求め, 電子が近づいたときに電池(起電力 V_0)から抵抗を通じて充電, 遠ざかったら抵抗を通じて放電として, 電荷を CV_0 としたレンズの公式が成り立つことを示す。

C が求まらなくても, 続く問題では C のまま用いてよいので, 影響はその問いだけであるが, 正しく求めるのは難しい。トロイドの半径と太さの比の対数が出てくることは予想できるかも知れないが, 解き方のヒントを与えてもよかったのではないかな。

第3問 粒子と波

A. 箱の中の量子力学的な粒子

箱型ポテンシャル中のエネルギー準位と遷移に伴う光の波長の基本的問いである。

B. 分子の光学的性質

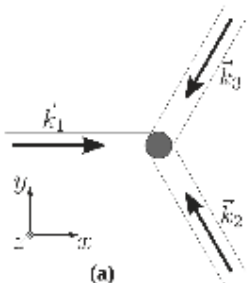
ある色素分子の中の電子が色素の長さ方向の1次元のポテンシャル中を動くとして, 準位の占有状況を問う。パウリの排他原理は説明してある。また, 次元解析により, 励起状態からの自発的光子放出の割合を(遷移)双極子モーメントなどで表し, 数係数は与えて, 具体的な励起状態の寿命を求める(意味は別として遷移双極子モーメントの値は与えてある)。

C. ボース・アインシュタイン凝縮(BEC)

現象の説明の後, ド・ブロイ波長と粒子間平均距離が等しくなると起きるとして, 臨界温度 T_c の表式, ^{87}Rb の T_c を与えて密度 n_c を問う。

D. 3-ビーム光格子 レーザービームの干渉による光格子の構成。次ページの図のように, 同じ波数の大きさ・強

さ・偏光で、進行方向が互いに $2\pi/3$ 違う3つのビームを干渉させたとき、電場の2乗の時間平均がつくるポテンシャルのパターンが3角格子状になっていることを導く。また、隣り合う格子点の原子を相互作用させるために、主量子数(原子半径)が非常に大きなリュードベリ原子の利用を説明し、主量子数を問う。



A, B と C, D は互いに独立している。最近の話題に触れている C, D は参加者には特に興味深かったと思われる。

(1)http://www.jpho.jp/syllabus_w.html



オンラインでの講演会



オンラインでの文化交流



会場となった大学セミナーハウス内



空いている時には自習



試験はパーティションで区切られたブース内で受ける



解散 お疲れさまでした

国際物理オリンピック 2021 リトアニア大会で出題された実験問題

(オンライン参加)



国際物理オリンピック派遣委員会実験研修部会長
東京学芸大学 松本 益明

はじめに

2021 年度リトアニア大会は開催のギリギリまで現地参加とリモート参加の共存する形式でおこなわれる予定であったが、最終的には全てリモートで行われることになった。このため、実験問題については、昨年のヨーロッパ物理オリンピックでおこなわれたようなシミュレーション実験ではなく、実験装置が各国に送付され、それを用いた実験試験を行う形となった。例年の IPhO での実験装置は結構大きな段ボール箱に入ったものであるため、大丈夫かどうか心配したが、今回の装置は、アンドロイドのタブレットを活用することで極めてコンパクトな装置となっていた。実験装置を国際郵便で送る形の試験は今回初めてであったので、試験内容の秘匿性の担保についても初めての試みだったかと思うが、それは試験監督者 (Invigilator) の先生方に委ねられた。実験装置の送付と中身の確認等は全て Invigilator に行なっていただき、実験問題の議論、翻訳、採点をおこなう leader や observer とは切り離す形であった。実験装置は早めに送付されたようだが、税関での手続きに時間がかかったため、到着したのは試験の数日前とぎりぎりであり、大会までに実験装置が届かなかった国もあったと聞いている。また、ヨーロッパのコンセントに接続する AC アダプタ (図 1(2)) であったため、その変換プラグの入手は試験直前になってしまったが、ぎりぎり間に合わせる事ができた。7/18 (日) の 17 時から Leader と observer は、飯田橋で実験問題の議論及び翻訳に参加し、それと独立して、Invigilator が八王子で内容物の確認及びタブレット端末と回路ボードの動作確認をおこなった。実験問題の議論は深夜までかかり、翻訳が終了したのは翌 7/19 (月) 朝の 4 時過ぎであった。問題の印刷は午後 Invigilator が行い、17 時から実験試験という形であったので、例年に比べると時間的には余裕があったように思う。実験試験ではタブレットが用いられたが、途中で 2 名のタブレットの電源が切れるというトラブルが報告された。2 名は試験を中断したため、本来の終了時刻である 22 時に試験を終了することができず、0 時半ようやく終了したとのことで、その後で 30 分かけてスキャンして PDF 化してサーバーにアップされたと聞いている。全体的にかなり Invigilator の先生方に大きな負担をかけることになったように思う。以下で実験問題について述べる。

