

物理チャレンジ2024 第2チャレンジ全体報告



物理チャレンジ実行委員会 実行委員長
佐藤 誠

はじめに

日本を代表する研究施設のひとつであるSPring-8を会場に第2チャレンジを開催できたことは、節目の20回目である物理チャレンジ2024に相応しい出来事でした。コロナ禍の制約をほぼ解消した形で開催できたことも含め、この数年とは一味違った物理チャレンジになったのではないかと思います。

第1チャレンジ

第1チャレンジの詳細は第1チャレンジ部会の報告をご覧ください。参加募集期間4月1日から5月30日までの申し込み数は1061名（前年1125名）、5月31日メ切の実験レポート受付数は901通（同988通）、7月7日の理論問題コンテスト参加者数は905名（同950名）でした。最終的に第1チャレンジの有効参加者数は834名（同901名）でした。

この数年参加者数の漸減が続いています。申込者減にはいくつもの要因が絡んでいると思われるのですが、気軽に物理を楽しんでいただくという物理チャレンジの原点に立ち戻り、広報の在り方も見直し、参加者を倍増させるべく検討を進めているところです。

第2チャレンジ

成績優秀者上位102名を第2チャレンジ進出者として選抜しました。6名の辞退を受け、最終的に96名で実施しました。8月21日12時に兵庫県相生駅前に集合、チャーターバス3台で会場のSPring-8放射光利用普及棟講堂に移動しました。スケジュールはほぼ例年通りで、初日13時からのガイダンスに続いて実験問題コンテスト、2日目午前は理論問題コンテスト、午後は遅い昼食の後、交流会、問題解説会と続きました。実験・理論コンテストは段ボール製パーティションで囲ったブース内で、5時間ぶっ続けで課題に取り組みます。国際大会に倣ったスタイルです。



実験問題コンテスト風景

SPring-8とX線自由電子レーザー施設SACLAの見学を行いました。通常の見学コースでは公開されないバックヤードまでも覗かせてもらい、参加生徒は揃って満足気でした。石川センター長の講演や理研研究者を囲んでの座談会なども組み込まれ充実したアクティビティとなりました。ただ、暑い中を長時間歩き回ったため体力をかなり消耗した様子ではありました。



サイエンスツアー（SACLA電子線形加速器）

午後の後半は普及棟に戻り、Physics Liveです。兵庫県立大、西播磨天文台、兵庫教育大、SPring-8、JPhOの先生方による実験、6月のAPhOマレーシア大会、7月のEuPhOジョージア大会の実験課題の紹介、過去の第2チャレンジ実験課題の紹介、協賛企業の展示など、16件のブース出展があり、物理を題材とした説明者との交流の場として今年も大変好評でした。

一方この間、アカデミックスタッフは別室で答案採点に取り組みます。時間が限られた中で慎重に採点が行われ、3日目の夜の会議で成績を確認し、表彰者を確定しました。賞状の印刷、副賞の確認、スライドの製作など翌日の表彰式の準備は夜中過ぎまでかかりました。

4日目最終日8月23日は閉会式・表彰式です。SACLA実験棟の大会議室に集合しました。特別賞のプレゼンターである協賛企業の役員の方、SPring-8関係者の方に臨席いただき、祝辞をいただきました。特別賞、金賞、銀賞、銅賞の受賞者は別表の通りです。今年から第2チャレンジ初参加で最優秀の方を称える新人賞を設けました。優良賞受賞者はJPhOのホームページをご覧ください。また、高校2年生以下の成績優秀者から12名の日本代表候補が選出されました。以上のように4日間の第2チャレンジを終えました。途中体調不良を訴える事案が2件ありましたが、新型コロナウイルスの抗原検査は陰性で、体調もすぐに回復しました。

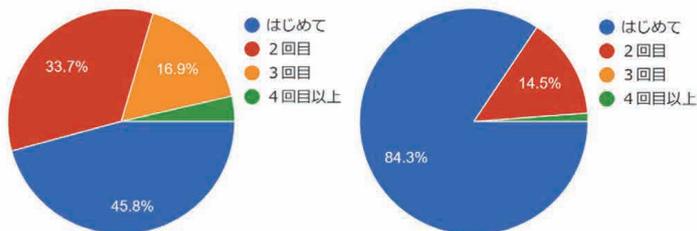
宿泊は交流棟と呼ばれるSPring-8利用者用宿泊施設を1棟占有利用させていただき、大変快適でした。各フロアには談話コーナーがあり、気兼ねなく深夜まで議論を楽しめる環境でした。参加生徒間の交流をコロナ前と同じレベルで行える状況に戻ったことを歓迎したいと思います。

