

物理チャレンジ 2022 第1チャレンジ

第1チャレンジ部長
近藤 一史



まずは第1チャレンジ

「物理チャレンジ 2022」が始まりました。このニュースの読者は、すでに知っていると思いますが、物理チャレンジは、野球の甲子園大会では地方大会にあたる「第1チャレンジ」と甲子園での全国大会にあたる「第2チャレンジ」があります。第1チャレンジの成績優秀者が第2チャレンジに進みます。「物理チャレンジ 2022」参加するには、まず第1チャレンジにチャレンジしてください。

実験課題レポート

第1チャレンジでは、実験課題レポートと理論問題コンテストが行われます。実験課題レポートの課題は、すでに物理チャレンジのホームページで公開されていて、

「お湯の冷め方を調べ、そのしくみを考えてみよう」

です。物理チャレンジのホームページを見ていた人は気づくかもしれませんが、この課題は2009年にも出題されています。ただし、2009年ではまったく条件をつけず、自由に実験を行ってもらいました。自由ということで、いろいろな実験を行ってもらい、採点の際に大変楽しませてもらいました。しかし、自由というのは、逆に「何をすればよいのかわからない」という声もありました。そこで、2022年のホームページにも記載のとおり、最初は全員に同じ条件での実験を行ってもらうことになっています。簡単な実験ですが、この実験からいろいろな条件、工夫をして実験課題レポートを作成してください。

2019年度のノーベル化学賞を受賞された吉野彰先生がファラデーの『ロウソクの科学』（岩波文庫など）という本を紹介されていました。ロウソクという身の回りにあるものを題材として、いろいろな観察や実験を行っていることが書かれていますので、一度読んでみてはどうかと思います。今回の実験課題は簡単と思われるかもしれませんが、いろいろな発見があるかも知れません。

熱は重要なエネルギー

「お湯の冷め方」なんて、と思う人がいるかもしれません。し

かし、熱はエネルギーの重要な役割を果たしています。人類がエネルギーを最初に利用したのが、ワットの発明した蒸気機関だとされています。電気自動車が普及してきましたが、今も多くの自動車は、ガソリンやディーゼルの熱機関で動いています。現在、SDGs（持続可能な開発目標）について様々な取り組みが行われています。7番目で「エネルギーをみんなにそしてクリーンに」、15番目で「気候変動に具体的な対策を」とあり、これらは熱に関係しています。「お湯の冷め方」という身の回りの現象を考えることが、これらの課題につながっていくかもしれません。そのような意識をもって取り組んでくれるとうれしく思います。

実験課題レポートは、4月1日から始まる参加申し込みを行って、チャレンジ番号やパスワードを取得してから、指示に従ってアップロードしてください。締め切りは5月31日です。実験レポートの作成の仕方などは、ポスターや要項にあります。プレチャレンジやホームページで紹介することを計画していますので、注意してください。

理論問題コンテストは遠隔で実施

実験課題レポートを提出したら、次は理論問題コンテストです。コロナ禍のため、今回も遠隔（パソコン、タブレットを用いたインターネット経由）で、7月10日（日）に行う予定です。

理論問題コンテストで出題される内容は高等学校の物理程度です。しかし、高等学校「物理基礎」「物理」の授業は、2年生から始まる学校が多いようですので、理論問題コンテストでは、参考図書（教科書、参考書、問題集、ノート、専門書）および電卓を使用することができます。また、解答は択一式です。すから、気軽に参加することができます。

教科書で学習する内容から、日常的な内容、さらに最先端の内容など、興味を持ってもらえるような問題を作成するように努力しています。理論問題コンテストを楽しんでください。

理論問題コンテストを遠隔で行うことについて、「不正があるのではないか」との心配が寄せられています。私たちは、物理チャレンジに参加する人が不正をするとは思っていませんが、そのような心配が寄せられていることもあり、ある程度の対策を行うことはご理解いただければと思います。