実験装置について

実験装置は実験問題 1 と 2 で共通であったため、問題以外に装置に関する説明が付いていた。図 1(1)に実験に使用する回路ボードの写真を示す。この回路に(2)の USB

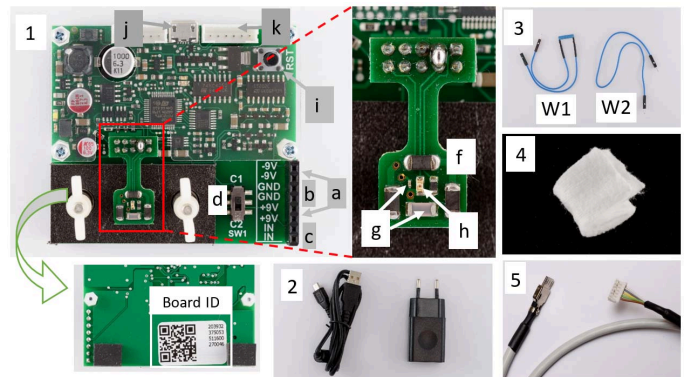


図 1 実験に使用する回路やケーブル等

で電源を供給し、タブレットを(5)のケーブルで接続する。ボードは定電圧電源を備え、実験問題 1 で使用する (g) 2 つのコンデンサ (C1、C2) や (f) ヒーターと温度調節器 (サーミスター)、(h) 実験問題 2 で使用する LED などに取り付けられている。実験結果の収集にはタブレットを用いた。図 2 にタブレット上で走るアプリの画面を示す。1 の測定開始スイッチを ON にすると測定が行われ、測定結果が 19 の表や 28 のグラフに表示される。表及びグラフの表示項目はそれぞれ 16~18 及び 25、27 のボタンを押して選択できる。表示可能な項目はコンデンサ、サーミスター、LED の電圧やその時間微分、LED 及び加熱用電流の値、時間といった変数及びそれらを組み合わせた関数であり、これは 15 のボタンを押して作成可能である。このアプリをうまく使いこなせるかどうか実験の成否を左右したのではないかと思う。



図 2 実験アプリのメインウィンドウ

実験問題1 理想的でないコンデンサ (10点)

パートAは、室温においてC1とC2の静電容量の電圧依存性を測定し、グラフを描く問題であった。

図3に実験問題1の回路図を示す。コンデンサの静電容量 $C(U)$ (ここでは与えられた次式(1)で定義される微分静電容量を指す)は、放電時における電圧の時間変化を $U(t)$ とすると、次の式で求められる。

$$C(U) = dq/dU = I(U) dt/dU = I(U)/(dU/dt) \dots (1)$$

ここで、 $I(U)$ は電圧 U における放電電流であり、最初にW2を利用してIN端子を+9Vの端子に接続してコンデンサを充電し、その後抵抗R1($R1 = 100M\Omega$)を備えたW1を利用してIN端子を-9Vの端子に接続し、放電させると、

$$I(U) = [-9V - U(t)]/R1 \dots (2)$$

と書ける。(1)式と(2)式を組み合わせると、 $U(t) = +7V$ から0Vまでの範囲を測定してグラフを描く。 $U(t) < 0$ の範囲

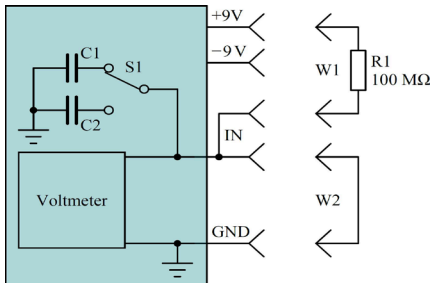


図3 実験問題1の実験回路

を測定する場合は最初に-9Vの端子に接続して充電した後+9Vの端子に接続して放電すればよい。S1のスイッチでコンデンサC1とC2を切り替えてそれぞれの $C(U)$ を測定すると、C1では電圧に依らず一定で、理想的であるのに対し、C2では $U(t) = 0V$ で最大値を取り、 $U(t)$ の絶対値が大きくなるにつれて静電容量が減少するため、理想的ではない事がわかる。得られたグラフから静電容量の電圧に対する相対変化($dC(U)/[C(U)dU]$)が最大となる電圧と6Vでコンデンサに蓄えられた電荷を求める問題がパートA(4点)である。その後、パートB(1点)でサーミスタの校正を行い、パートC(3点)で、コンデンサの温度を40°C、65°C、85°Cに保ってパートAと同様の実験を行い、それぞれの温度での $C_1(U)$ 、 $C_2(U)$ のグラフを描く。これらの結果からデータを抽出して室温から85°Cの温度範囲での静電容量の温度依存性を求める。最後にパートD(2点)で測定誤差の要因を考察するという問題であった。実験問題1の日本代表の最高点及び平均点は、それぞれ7.1点及び4.6点であった。