3日目は朝からサイエンスツアーで大型放射光施設

参加者アンケート

第2チャレンジ参加者に行ったアンケートの結果をいくつか報告します。

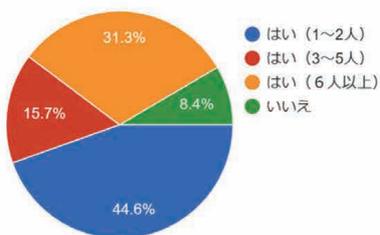
物理チャレンジへの参加回数は、複数回が半数を超えています。第2チャレンジへの参加は8割以上が初めての方であることから、第2チャレンジへの進出はかなりハードルが高いことが窺えます。参加者の半数はJPhO出版物を利用して勉強したと回答していますので、第2チャレンジへの進出には十分な準備が必要であることが窺われます。



何回目のチャレンジですか？ 何回目の第2チャレンジですか？

サイエンスツアー場所が3年続けてSPring-8なので目新しさが無いと参加者から指摘を受けることを心配していたのですが、それは杞憂でした。アンケートでは大変好評で、SPring-8スタッフの好意で一般的な見学コースからさらに踏み込んだ見学を企画いただいたことに加え、研究者との懇談を実施したことが功奏したようです。

4日間の合宿で物理を通じて多くの友人を作っていただくことも物理チャレンジの重要なミッションです。初めて知り合い、今後も連絡を取り合おうと思う人はできたかとの問いに、9割近くがはいと答えています。半数近くが3人以上と回答しており、主催者として嬉しく思います。



今回の第2チャレンジで初めて知り合い、今後も連絡を取り合おうと思う人はできましたか？

おわりに

今回の物理チャレンジの開催に当たっては、現地実行部会の先生方、SPring-8センター長をはじめセンター長室のスタッフの皆様にはどう感謝を伝えれば良いのか迷うほどの献身的で全面的なご協力をいただきました。兵庫県立大付属高校放送部には閉会式司会を務めていただきました。お世話になった皆様、物理チャレンジに参加いただいた全国の生徒の皆様にご心より厚くお礼申し上げます。

成績優秀者

☆物理チャレンジ大賞(総合最優秀)

角谷 賢斗 開成高等学校

☆エリジオン賞(理論問題コンテスト最優秀)

河野 次郎 ラ・サール高等学校

☆SPring-8賞(実験問題コンテスト最優秀)

角谷 賢斗 開成高等学校

☆理研計器賞(高校2以下で最優秀)

角谷 賢斗 開成高等学校

☆新人賞(第2チャレンジ初参加最優秀)

坂本 翔 久留米大学附設高等学校

☆東京エレクトロン賞(第1チャレンジ最優秀)

遠山 龍之介 洛南高等学校

☆東京理科大学賞(第1チャレンジ女子最優秀)

松本 絃 東京都立桜修館中等教育学校

☆金賞

角谷 賢斗 開成高等学校

河野 次郎 ラ・サール高等学校

遠山 龍之介 洛南高等学校

坂本 翔 久留米大学附設高等学校

佐藤 耀大 横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校

藤原 秀真 聖光学院高等学校

☆銀賞

濱田 泰成 灘高等学校

坂本 昇大 福岡県立小倉高等学校

岩井 翔太 福島県立安積高等学校

太田 紀久 灘高等学校

田邊 優治 芝高等学校

井戸沼 悠成 筑波大学附属駒場高等学校

伊丹 翔治 灘高等学校

稗田 和希 栄光学園高等学校

佐藤 安佑夏 麻布高等学校

大沼 拓実 栄光学園高等学校

竹之内 龍 灘高等学校

長田 知樹 灘高等学校

☆銅賞

伊藤 恵仁 東京都立小石川中等教育学校

佐藤 禎人 開成高等学校

村瀬 公規 東海高等学校

澤西 良奈 四天王寺高等学校

白井 貴一 東大寺学園高等学校

溝川 貴巴 本郷高等学校

藤井 悠貴 栄光学園高等学校

加藤 暢啓 京都府立洛北高等学校

池田 裕貴 横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校

寺下 広瀬 福島県立安積高等学校

堀 航士朗 武蔵高等学校

藤森 陽生 京都府立洛北高等学校

中 洋貴 灘高等学校

物理チャレンジ2024 第2チャレンジ 実験問題講評



実験問題部会 部長
電気通信大学/元東京大学 末元 徹

今年の実験問題は、開催地がSPring-8であることに因み、光を題材にした3つの課題で構成した。課題1では回折による構造解析、課題2では偏光、課題3では光弾性効果を取り上げた。

