

高校生のための物理学特別講座

「天体と物質 その根源をひもとく」

広島大学大学院理学研究科

小鷹 康史先生，大杉 節先生

広島大学大学院先端物質科学研究科

鈴木 孝至先生，草野 完也先生

広島大学大学院理学研究科

高橋 徹先生，圓山 裕先生，杉立 徹先生

S P P 科学技術・理科学習プログラム

2003年8月9日 広島大学附属福山中・高等学校

8月27日 広島大学理学部，広島大学放射光科学研究センター

< 講義の目的 >

このプログラムは，広島大学大学院理学研究科並びに広島大学大学院先端物質科学研究科が連携して，広島県福山市近隣の高校生の希望者を対象にして行なう科学技術・理科学習プログラムである。

広島大学の研究者が一貫したテーマに基づいて，最新の科学から天体と物質の謎を解く鍵となる現象までを多面的な視点でとらえ，

実験による体感とシミュレーションによる視覚化によって高校生にわかりやすく解説する。同時に，生徒たちに質疑応答を通して疑問を解く楽しさを学習させ，高校生の科学並びに科学研究への興味関心を啓発することを目的とする。



< 講義の内容 >

第1に，宇宙の構造と物質についてマクロからミクロまで一貫して捉えることで宇宙全体を捉える視点を養い，柔軟に視点の移動ができることが科学の目として重要であることに気づかせる。

第2に，複数の教官が一貫したテーマにもとづいて多面的なアプローチを講義や実験で展開し，それぞれの専門分野から多彩な視点で生徒の疑問にアドバイスを行ない，生徒にとって現代物理学の最新の研究のようすやその研究手法に触れながら宇宙的視野で自然を捉える機会とする。このプログラムでは，講義や実験に加えて，参加者を広島大学理学部に招き実際の研究現場及び研究内容を紹介し，研究者の実際を肌で感じる機会を設けて，生徒たちの科学並びに科学研究に対する興味関心を高める。講義と実験と質疑応答と研究室見学を複合的に適宜実施し，複数の大学教官が生徒の疑問に応え，考えさせながら，科学的な思考過程を学ぶ取り組みを行なった。

< 講義の結果 >

A . ブラックホールの話

講師 小島康史 広島大学大学院理学研究科教授

(1)内容について

ブラックホールの理論と観測の現状を簡単に説明した。特に、その原理や仕組みは高校の物理の延長線上にあることを示すことを意図した。

万有引力のもとで運動はどのようになっているか。

[太陽の周りの惑星の運動の比較]

重力の性質の理解

[多数集まると強くなる。(万が引きあって、打ち消すことなくより大きな力の源となる。)]

重力源からの脱出速度

[ある質量が一定で大きさが小さくなるとそこからの脱出速度はおおきくなる。光速がある有限の大きさのために、ある領域から光も抜け出せない可能性がある。ブラックホールの存在。]

銀河中心に存在する巨大ブラックホールの存在(観測例)

[ドップラー効果を用いて運動する物体の速度とそれを引き起こす重力源の質量の見積もり。]

ブラックホールなど強い重力がもたらす活動的な姿(観測例)

[ジェット、光度の短時間変動、重力レンズや超新星爆発。]

講義の最後の 20 分は質問の時間とした。分かりにくかった事柄について補足した。

(2)講義を終えて

多くの方が興味を持っている「ブラックホール」について説明した。それが、高校の物理の延長線上にあることを強調した。興味ある題材をもとに展開したつもりである。科学は物語やアニメと異なり、正確に伝えることが重要であるが、そのためには基礎となる学力や知識が必要となる。正確さを第一に考えるなら、高校生に先端のことを伝えるのは難しいであろう。一方、興味本位なものにするなら、アニメの多用で好奇心を持たせることも可能であろう。このような企画で目指すところはその両極端の真ん中あたりで、どの程度にすべきか難しいところである。

B . 現代科学で探る太陽の素顔

講師 草野完也 広島大学先端物質科学研究科助教授

(1)内容について

日常何気なく接している太陽を科学の目で見直し、学生が太陽研究の最前線に接する機会を与えることを目指す。さらに、我々が生活している太陽系空間の真の姿を理解し、宇宙環境に関する正しい認識を科学的方法論に従って得る。

最先端の研究成果に基づいて太陽という最もなじみ深い天体の素顔を科学的に理解し、その実態がどこまで解明されているのかを知る。

宇宙空間がプラズマで満たされているという事実から、太陽が太陽圏空間や地球にどのような影響をなぜ与えるのかを知る。

現代科学が太陽と宇宙空間の物理をどのように調べているのか、その科学的方法を理解する。

現代科学でも理解できない太陽と宇宙空間の謎について学ぶ。

太陽黒点観測の実体験を通し、簡単に観測できる太陽の姿と高温プラズマ天体である太陽の実態との関係についての理解を深める。

(2) 講義を終えて

天体望遠鏡を用い実際の黒点観測とスケッチを講義前に参加者全員に行ってもらった。その上で、太陽観測衛星がその日に捉えた X 線による太陽の映像を紹介し、学生のスケッチと比較することによって実際の太陽の理解を促進した。さらに、講義では最新の機器で得られたデータを示すと同時に、学生が簡単な計算と物理的洞察で理解できる内容を示すことにより、科学的方法論とはどんなものかを感じ取れるような構成に努めた。