アジア物理オリンピック、国際物理オリンピック 2022 に向けて

国際物理オリンピック派遣委員会委員長
元岡山大学 東辻 浩夫



はじめに

代表候補は第2チャレンジで選ばれてから、国際大会に向けた研修を受ける。研修の形には、合宿と通信添削とがある。これらの様子を簡単に紹介する。

秋合宿

COVID19 流行以前には、代表候補選出のすぐ後に軽井沢で3泊4日程度の秋合宿を行い、理論・実験の研修とともに、候補同士および候補とOP委員を含む派遣委員会委員とが知り合い、情報交換する機会としていた。しかし、2020年同様、2021年も合宿はできず、次のようなオンラインの「合宿研修」となった。

日付	時間	行事・活動等	主な内容
9月18日(土)	10:00~11:00	オリエンテーション	・長谷川理事長挨拶 ・自己紹介など
	11:00~12:00	OPによる講演と懇談	・西口大貴氏 東京大学 (IPhO2007 イラン大会代表) 「微生物の泳ぎの物理と生き物の群れに潜む普遍法則」
	13:30~16:30	理論研修 (3h)	
	16:40~18:00	交流会	・なぜ物理を目指したか (OP委員) ・参考図書を紹介 (OP委員) など
9月19日(日)	(午前)		(第2チャレンジ表彰式のため研修は休み)
	13:00~15:30	実験研修 (2.5h)	
	15:40~16:10	今後の研修について説明	・理論研修 ・実験研修
	16:10~17:00	交流会	

理論研修では、過去のIPhOから選ばれた問題をグループに分かれて解いてOP委員の解説を受け、候補者はIPhOの問題がどのようなものかを経験した。実験研修では、予め候補者ごとに送られた器具を用いて、計測、有効数字、誤差評価などを学び、後日提出したりレポートでも指導を受けた。

また、候補者の先輩である西口大貴さんによるご自身の研究についての講演では、研究の面白さと幅広い領域で物理を基礎とすることの重要性・有用性が伝わったと期待する。

冬合宿：久しぶりの対面研修

一時的ではあるが、感染状況が改善された時期であり、12月22日から3泊4日の日程で実施できた。

1日目はJR八王子みなみ野駅集合から東京工科大学に同大学バスで移動して実験研修Ⅰ(剛体振り子、LEDの発光特性)を行った後、八王子の大学セミナーハウスに移動して実験研修Ⅱ(添削問題の解説)を行った。また、以降の研修はすべてセミナーハウスであった。

2日目は主に理論研修に充てられた。高校ではカバーが十分でない分野についての理論研修部会員による講義3コマ(「相対論」、「熱力学入門」、「量子論入門」)、およびOP委員の協力による小問演習1コマがあった(IPhO過去問から、「ファンデルワールスの状態方程式」、「重力波」、「粒子と波」)。また、午前の1時間(get acquainted session)をOP

委員との交流の場とした。

3日目および4日目午前は実験研修で、実験研修Ⅲ~Ⅴ(IPhO過去問から、「シートの特性」、「光の速さ」、「紙トランジスタ」、下の実験風景はその一つ)、実験研修Ⅵ(LCR回路)を行った。候補者は2名ずつのグループに分かれて、IPhO本番の実験装置を用いた実験などを行い、それぞれについて実験研修部会員による解説を受けた。OP委員は候補者のグループの実験の場で助言を与えた。ほとんどの候補にとって、これらの実験装置、計測機器に触れ、操作する貴重な機会であったと思われる。



4日目は昼食前に上の集合写真を撮り、昼食後にコーヒーを飲みながら交流会を行い、JR八王子駅で解散した。

おわりに

候補に対する通信添削も進行中であり、チャレンジファイルの行われる春合宿の準備も進んでいる。ただし、感染状況は冬合宿時に比べて格段に悪く、合宿は1泊2日に短縮の予定である。アンケートに「合宿研修で大いに意欲が増した」とある一方で、「もっと候補者同士の交流の機会を」ともあった。「参加のしおり」では「居室に多人数が集まるようなことはさけること」とせざるを得ず、何か工夫ができないかと思う。