実験問題2 発行ダイオード(LED) (10点)

一般的に、白熱電球は定電圧で、LEDは定電流で駆動される。LEDの電圧(U_{LED})は設定電流や半導体の温度に依存し、電流-電圧特性の表現は複雑である。実験問題

2は、このような複雑なLEDの特性について、 U_{LED} とLED電流(I_{LED})及びLED温度(T_j)の2次元的な関係

$$U_{LED} = function(I_{LED}, T_j) \dots (3)$$

を調べる問題である。図4に実験のセットアップを示す。

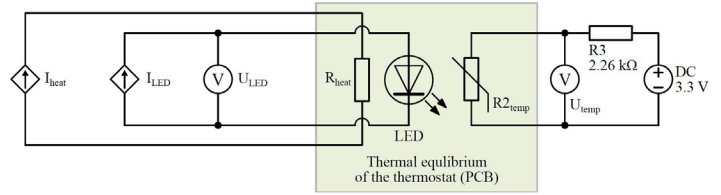


図4 実験問題2の実験回路

図2のアプリで(3)のボタンを押してセッティングを開いて実験2(LAB2)を選び、LED電流の最小値、最大値、測定回数及び電流モード(パルスまたは連続)を設定した後で図2の(1)のスイッチをONにすることで、自動的に電流値を変化(掃引)させながら測定がおこなわれる。パルス電流モードではLEDの発熱が無視できるため、LEDの温度(T_j)はプリント回路ボード(PCB)の温度(T_{PCB})と等しいと考えられるが、連続電流モードでは温度差 $\Delta T = T_j - T_{PCB}$ が生じる。

パートA(5点)ではLEDをパルス電流モードで駆動し、室温、40°C、60°C、80°Cの $T_j (= T_{PCB})$ における電流-電圧特性を測定する。電圧を増すにつれて電流が増大する4本のグラフが描け、そのグラフから一定のLED電流($I_{LED} = 3, 10, 20, 40 \text{ mA}$)におけるLED電圧($U_{LED}(\text{pulsed})$)の温度(T_j)依存性を読み取りグラフを描くと、 U_{LED} が T_j の増大に伴い単調減少する直線が得られる。それぞれの I_{LED} における傾き($\Delta U(I, T)/\Delta T$)が求められる。これを下の式(2)で使用する。

パートB(3.5点)ではヒーターを切って連続電流(CW)モードで I_{LED} を変えてLED電圧($U_{LED}(\text{CW})$)を測定し、LEDの電流-電圧特性のグラフを描く。そのグラフに上と同じ4つの I_{LED} の点で接線を描いてLEDの動的抵抗(dU/dI)を求める。各 I_{LED} における T_j と T_{PCB} の温度差 ΔT は、パルスモード及び連続モードでの電圧 $U(\text{pulsed})$ 及び $U(\text{CW})$ とそれぞれのモードでのPCBの温度 $T_{PCB}(\text{pulsed})$ 及び $T_{PCB}(\text{CW})$ を用いて

$$\Delta T = (U_{LED}(\text{pulsed}) - U_{LED}(\text{CW})) / (\Delta U(I, T) / \Delta T) - (T_{PCB}(\text{CW}) - T_{PCB}(\text{pulsed})) \dots (2)$$

と書ける。電気的なエネルギーは全て熱に変換されると仮定して、(2)式から ΔT を求めて電力($P = I_{LED} \times U_{LED}$)の関数としてグラフを描き、その傾きからLEDの線形熱抵抗($\Delta T/P$)を求めるという流れであった。

最後のパートC(1.5点)は、電圧一定で、PCBの温度が40°C等の場合にLEDを実際に流れる電流を推定する問題であった。

実験問題2の日本代表の最高点及び平均点は、それぞれ6.3点及び4.0点であった。

国際物理オリンピック 2021 リトアニア大会に出場して

栗野 稜也

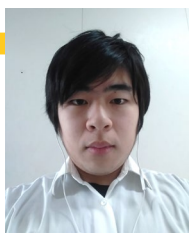
筑波大学附属駒場高等学校（東京都）3年生



5時間×2というハードな実験・理論試験を終えて、銀メダルを獲得できたことを喜ばしく思うと同時に、まだまだ世界の上位層に及ばず、奮い立たされるような思いです。今回のIPhOはオンラインで開催され、海外体験、特に世界中の同世代の物理好きとの交流の機会が非常に限られてしまったのは残念でしたが、視野を広げるという点でこのような国際的な舞台は貴重な経験になったと思います。最後になりましたが、今までサポートして下さったOP・先生方、応援し支えてくれた祖父母・両親には感謝の気持ちでいっぱいです。ありがとうございました。