ただし、多くの学生は単にお話として聞いていたのかもしれない。黒点観測以外にも簡単な問題を事前に提示するなど、学生がより積極的に参加できる形態を開発する必要があると感じた。

科学技術の研究を続けるとこれまで見たことのない姿が見えてくることを伝えられた点は理科のおもしろさを引き出すのに有効であったろう。ただし、現在の高等学校のカリキュラムとどのように先端科学がつながっているのかを生徒に納得させる点では課題が残されたと思う。

C . 超伝導と超流動

講師 鈴木孝至 広島大学先端物質科学研究科教授

(1) 内容について

日常体験できない量子力学の世界を、簡単な実験を通して体験することにより、理科に対する興味を飛躍的に高める。高校生に対しては、大学の授業の雰囲気や学び方の違いをも体験させる。

寒剤として液体窒素を用い、ヘリウムガスで理想気体におけるシャルルの法則を実験する。

窒素ガス、酸素ガスで実存気体の凝縮を実験する。

液体酸素の色に注目させる。

永久磁石を活用して、液体酸素の常磁性（磁石に吸い付く液体）を確認する。

以上の実験を題材に、状態の秩序、エントロピー、熱力学第 3 法則、相転移の概要（気体の凝縮や強磁性等）をについて、液晶プロジェクタを用いた視覚的にも理解しやすい図・表・式を活用して解説し、限られた時間内における学習効果を上げるよう努め

る。

ある程度、前述の概念を把握させたところで、巨視的量子秩序の実例として高温超伝導現象および高温超伝導体による浮き磁石や磁束ピンニングの実験を行い、物理学の不思議とおもしろさを体験させ大学での学習の必要性に誘う。

(2) 講義を終えて

日常では体験できない現象を生徒各自が実体験できるよう工夫し、興味を十分喚起したところで、実体験した現象の原理を学習したので、生徒の知的好奇心や探求心を喚起することができたと思う。

実施条件や留意事項としては、使用する液体窒素、酸素ガス、窒素ガス、ヘリウムガスは近場であれば持参できるが、かなり遠いところで授業をする場合、現場で用意して頂くと助かる。開講時間の長さによっては、実験を効率的に行うためTAを要する場合がある。

D. 宇宙のはじめの3分間

講師 杉立徹 広島大学大学院理学研究科教授

(1) 内容について

難しい数学や物理公式と無関係に、「身の回りにも面白いこと、あるいはまだ解っていないことがある」ということを感じてもらうことを究極の目標に設定し、「自分の身の回りから想像できる事実」と「宇宙誕生から現在までに起きたであろう現象」を結びつけるシナリオを試みた。授業の初めに、次の3つの質問を問いかけた。

(ア) 恐竜の尻尾はどこへいった？

(イ) 私たちは星屑でできている？

(ウ) 宇宙誕生・初めの3分間で全てが決まった？

(エ) どうやって調べるの？ 次のシナリオで話を組み立てた。

食物連鎖：簡単な絵から地球上の物質の再利用サイクルを考える。地球上で起こっている反応は化学組成を変えることはあっても、人為的な極僅かな量を除いて、地球全体の元素組成を変える反応はない。

地球誕生以来46億年の元素再利用サイクル：その帰結として、地球という孤立系に生存する私たちの体を作る元素は、地球誕生の時から存在していたはずである。

太陽系の重い元素の存在比：何処で作られたのか？

水素核融合反応と核子あたりの結合エネルギー：太陽で起こっている光エネルギーの生成と軽い元素の合成。重い元素が作れないことを説明する。弱い相互作用による幸運を実感(?)する。

重い元素合成：超新星爆発と新しい星の誕生のシナリオ。

クォーク物質のリサイクル：宇宙が孤立系であることに注意すると、星の消滅と誕生の中で(クォーク)物質が再利用されていることに気づく。

宇宙の歴史：私たちの体を作っているクォーク物質は、宇宙誕生直後に作られた。

C P非保存：無から有が作れるか？

どうやって調べるの？：クォーク物質探索実験の様子。

(2) 講義を終えて

夏休み中であったため、さらに、遠隔地の広島大学で実施したために、生徒さんを集めるのが難しかったと聞いています。参加してくれた1 - 2年生の生徒さんですが、質疑応答の際に「そしたら、本当はわかっていないのですか？」という質問がでたことで、少しは目標に近づいたとホッとしました。高校の授業のための学習効果は疑わしいですが、普段の生活や、新聞記事あるいは科学雑誌を読んだときにおもしろさを感じるのに、少しは役立つであろうと願っています。比較的準備よくしたのですが、講義内容の組立、作成資料、および授業方法に改良の余地があると感じました。このような企画はすぐに目に見える形で効果は出てきませんので、辛抱強く長い目で継続することが大切と思います。関係各位には、引き続きご努力くださるよう、お願いします。