物理学を学ぶための数学の学び方／Stepup 研修について

物理チャレンジ実行委員会 理論問題部会
大原 仁



はじめに

私は大学、大学院で物理学科に所属し、その後、予備校(河合塾)で 40 年間数学を教えてきたという経歴の持ち主です。2015 年から物理オリンピックに関わり、2016 年のスイス・リヒテンシュタイン大会に参加させていただきました。

物理を学ぶための数学

昨年初め物理オリンピック日本委員会のスタッフの人たちに手伝ってもらって『物理オリンピックを目指す中学生高校生のための数学』という本を書きました。先生の他、三好君、又兵衛君、チャチャさんという 3 人のキャラクターを使って楽しく学習できるようにしました。

物理では数学は手段であって目的ではありません。その点は受験数学も同じです。物理の数学と他の数学は異なるわけではありません。ただ、大学では数学を研究対象とする数学科と数学を手段として学習する物理学科とでは数学に対するスタンスが異なるように思います。また、物理オリンピックでは相対論、前期量子論までが出題範囲です。

この本では物理オリンピックでの出題に対応できる高校数学に限って、まだ高校数学を学習していない中学生でも 1 からでもわかるように解説しました。

そのため、確率や整数や以前に高校数学にあった行列、一次変換は省略しました。確率、行列、一次変換は実際の物理学、特に量子力学では重要な働きをするので、物理学に不要であると思ってはいませんが、前期量子論までで出題される物理オリンピックでは使わないと思います。整数も量子力学で重要な役割を果たしますが、高校数学で学習する、約数、倍数の関係、最大公約数、最小公倍数、素数などの概念は私の知る限り物理学には関わらないように思います。将来、整数論を使う物理ができるかも知れません。

逆に、高校数学になくても物理オリンピックに必要と思われるベクトルの外積、双曲線関数、初歩的な微分方程式、近似計算なども取り扱っています。また、物理オリンピックで使われる関数電卓についても一応解説しています。もっとも関数電卓などは習うより慣れろ! で教えるまでもないと思います。また、微積分については自動計算ソフト搭載のウェブサイトの紹介もしました。

物理オリンピックの本番では外部との接触は禁止されていますが、自学自習する上では自動計算ソフトのようなものを上手に使えるは大変役に立つと思います。

試験本番で禁止されていることの多くは学習の過程ではむしろ推奨すべきことが多い様に思います。友達や先輩と相談すること、メールのやり取りをすることなど。知れた

いと思う気持ちが強ければ、自ずから道は開けるといいます。

この本では物理的な事柄の解説も行っています。しかし、これらは数学的な事柄を学習するために掲載しているので、物理的に系統だった解説にはなっていません。

系統だった解説は『IPhO 研修用テキスト I, II, III』に譲っています。

この本は一般の書店では販売されていません。JPhO のホームページ「準備勉強」からオンラインで購入できます。

Stepup 研修について

次に、Stepup について説明します。

Stepup 研修は 2016 年から私が担当しています。毎年、第 2 チャレンジで国際物理オリンピック(IPhO)およびアジア物理オリンピック(APhO)に出場する選手の候補者を選抜します。

候補者の選抜は勿論成績によって決められますが、毎回ほぼ同じ成績ながら、わずかの差で涙を飲む人ができます。

Stepup 研修はそういう人達を対象に行います。

受講者数は毎年 40 人位です。

このうち 3 年生はこの時期は受験勉強に忙しいと思いますが、毎年 10 名以上の参加があり、ほとんどの人が最後まで受講してくれています。今後の物理学の学習に役立てればと願っています。