課題1 光の回折と構造解析への応用

この課題では物質の結晶構造を調べるX線回折の原理を可視のレーザー光と平面構造を記録したスライドを用いて学ぶ。レーザー光を、平行線を描画したスライドを透過させるとスクリーン上に輝点列ができる。次に2枚のスライドを重ねて固定したまま回転させることで、2組の格子の相対的な位置関係を調節し、消滅則を再現する。輝点が何個かおきに消滅するという現象が観察される。最後にDNAを模したスライドパターンによる回折像から2組の格子の成す角度と格子の並び方を推定させた。構造解析で重要な「消滅則」を取り扱ったところが目新しい。(70点)

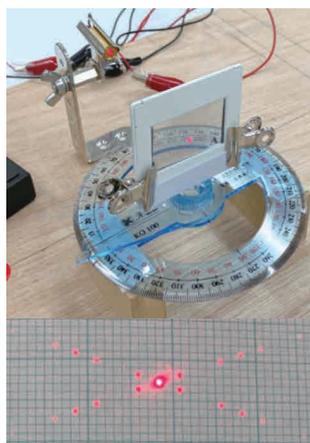


図1 レーザーとスライド(上)とDNAを模したパターンによる回折像(下)。

課題2 偏光と偏光板の働き

LEDからの光を何枚かの偏光板を透過させ、その強度をフォトダイオードと電圧計で測定する。導入として、2枚の偏光板を置き、その相対的な角度を変化させていき、透過光強度が180度の周期で変わることを確かめさせる。次に2枚の偏光板の透過軸を直交させて光が通らない状態にしておいて、その間にもう1枚の回転できる偏光板を入れ、透過光強度を角度の関数として測定させる。45°のとき1/4程度の光が通るので、その理由を考えさせる。さらに偏光板を追加して透過軸が30度ずつ変わるように並べると、透過光がどう変化するかを問う。偏光板の数を増やすと吸収損失が増えるのであるが、それを凌駕して透過光強度が増加することに気づいてもらう。

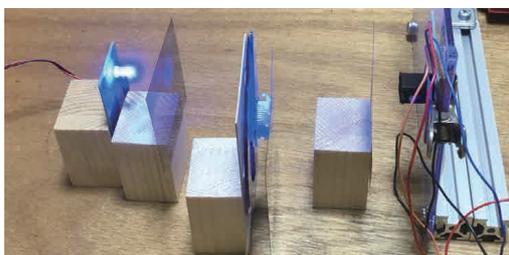


図2 3枚の偏光板を透過させた光の強度測定。

すべて、入射光の透過軸方向成分だけが偏光板を透過することから理解できる。(50点)

課題3 光弾性効果による歪みの可視化

この課題は、偏光の応用例である。課題2の実験器具に透明アクリル棒をセットした「曲げ試験器」を追加する。これを透過軸が直交する2枚の偏光板の間に置くと、当然光は透過しない。しかし、アクリル棒を曲げていくと、歪みのために屈折率の異方性が生じ、偏光状態が変化するので、光を通す部分が縞状に現れる。最初の実験では、ある一点で観測している透過光強度が曲がりとともにどう変化するかを測定し、変化の周期から歪と屈折率変化の関係を求めさせる。次の実験では縞の形状(押しネジの位置で発散する双曲線の集まり)を解析して、棒内部での歪がx、y座標のどのような関数になっているかを答えさせる。最後は支点を平板に置き換えて縞がどのようになるかという問いである。(80点)

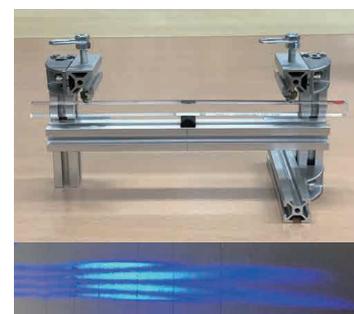


図3 曲げ試験器(上)と曲げたアクリル棒の歪みによる縞模様(下)。

成績

一昨年は実験課題総合得点が36%と低く、昨年は79%と高かったので、今年は50%を目指した。図4の結果を見ると50%付近にピークがあり、高得点側にある程度裾を引いているので上位者の選抜の機能は果たされている。その点では成功したと言えるが、課題別の得点分布を見ると、課題3では半数近くが10%に満たない点数であり、達成感が味わえなかった生徒が多かったものと推察される。実験は楽しかったという肯定的な感想が多かった一方で、時間が不足だった、全問同じ分野からの出題は避けてほしいという声もかなりあった。