糸永 泰樹

久留米大学附設高等学校（福岡県）3年生



代表候補に選抜されてから、日々添削に追われ、日本代表のプレッシャーに苦しめられました。しかし、日本代表のプレッシャー下であるからこそ、高校物理を超えた未知の学問を身につけるという大変な知的葛藤を伴う行為に耐え、より高いレベルに到達できたと思います。

1日目の実験試験はタブレットを使った実験で、途中タブレットのトラブルに見舞われ、焦ってしまい、思うように解けませんでした。その翌日は、アクティビティがあり、気分転換して3日目の理論試験に臨めました。理論試験では、過去問演習よりも解けました。代表選抜試験やAPhOでは、理論が全く駄目で実験に頼っていて、理論に対して苦手意識があったので、個人的には手応えを感じました。

今回のIPhOはオンラインでの開催で、海外の選手との交流の機会が少なく非常に残念でしたが、合宿やAPhO、IPhOにおいて物理について日本の選手と盛り上がり、議論できたことはとても良い経験になりました。

この1年間、IPhOに向けての学習を通して、物理の理解・関心を深めることができました。今後も物理の学習に励みたいと思っています。

最後になりましたが、今まで私を応援し支えてく

ださったすべての方々に感謝を申し上げたいと思います。本当にありがとうございました。

楠元 康生

久留米大学附設高等学校（福岡県）3年生



国際物理オリンピックという大舞台で金メダルを獲るというのは、日本代表に選ばれてからの僕の一番の目標であり、夢でした。それを成し遂げることが出来て非常に嬉しいです。リトアニアに行くことが出来なかったのは残念でしたが、この国際物理オリンピックを経験して得たことは数多くあります。日本代表というプレッシャーを乗り越え金メダルを獲り、自信がついたこと。エクスカッションや、物理が得意な世界中の人達と競い合い交流し合うことを通して自分の視野が広がったこと。そして、世界には自分よりも優秀な人達がいて、現状に満足せず精進し続けなければならないと再確認出来たこと。僕の競技物理人生はこれで終わりですが、今後もこれまでに学んだことを活かしながら、物理に限らず自分の興味関心を持てるものを学び、新しいものを生み出すことに挑戦していきたいです。最後になりましたが、ここに至るまで僕を支えて下さった物理オリンピック日本委員会の先生方やOP委員の方々、そして家族や友人に改めて感謝申し上げます。

佐藤 颯真

灘高等学校（兵庫県）3年生



今回のIPhOはオンライン開催ということもあり、他国の人たちとの交流はなかなか出来ず、少し残念でした。しかし用意されていたアクティビティはどれも面白く、日本代表の人たちと楽しめたのは良い思い出です。試験の出来としては、理論・実験共に unnecessaryな焦りが出てしまい、思い通りの結果を残すことは出来ませんでした。APhOに続いて自分の注意力の無さや理解の甘さを痛感しました。今後はこれらの経験を生かせるように頑張っていきたいと思っています。これまで支えて下さった方々には感謝しています。本当にありがとうございました。

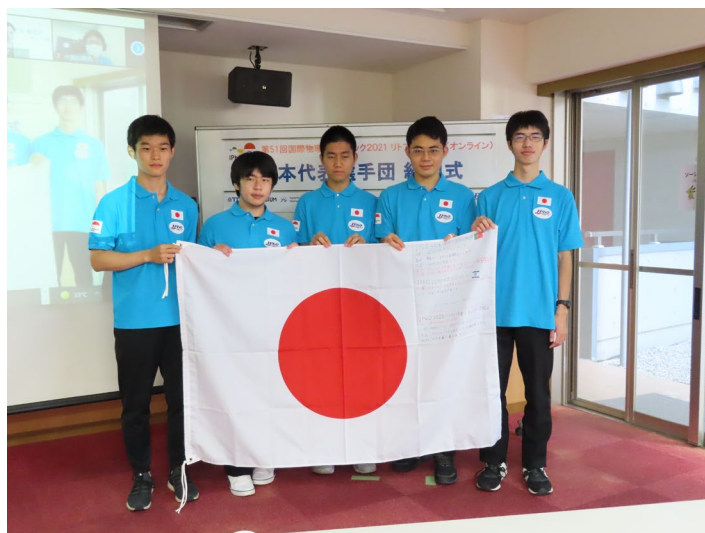
村山 一央

東京都立武蔵高等学校
(東京都) 3年生



1年間目標にしてきた IPhO という大舞台で銀メダルを獲得することができ、とても嬉しく思います。実験試験ではタブレットのバッテリーが切れるというハプニングもありましたが、APhOでの実践経験を活かし落ち着いて対応することができました。今年にはコロナの影響で現地に行くことはできませんでしたが、画面越しにでも世界中の物理好きの高校生と繋がりを持てたことは、かけがえのない経験になりました。