2 年生は翌年 3 年生なので候補者には選ばれませんが、毎年前年より良い成績をとってくれています。中には金賞をとった人もいます。

1 年生以下の受講者はそれほど多くないですが、毎年数人が翌年の候補者になり、その翌年の代表になる人も出ています。なかには中学 2 年生でチャレンジしてきた人もいます。意外と良い成績をとってくれています。頼もしい限りです。

なかには既卒生で受講する人もいます。勉強の役に立つのなら拒みません。

出題は毎年 10 月から翌年の 2 月まで 5 回 8 題を通信添削の形で学習する研修です。問題は毎年候補者に課す添削問題の中から良問を選んだものを中心としています。

申込は毎年第 2 チャレンジ終了後に行います。

ファーストステップ研修とチャレンジ研修

普及研修部会
杉山 忠男



はじめに

第1チャレンジ参加者の中で第2チャレンジに進めなかった人を対象とした研修として、ファーストステップ研修とチャレンジ研修を実施しています。

ファーストステップ研修は、過去の第1チャレンジ理論問題を題材とした記号選択式の問題からなり、対象者全員にたいしてアナウンスして参加者を募集します。実際に研修に参加して答案を提出するのは、毎年、60～90名です。

チャレンジ研修は、過去の第2チャレンジ理論問題を題材とした記述・論述式の問題からなり、第2チャレンジに進めなかった高校1年生以下の成績優秀者20名程度にアナウンスして参加者を募集し、10名前後が記述式答案を提出しています。

以下、実際の問題例を示しましょう。

ファーストステップ研修の問題例

地球の近くにおける太陽風（太陽から吹き出す荷電粒子の流れ）の陽子密度は $n = 8.7 \times 10^6 \text{ m}^{-3}$ 、速さは $v = 4.7 \times 10^5 \text{ m/s}$ である。陽子の電荷を $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、地球の半径を $R = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$ とする。

問 地球の近くにおける、陽子による電流密度は何 A/m^2 か。

最も適切なものを、次の①～⑥の中から1つ選べ。

- ① $6.5 \times 10^{-1} \text{ A/m}^2$ ② $6.5 \times 10^{-4} \text{ A/m}^2$
 ③ $6.5 \times 10^{-7} \text{ A/m}^2$ ④ $1.4 \times 10^{-6} \text{ A/m}^2$
 ⑤ $1.4 \times 10^{-9} \text{ A/m}^2$ ⑥ $1.4 \times 10^{-12} \text{ A/m}^2$

【解答】

答：③

電流密度 j を求めるには、単位時間あたり単位面積を通過する電流量を求めればよい。

$$j = env = 1.6 \times 10^{-19} \times 8.7 \times 10^6 \times 4.7 \times 10^5 \\ \approx 6.5 \times 10^{-7} \text{ A/m}^2$$

チャレンジ研修の問題例

気体の熱伝導を考える上で必要な平均自由行程 l と熱伝導率 κ の説明をした上で、気体の熱伝導率の表式を求めさせます。また、実際のヘリウムガスの熱伝導率を数値で求めさせます。ここではこの大問の最後に身近な具体例への適用として魔法瓶を考察させた問を示します。

問 魔法瓶では、熱の伝導を小さくするために壁面が二重構造になっており、その間を真空に近い状態にしている。

二重構造の壁面間にヘリウムガスが入っているとする。魔法瓶の二重壁間（間隔を 1.0 cm とする）のヘリウムガスの圧力を小さくすることで、1気圧のヘリウムガスの場合よりも魔法瓶の外部への熱流出量を $(1/100)$ 倍程度に減らしたい。ヘリウムガスの温度は $T = 273 \text{ K}$ の一定のま

まととして、圧力をどの程度にする必要があるか、求めよ。ただし、魔法瓶の二重壁間の熱放射は無視できるものとする。

【解答】

前問の結果より、熱伝導率は温度 T に依存し、一定温度のもとでは、圧力によらない。一方、平均自由行程は、一定温度のもとで圧力が減ると圧力に反比例して長くなる。平均自由行程 l が二重壁間の間隔 $d = 1.0 \times 10^{-2} \text{ m}$ より大きくなると、 l が d に固定され、 $(N/V)l$ に比例する熱伝導率は、密度 N/V （したがって圧力 p ）に比例して減少する。