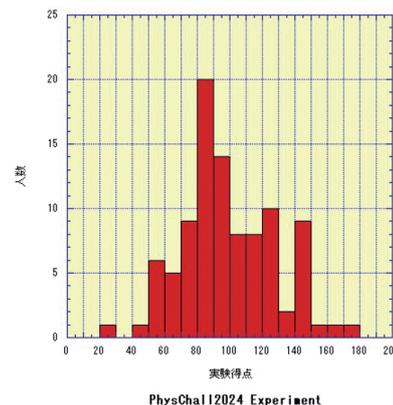


図4 実験課題総合得点の分布。

物理チャレンジ2024 第2チャレンジ 理論問題講評



理論問題部会 部長
岡部 豊

はじめに

2024年の第2チャレンジ理論試験はSPRING-8で8月21日に行った。第1チャレンジで選考されたチャレンジャーの中で当日参加した者は96名。

昨年11月より理論問題部会委員で議論を重ね、広い意味の力学、電磁気学、光学、現代物理学の分野から全4問の大問題を出題した。出題範囲は基本的に高校物理であるが、それを超える場合もある。物理的なイメージを持って解答できるように、やさしい導入問題から始めるように工夫した。かなり高度な内容を含んだ問題もある。

各問の出題

第1問は、広い意味の力学として、「連成振り子とニュートリノ振動」を扱った。二つの振り子を互いの振動を伝える媒体(バネなど)でつなぐ連成振り子の問題では、固有振動という考え方が重要である。素粒子の一つであるニュートリノが世代の異なるニュートリノに変化しているニュートリノ振動は、梶田氏のノーベル物理学賞受賞で高校生も知っているが、数学的構造は連成振り子の問題と類似性がある。

第2問は、「素粒子を加速する」という問題で、粒子を加速する機械、加速器の原理を歴史的発展と共に学ぶ、電磁気学の応用問題である。1911年のラザフォードの衝突実験を出発点に、100年後のCERNのLHC実験で理論的に予言されていたヒッグス粒子の発見につながる加速器の原理の発展を学ぶ。

第3問は、「光子の偏光と干渉」という問題で、光が波動性と粒子性を併せ持つことを理解する。電磁波としての光を偏光板の働きに注目して調べる。次に、光子としての光の振る舞いを、ビームスプリッター、マッハ・ツェンダー干渉計を通じて学ぶ。光子の非決定論性と非局所性が、量子もつれ状態を用いた実験により明らかにされたことを最後に紹介する。

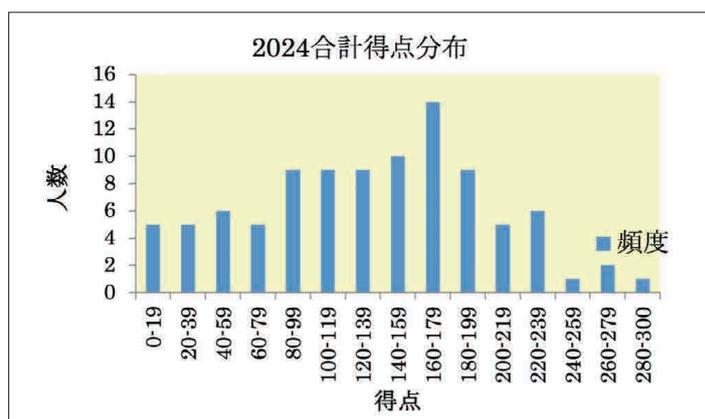
第4問は、「原始惑星系」という表題で、恒星の周りに円盤状にガスが集まった原子惑星系において、どのように惑星ができるかを考える問題である。太陽系形成論の標準的モデル(京都モデル)に従い、より現代的な考え方を加味しながら、原始惑星系円盤内での微惑星の形成過程を考察する。

全体の講評

理論各問の採点結果を表に示すが、全体の平均点は134.9点(約45%)で、2023年度の約51%より低かった。第1問の「連成振り子とニュートリノ振動」は、計算量が多く、平均得点が低かった。第2問の「素粒子を加速する」は電磁気学の応用問題であるが、後半の問も比較的出来がよく、高得点となった。第3問の「光子の偏光と干渉」は、実験でも偏光を取り上げるので、表記の整合性など調整した。後半の量子として光子の問題、行列、複素数を用いるが、ついていった生徒も多かった。第4問の「原始惑星系」は、惑星系円盤の基礎的な熱学の前半の小問の得点率が高かった。

	第1問	第2問	第3問	第4問	合計
配点	75	75	75	75	300
平均点	21.7	40.6	36.6	36.0	134.9
得点率	29.0%	54.1%	48.8%	48.0%	45.0%

得点分布を図2に示すが、ほぼ釣鐘型で、最高点は286点であった。



「共通する数学的表現」として、大問にまたがって使用する、1.行列と列ベクトルの積、2.オイラーの公式、3.1次の近似式の3項目について、高校の数学の教科書の記述に注意して、最初のページにまとめた。大問ごとの扱いを統一する狙いである。アンケートによると、高2以下には数学が難しいという指摘がある一方、行列の扱い等、出題者が想定していたよりエレガントな解答が多数あったり、差がつく所となった。

採点は、現地とオンラインのハイブリッド形式で行なうことは定着した。