最後に、今まで支えてくださった先生方や事務局の方々、家族、友達に心から感謝の意を表したいと思います。この経験を糧に、これからも努力していきたいと思っています。



先輩の日本代表選手から引き継いだ国旗にメッセージを書き入れ、後輩の日本代表選手に繋げていく



IPhO2021 オンライン参加 日本代表選手の成績

氏名	学校名	
粟野 稜也	筑波大学附属駒場高等学校	銀メダル
系永 泰樹	久留米大学附設高等学校	銀メダル
楠元 康生	久留米大学附設高等学校	金メダル
佐藤 颯真	灘高等学校	銅メダル
村山 一央	東京都立武蔵高等学校	銀メダル

物理チャレンジ 2021 第 1 チャレンジの実施と講評

第 1 チャレンジ部会長
茨城工業高等専門学校 佐藤 誠



はじめに

2020 年度は COVID-19 のため、急遽 3 月下旬に第 1 チャレンジをオンライン実施することを決め、急仕立てで、実験レポートの受付・採点、理論問題コンテストのシステムを構築しました。初めてのことであり、リモート実施上の様々な課題が明らかとなりました。特に、コンテストの公平性への疑念を払拭する手立てが十分でなかったことは大きな課題でした。コンテストに参加するにあたり自分は公明正大に問題に臨んだが、他の方はどうなのだろうという不安です。事後アンケートでは、第 2 チャレンジで導入したような Zoom 監視の導入を望む声が多く寄せられました。物理チャレンジ 2021 では、昨年末から、前年度の経験を活かして、第 1 チャレンジのオンライン実施システムを構築し直す作業を行い、実験レポートの提出では、全面的にオンラインによるレポートの提出に変更し、受付容量を昨年の 3MB から 10MB に増やしました。また、昨年度混乱を招いた表紙情報の入力を、Web サイトで行うよう変更しました。参加した皆さんも ICT 操作に慣れてきたことも幸いして、実験レポートの受付は円滑に実施できました。理論問題コンテストは、2021 年度からリモート実施に移行することにしました。会場実施を望む声もありますが、コンテスト実施が自然災害の発生しやすい時期と重なっていることもあり、また、交通の便など居住地の事情による影響を受けにくいリモート実施に切り替える決定をしました。物理チャレンジ 2020 では問題用紙を PDF で提供し、Web アンケートと組み合わせた変則的なコンテスト実施でしたが、物理チャレンジ 2021 からは、新たに Computer Base Test (CBT) を導入し、モニター上で回答しやすいシステムに改善しました。参加者毎に選択肢の順番が異なって表示されるシステムです。7/11 の理論問題コンテストは円滑に実施されました。

以下に実験課題レポートの講評と理論問題コンテストの講評を記します。

実験課題

今年の課題は、「加える力と物体の運動の関係を調べてみよう」でした。補足説明として、「物体に力を加えると運動のようすが変わります。力とうんどうの関係

を調べるための実験を考えて実施しましょう。力の大きさ速度の変化の関係および質量と速度の変化の関係を見つけてください。まさつの影響や物体の大きさや形状なども考慮して考察をしましょう。独創的な実験を期待しています」を加えました。

ニュートンの運動の法則は高校物理でごく初期に学ぶものです。運動の第二法則すなわち $ma = F$ は、法則であって、他の基本定理から導出できる関係式ではありません。したがって実験的に確かめる必要があります。学校教育では必ず行う定番の実験になります。しかし、一定の力を加え続けて加速度を測定することは意外に難しく、授業で行う生徒実験で加速度が質量の逆数に比例することを確認するのはなかなか困難です。今年の実験課題は、ぜひ、この力学の基本法則を自分の工夫で精度よく確かめてもらいたいという意図で出題しました。学校での生徒実験へフィードバックできる優れた実験のアイデアが提案されることを期待しての出題でもありました。

提出されたレポート総数は 1006 編でした。これを、30 数名の先生が手分けして評価しました。2 名の採点者の評価を合わせて DD (1 点) から SS (9 点) の 9 段階で評価しています。