1気圧 $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ のとき $l = 3.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ より、一定温度のもとで l が $d = 1.0 \times 10^{-2} \text{ m}$ となる圧力は、

$$p = \frac{l}{d} p_0 = 3.0 \text{ Pa}$$

こうして、圧力をこれよりさらに $(1/100)$ 倍程度に小さくすれば、熱伝導率も $(1/100)$ 倍程度に減らすことができる。これより、熱流量を $(1/100)$ 倍程度に減らすには、気体の圧力を、

$$3.0 \times 10^{-2} \text{ Pa}$$

程度に減少させればよいことがわかる。

提出答案と将来への期待

ファーストステップ研修は、10月～翌年の2月まで、毎月問題例に示したような問を10題提示して解答を求めます。提出答案はほぼ50%以上の正解率となっています。出題者としては70%以上の正解率を望んでいますが、高望みかも知れません。答案提出者には採点済み答案と同時に、解答および詳しく過ぎる程の解説を付けて返却しています。これらを参考に、物理の基礎をしっかりと身に付けて次年度以降、第2チャレンジに進んで楽しんでもらえればと考えています。

チャレンジ研修では、大問7題を10月に提示し、10月～翌年の2月の各月末に1、2題答案を提出してもらっています。答案は非常によくできているものからほとんど書けていないものまで幅広くなっています。よくできている答案提出者には、次年度以降、ただ単に第2チャレンジに進出するだけでなく、是非、国際物理オリンピックにも出場して、広い世界での活躍を期待したいものです。ほとんど書けていない答案提出者は、入試問題などで答のみを求める物理の問題に慣れ過ぎて、長文の問題を読み、自らの言葉で解答を書くことができないようです。長文を読んでじっくり考える習慣をつけて欲しいものです。

物理チャレンジと数学

物理チャレンジ 2005 参加
大阪市立大学大学院理学研究科 数学教室 小池 貴之



はじめに

私は物理チャレンジ参加後、数学（複素解析幾何分野）の研究をし、4年ほど前に大阪市立大学に就職いたしました。丁度そのあたりに一度、NewsLetter に記事を書きました。今回執筆のご依頼を頂き、前回の記事を読みつつ当手を振り返っておりまして、色々と思い出すことがあります。

就職直後の思い出の一つに、「南部ストリート」の思い出があります。私は相当に方向音痴で、はじめは地図を凝視しつつ大学周辺を散策しておりました。その際に「南部ストリート」という綺麗な通りが大学内にあることを知ったわけですが、これがキャンパスの北側にあるのです。方向感覚に自信ないこともあってこれがとても気に入り、早速当日調べましたところ、こちらは南部陽一郎先生のお名前が由来でした。不勉強で存じ上げなかったのですが、南部先生は1949年の新制大阪市立大学発足時の理工学部物理学科の創設メンバーでした。偉人との思わぬご縁に、なんだか嬉しい気持ちになったことを覚えております。

さらに記憶を遡りますに、どうも私にはそれまでに二度ほど、集中的に物理との関りを頂けた時期がありました。今回はそういった時期を振り返りつつ、物理と数学の似た点や違う点といったことに思いを馳せる形で書いてみます。