実験課題レポートの成績分布は図 1 のグラフの通りです。平均点は、2.60 点でした。今年の特徴は、CD 以下の低評価のレポートの割合が例年より高かったことです。これには今年の実験課題提示に関わる特有の理由があります。課題の指示を力学全般に拡大解釈して、例えば、摩擦係数を計測したレポート、ゴム紐で物体を飛ばす距離とゴム紐を引く力の関係を計測したレポートなど、的外れな実験を行った事例が少なくない割合を占めました。これらのレポートでも、独自設定の目的に沿って物理的に正しく計測、考察が行われておればそれなりの評価はつきます。しかし、A 以上の高評価は難しくなります。やはり、課題の指示に沿った実験を企画・実施いただきたい。的外れなレポートは物理的にも的外れな内容であることが多い印象でした。課題をしっかりと読み込んでいただき、自分に都合の良い解釈をしないように気を付けましょう。出題する側としても、出題意図とは異なった解釈を許す曖昧な表現を避けるよう今後の教訓にしたいと思います。

低い評価のレポートが多かったもう一つの理由は、重力を用いて測定する際にその物体(重り)の慣性質量を考慮しないミスが多く見られたことが挙げられます。例えば、自由落下の場合、物体の質量と物体に加わる力(重力)は比例の関係にあります。物体に依らず加速度が等しいことをもって運動の第二法則が検証できたことは論理的に無理です。これに類する誤謬を含む実験を行っている例が多くありました。重力を利用できないという意味ではありません。アトウッドの機械や重りの重力で加速させる実験であっても重りの質量を正しく考慮すれば、目的の検証実験は可能です。おもりの慣性質量を無視して解析すると、加速度と質量の逆数のグラフが直線からずれるので気付く必要があります。

生徒実験の参考になる実験の工夫をいくつか紹介します。

- 1) 重りと台車の総質量を一定にして、重りの質量を変化させながら加速度を計測する。
- 2) 力学台車に取り付けた帆にブローで風を送ることによって再現性よく一定の力を加える。
- 3) 斜面の角度を操作して、斜面に沿った重力の成分を調整する。

加速度運動する物体に一定の力を加え続ける工夫が、この実験課題のポイントです。ばねやゴム紐の長さを固定して引くということが良く行われますが、十分な精度は期待できません。重力を利用することは一つの解決方法ですが、上記のような注意が必要です。

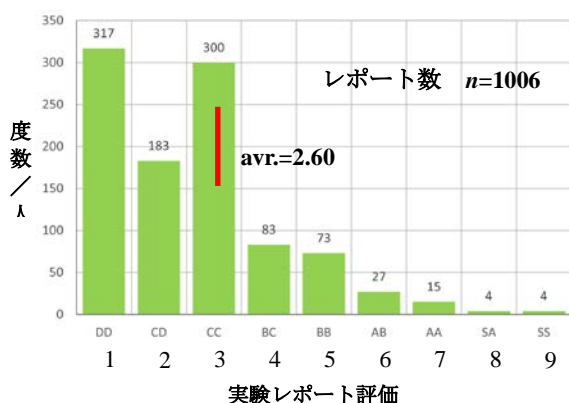


図1 実験レポート成績度数分布

優れたレポート7編を表彰するとともに、HPへ講評を付けて公開します。参考にいただければと思います。

理論問題コンテスト

比較的平易な問題14問で構成された総合基礎、続く力学、熱力学、波動、電磁気学、現代物理は各数問か

ら構成され、計28問を出題しました。CBTによる初めての実施に合わせて、モニター上で問題と選択肢が視認しやすいことを考慮しました。また、電卓の使用を想定した出題になっています。第1部会委員の先生方が半年をかけて考案、選別し、推敲に推敲を重ねて練り上げた楽しめる問題ばかりです。コンテストに参加された方は、問題に取り組む中で、いろんな気付きが引き出されたものと思います。これは作問する立場でも同じです。参加者には解説冊子を配布しました。より深く理解する助けになれば幸いです。興味を持ったコンテストの問題からさらに発展させて考察を進めていただくと嬉しく思います。

正答率が低かった2問を紹介します。ひとつは図2に示す問11の箔検電器の問題です。正答率21.9%で、選択肢の選択が均等にばらける結果となっています。電荷の移動について感覚的に分かりにくいのかもかもしれませんが、クーロンの法則で正解を導けます。

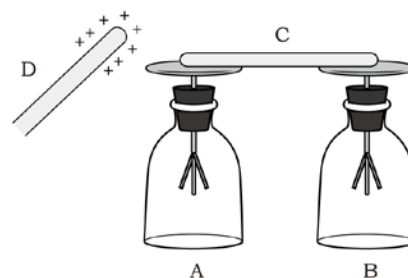


図2 問11の図

もうひとつは、正答率が12.8%と最も低かった図3に示す問17の斜面を転がる球が斜面から受ける摩擦の向きに関する問題です。実はこの問題は、2016年に出題した問題の再掲です。そのときも正答率が低く気になっていた問題なので再度出題しました。摩擦は運動方向と逆向きと思い込んでいる方が多いようです。滑っているときは確かにそうですが、滑ることなく転がっている場合は違います。角加速度と力のモーメントの関係から摩擦の向きは分かります。

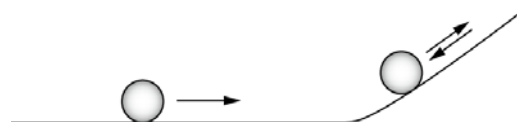


図3 問17の図

問10の採点ミスがありました。③が正解のところを②を正解として採点しました。この問題の正答率は66.7%と最も高く、そのためか、採点し直した結果、

本来第2チャレンジへ進出者できた方が選抜から漏れる事象は発生しなかったことを確認しました。CBT 作問に伴うミスと分析しています。今後このようなことが無いよう再発防止に努めます。

理論問題コンテストへの参加者数は、947名でした。平均点は、39.2点でした。成績分布を図4に示します。

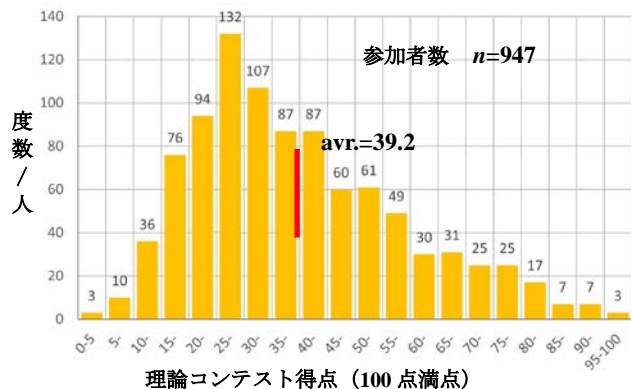


図4 理論問題コンテスト成績度数分布

第2チャレンジ進出者選抜

昨年は申込者数が909名と大きく落ち込みましたが、今年は幾分回復して1153名でした。昨年は、女子の参加割合が18%と例年に比べ高かったのですが、実験課題が熱分野だったためと分析していました。過去の統計では、力学分野だと女子の参加が減る傾向があるのですが、今年も19%と高い傾向が続き、これはリモート実施の影響のひとつの表れだろうと思われます。また、高校1年生以下の参加割合も29%に回復しました。参加費納付、実験課題レポート提出、理論問題コンテスト参加の3つを満たす方が、878名でした。図5に示す

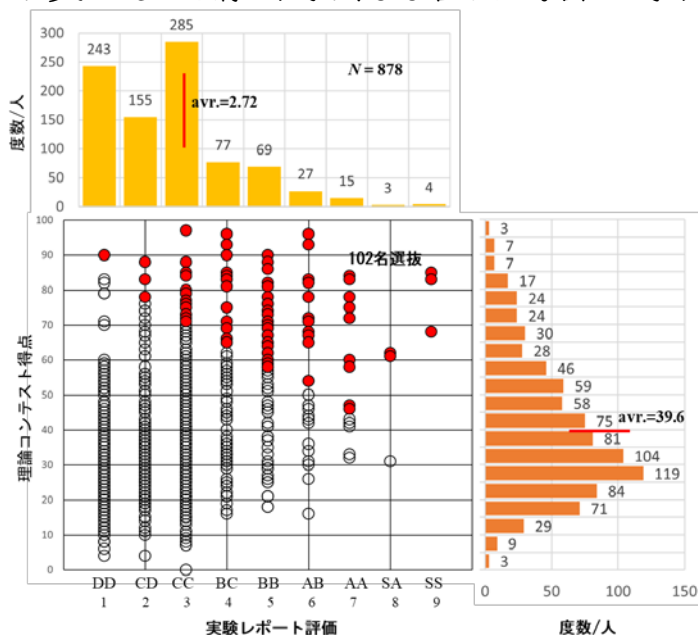


図5 第2チャレンジ選抜基準

グラフと度数分布は、有資格者878名に対するもので、図1や図4の参加者全体の度数分布とは少し異なります。平均値もやや高い値です。実験課題レポートの評価と理論問題コンテストの成績を総合して、成績上位102名を選抜しました。それに加え、2023年の国内開催IPhO2023に向けて人材育成目的で高校1年生以下の成績優秀者を14名選抜し、計116名が第2チャレンジに進出しました。図5右下のグラフは、各参加者の成績を横軸実験レポート評価、縦軸理論問題コンテスト得点でプロットしたものです。第2チャレンジ進出に選抜された102名を赤色で示しています。高校1年生以下の選抜者はグラフには示していませんが、おおよそ全体の上位170位以内の方から選抜しました。