似ていて違う物理と数学

まずその一度目こそが、高校生のとき、つまり物理チャレンジに参加させていただいた時期です。私は高校生のとき、専門は数学を志望しようと考えてはいました。しかし他学問についてよく理解ができていたわけでもありません。特に数学と物理とは何となく似ているという認識ではありましたが、何より高校でお世話になった物理の先生方のお人柄やご指導のお陰様で、物理のお勉強ももってから将来を決めようと思い始めておりました。そういった折に、高校の先生方にご紹介いただいて物理チャレンジに参加させていただいたことを覚えております。まず初めは何より問題が難しく、しかし同時に大変に面白いことが印象的でした。その後、物理チャレンジでお世話になった先生方の優しさやフレンドリーさに、とても安心させていただいたこともよく覚えております（特に「大学の先生とお話する」というのは、当時高校生としては初めなかなか緊張することでしたので）。また先生方はもちろん、物理チャレンジを通じてできた同学年の似た興味を持つ友達とも、その面白い興味や、とんでもない知識や頭の回転に、

驚きつつもワクワクとする大変素敵な刺激を頂いたこともよく覚えております。そういった刺激の中で、数学と物理との比較についても、一気に解像度が上がるような形ではっきりとしてきました。とくに覚えているのは、物理における実験と理論との関係についてです。それまでぼんやりと、物理や自然科学には実験と理論があるということだけは認識してはおりましたが、その対比や関係、両者の連携の大切さのようなものは私の中でぼやけていた状態でした。物理チャレンジで、初めてそういったことをはっきりと認識し始め、面白さを感じたことを覚えております。その後、進路としては数学を選びはしましたが、特に学部の間、物理チャレンジでのご縁を通じ、自主ゼミなどで物理の勉強を続けさせていただきました。

二度目は大学院生のときです。修士のときに、丁度文部科学省「博士課程教育リーディングプログラム」事業による「数物フロンティア・リーディング大学院」というコースが始まりました。こちらの制度による院生の経済支援が魅力ではなかったといえはウソにはなりますが、このコースでは特に数理物理と数学との連携に関連してお勉強する機会を多くご提供いただけるメリットがあり、私は喜んで参加させていただきました。この時期には、むしろ物理と数学との近さを感じたことを覚えております。特に数理物理の諸分野について知り始めたことも大きいですが、物理における思考実験の大切さや、数学における具体例での計算“実験”の大切さを学ぶ機会を頂けたことも大きいと思います。また当時トポロジカル絶縁体に関連した数学の研究をしていた友人を通じ、物理学的と数学における興味の連携の素晴らしさを知り、なんだか心が震えるような、憧れのような感情を抱いたこともよく覚えております。

これからは…

大阪市立大学には、数学研究所があり、そちらの理念の一つに「数学・理論物理の協働・共創による新たな国際的研究・教育」があります。また南部先生のお名前を冠する、南部陽一郎物理学研究所もあります。こうして過去を振り返りますに、これは私にとって大変によい環境であり、チャンスであるように思っています。振り返りますにこれまでは、こうして物理学とふれあい理解を深める機会につきましては、頂いてばかりであった気がしています。ぜひ私も今後は、こうした環境を生かし、物理と数学との連携を支援し生み出すべく、たとえ微力でも何かしら動いてゆきたいと思わずにはおれません。

受賞論文のこと・近況など

物理チャレンジ 2006、2007 参加
 ヨーク大学物理学科博士研究員 谷内 稜



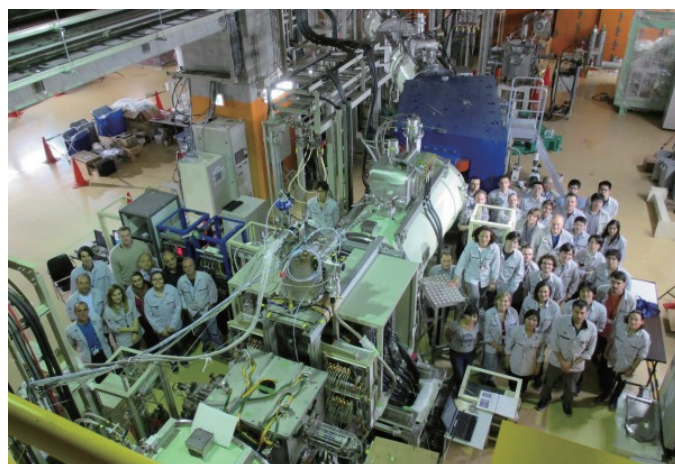
海外での研究者生活のすすめ

私は現在、イングランド北部にあるヨークという歴史ある街にあるヨーク大学で博士研究員として働いています。こちらでの生活もかれこれ 3 年ほど経過しました。大学院生でした 6 年前にも JPhO New Letter 第 16 号に寄稿させていただきましたが、新たに研究者として一步を踏み出しましたこのタイミングで再び執筆のお誘いを頂きまして大変光栄です。

日本で生まれ育ち、大学院で博士号を取得するまでの間はずっと日本の大学で過ごしておりまして、まさか自分が何年もの間、海外で生活をするようになるとは思っていませんでした。海外での生活は慣れないと難しいこともありますが、最近はこちらの生活にも慣れ、不思議なもので住めば都です。海外での生活を経験することは様々な文化や、国籍や価値観の違う仲間と出会うことができ、大きな刺激となっています。

そもそもなぜ自分が海外で生活するようになったかと考えると、物理チャレンジに参加した経験が大きかったと思います。高校生のときに、全国の刺激的な仲間と出会い、切磋琢磨することができ、それまで自分が思っていた「世界」がいかに小さいものであったのかを身を持って体感する機会があったからこそ、自分の居心地のいい場所にとどまるのではなく、より異なる背景をもつ人と出会いたいと思えるようになったのではないかと思います。物理チャレンジで得た仲間の

中にはヨーロッパで研究者をしている人も複数います。海外で生活すると日本の仲間の存在は大切です。直接会ったり、ときに助け合い、お互いに刺激を与え合ったりする仲間を得られたことも大変幸運です。



博士論文の実験際に撮った集合写真。外国人が大半の中で一緒に実験をすることは大変大きな経験でした。

博士論文の研究の話

優れた博士論文の研究をした若手研究者に授与される井上研究奨励賞という賞を本年 2 月に頂きました。研究は理化学研究所の RI ビームファクトリー (RIBF) という加速器施設で測定した実験データを解析したものです。RIBF は陽子と中性子の比率が極めて異なる短寿命な同位体元素を世界で最も高い強度で生成することができ、不安定原子核に発現する特異な性質を実験的に探索することができます。

原子核を構成する陽子と中性子は、原子軌道を構成する電子と同様に殻構造を持つことが知られています。しかし、核力（強い相互作用）により束縛される原子核の構造は未だ完全には解明されておらず、特に中性子が過剰な不安定原子核における実験的な探索は陽子-中性子間での相互作用を理解する鍵となっています。中性子過剰な二重閉殻同位体とされる ^{78}Ni という原子核の励起準位を世界で初めて同定し、それが単純な閉殻構造ではないという結論を見つけ、Nature に掲載されました。実験当初予想していなかった現象はなかなか理解が難しく、試行錯誤を繰り返し、論文にまとめるのに大変時間がかかりました。苦労もありましたが、このように成果を認めてもらえてよかったです。



コロナ禍を経てリモートワークの文化も整ってきており、現在はケンブリッジに住んで週に一日職場に出勤をする生活をしています。街を流れるケム川で小舟を借りて川下り（パンティング）をしたりもします。