第1チャレンジと第2チャレンジでは理論も実験もコンテストの様相がかなり異なります。理論では前者では、短時間に多くの問題を解く多肢選択式ですが、後者では時間をかけてじっくり取り組む記述式です。逆に実験では、前者では自由度が高く、後者では制限時間内に与えられたツールで取り組まねばなりません。物理チャレンジは、国際物理オリンピック選手の選抜を使命としていますので、第2チャレンジのコンテスト形式に向けた人材を選抜できることを期待してコンテスト内容を設計しています。第1チャレンジの総合成績と第2チャレンジの総合成績の間には図6に示すようにある程度相関(相関係数0.59)を認めることができます。これより、第1チャレンジの理論と実験が適切にこの選抜目的を満たしていたと判断しています。

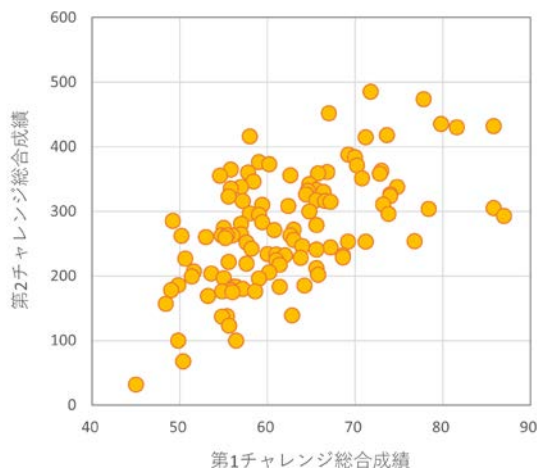


図6 第1と第2チャレンジの総合成績

次年度へ向けて

ようやくオンラインによる第1チャレンジの運用形態が整いました。これまで地理的な制約で参加を躊躇していた地域の方も気軽に参加できるようになったことは大きなメリットです。女子生徒の参加が増えたの

は予想外でしたが、低学年の生徒の参加割合が回復したのも、会場へ足を運ぶ必要が無いことが参加の心理的閾値を下げた効果ではないかと思えます。次年度も引き続き参加者が増えることを期待しています。また、IPhO2023 に向け国内の物理熱が高まることを期待したいと思います。

しかし、第1チャレンジの運営に課題が無い訳ではありません。採点ミスのような重大なエラーが発生する危うさをまだ内包していることも事実です。また、オンライン実施では完全には払拭が難しい公平性に対する疑念の解消は通信技術や AI 技術の進展に注意を払いながら新たな技術を導入することで継続的に改善を図ります。今年度の CBT による運用の問題点を分析し、参加生徒の皆さんが安心して楽しんでいただける第1チャレンジに改善していく所存です。

また、実験レポートの評価についても、リモート採点システムの導入に伴い評価基準の見直しが迫られています。この機会に、実験レポート提出者へより適切に助言をフィードバックする仕組みを構築すべく検討を開始しました。

システムの改善に伴い、第1チャレンジのスケジュールを幾分変更することを検討しています。1月には2022年の実験課題を公開します。それに合わせてスケジュールも公開します。ぜひ、多くの方の参加をお待ちしています。一緒に物理を楽しみましょう。

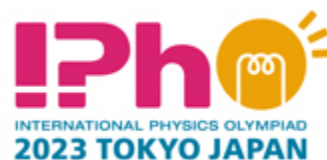
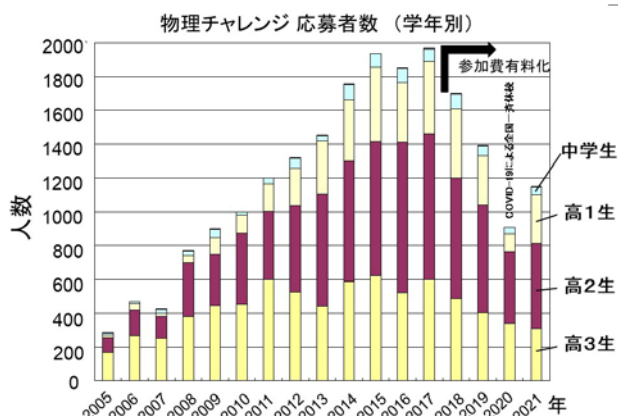
Enjoy Physicing!



第1チャレンジの実験課題に対して、きわめて優れたレポートを作成したチャレンジャーには、表彰の副賞として株式会社ミットヨよりノギスが贈られました。



第1チャレンジのチャレンジャー全員に、TDK 株式会社より、TDK ノートのご提供をいただきました。



国際物理オリンピック 2023 は日本で開催予定です(<https://ipho2023.jp/>)。出場する日本代表選手は来年度(2022年度)の物理チャレンジ参加者のうち、高校2年生以下で極めて優秀な成績を収めたチャレンジャーの中から選ばれます。

物理チャレンジでは国際的な物理のオリンピックに出場する選手の選抜を行っていますが、高校3年生や高等教育機関に進学前の既卒生の参加も大歓迎しています。物理チャレンジを通して、皆で物理を一緒に楽しみましょう！