(研究紹介) 手作りの極低温分子実験で挑む新たな素粒子の発見

物理チャレンジ 2012, 2013 IPhO2013 デンマーク大会 参加
ハーバード大学大学院物理学 澤岡 洋光

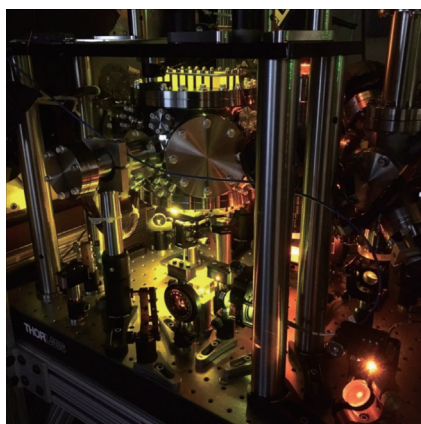


はじめに

みなさん、素粒子実験という言葉を知ると、国家規模の実験施設で莫大なエネルギーを注ぎ込んで素粒子を生成しているイメージがあるかと思います。一方、それとは相補的なアプローチとして、実験室レベルで原子や分子のエネルギーの精密測定を行い、既存の物理法則との「ずれ」を探すことでこれまでに知られていない素粒子の作用を検知することができます。これらの作用を検出するには数十桁もの精度での測定を行う必要があるのですが、室温での分子は乱雑すぎて使えません。そこで、数マイクロケルビン（つまり、絶対零度と100万分の1度しか変わらない極低温）程度まで冷却し、真空中に浮かべた分子を用います。

この世で最も冷たい分子の作り方

原子や分子を極低温に冷却するための一般的な手法として、レーザー冷却と呼ばれるものがあります。文字通りレーザーを用いて、レーザー光の吸収時と放出時のエネルギー差を利用して分子を冷却します。レーザーと聞くと「熱いもの」というイメージを持たれるかもしれませんが、レーザー光と分子の衝突により、レーザー光の運動量と分子の運動量を相殺して分子を遅くしていると考えるとわかりやすいです。この衝突を数千～数万回行うことで、極低温に到達できます。



原子のレーザー冷却は単一のレーザーで比較的簡単に行えますが、分子のレーザー冷却はさらに多くの工夫が必要になります。なぜなら、分子には振動運動や回転運動があり、一度レーザー光を吸収した後にそのエネルギーを完全に放出せず、振動や回転をしている状態になることがあるからです。この対策としては、振動状態に陥った分子を別のレーザーで再び励起し、そこから光子を放出させて基底状態に戻すことで再びメインのレーザー光を吸収できるようにします。しかし、それぞれの振動状態に対して個別のレーザーを用意する必要があり、分子が複雑になって振動状態の種類が増えると、それだけ

レーザー冷却が難しくなります。そのため、現在の技術では3原子分子のレーザー冷却がやっとです。その対価として、複雑な分子では未知の素粒子の作用により敏感なエネルギー状態を実現できます。

私の研究内容と日々の研究生活

私の実験では、水酸化イットルビウム (YbOH) 分子のレーザー冷却と、その精密測定を目標にしています。 YbOH 分子は、非常に強い内部電場と、そのコントロールのしやすさが特徴です。この内部電場と分子内部の電子との相互作用によるエネルギーの測定が最終目標になります。もし電子が点電荷であれば、電子と内部電場の向きに関係なくそのエネルギーは一定なはずですが、電子そのものに電荷の偏り（電気双極子）があれば、向きによってエネルギーが変化します。もし電子そのものに電荷の偏りがあることを発見できれば、これまでの素粒子論では説明できない対称性の破れがあることになり、新たな素粒子の手がかりとなります。この対称性 (C P 対称性) の破れは宇宙の謎の一つである物質・反物質の非対称性の説明にも繋がります。

実際の研究では、 YbOH 分子を2Kの低温装置（下写真・左）内で人工的に生成し、そこからさらなる減速・冷却を行います。しかし、 YbOH ほどの複雑な分子はこれまでに極低温に冷却されたことがなく、分光測定の結果、レーザー冷却（左写真）だけでは必要なエネルギーを除去するのが難しいことがわかりました。そこで、3Tもの強力な磁場を用いて分子を減速する装置（下写真・右）を開発しました。この装置のデザインを私が行い、パーツは外注だけでなく自ら製作もしました。現在はこの装置で実際に YbOH 分子の減速に挑戦しています（別の分子では実証済み）。これらの実験装置の手作りに加え、レーザーや真空装置のセットアップも自ら行っており、色々な作業があるため毎日飽きることなく研究を続けています。