E . 鉄の話

講師 圓山裕 広島大学大学院理学研究科教授

(1) ねらいと内容

特別講義では、理科の好きな高校生達に「物質の不思議と物性物理の面白さ」を伝えることを目標にした。そのために、身近にある「鉄とその材料」を扱い、特に、磁氣的性質に関する話題に焦点を当てた。Fe原子、金属のFe、強磁性のFeに関する研究の一端を紹介する中で、基礎科学の研究対象としての鉄と実用材料として人類の福祉に役立てられている鉄を理解させることを狙った。また鉄を含む磁性体の電子状態といった原子レベルの情報を得るために放射光が利用されていることも伝えたかった。

講義の導入では、鉄を含む幾つかの磁性体のサンプルを受講生に回覧しながら、その試料に関して簡単に説明した。例えば、世界最強の永久磁石ネオマックスでは、手に取ってみてその磁力の強さを実感させた。また一辺が3cm程もある立方体の黄鉄鉱の単結晶に驚いた様子だった。コンピュータのハードディスク・ドライブの内部にある磁気ディスクを実際に見るのは初めてだと思う。高校生が磁性体や磁性材料を手にした時の好奇心と新鮮な驚きの表情が容易に見て取れた。

最初に、カニ星雲・備前長船・ネオマックス磁石の写真から成るOHPを示した。それは、超新星SN1054で輝く放射光と鉄原子の生成に関する話題、道具や材料としての鉄の利用、放射光光源への応用、物質科学に関する話題の三題噺である。これを講義の糸口に使った。講義内容の概要は以下の通りである。

様々な鉄とその特徴私達の身の回りにある鉄とその応用について改めて認識させることを目的に、鉄酸化物、化合物、金属・合金、生体中の鉄、人工格子多層膜・薄膜、隕鉄と地球の核を形成するFe-Ni合金などの話題を手短に紹介した。更に、鉄の特徴についても、酸素と結合しやすい、延性・展性・弾性に富むこと、熱的電氣的な伝導性に富むこと、光沢があること、最後に、磁性があることを強調した。

Feという元素Feなどの比較的原子番号が大きな元素は、超新星爆発によって生成

されることが分かっている。核子当たりの結合エネルギーは全元素の中で Fe が最も高い。即ち、Fe が最も安定な原子核であることから、軽原子の核融合や重原子の核分裂を経て Fe に壊変することが知られている。全宇宙の元素存在比でも Fe は決して少なくないことを示した。

Fe 原子から金属の Fe へ Fe 原子の電子構造を紹介し、固体金属となった Fe のバンド構造とフェルミ準位についても紹介した。また金属の Fe は温度と圧力の条件によって、3 つの結晶構造を取り得ることを説明した。常温常圧での体心立方格子（強磁性）、高温の環境下での面心立方格子（反強磁性）、高圧下で実現する六方最密充填格子（非磁性）を紹介すると共に、条件によって結晶構造が変わること（構造相転移、相変態）についても説明した。これに関連して、相変態を利用した鋼の焼き入れと日本刀の話も提供した。一方、高温高圧下での Fe の状態について、地球の核が Fe-Ni 合金から成っていること、内核は固体の金属だが外核は溶融した金属であると云われていることを紹介した。現在、高圧下の物性研究が盛んに行われているが、それは地球内部に存在する鉱物や鉄の状態を知ることに通じることを説明した。

磁性の発現 鉄が磁石に付くことは誰でも知っている。「何故、磁石に付くのか」という疑問を持ったことが有るに違いない。講義では、電子がスピンと磁気モーメントを持つことを直感的に分かる様に説明したが、理解は難しかったと思う。「スピンは相対論的効果」や「磁性はマクロに現れた量子効果」と云うことも伝えなかったが、理解出来ないことが多かったと思う。一方、電化製品から情報・通信・交通・機械など現代社会の広範囲に渡って磁性体が応用され、不可欠の材料となっていることを説明した。たくさんの不思議が身近にあることに気付いて欲しい。

X線分光学的手法最後に、シンクロトロン放射光の原理と施設の概略を紹介し、放射光 X 線を用いた分光学的実験から Fe の磁気状態に関する理解が得られることを紹介した。高輝度の放射光、特に、円偏光 X 線の利用によって磁性研究が可能になったことを強調した。円偏光を説明するために、ゴム糸に待ち針の列を刺した小道具を利用した。待ち針の頭がゴム糸を中心に波動を描くデモンストレーションは好評であった。広島大学放射光科学研究センターでも、放射光を用いた磁性研究が活発に行われていることも紹介した。

(2) 講義を終えて

理科の好きな受講生達が、物質に不思議を感じ、物性物理に面白さを発見することを願っている。特別講義が理科離れ、物理離れをくい止める即効薬には成らない。しかし、大学での講義によって知的好奇心が刺激され、高校生の関心が物理分野に回帰することを願いたい。「物質の不思議と物性物理の面白さ」を伝えたい。特別講義を担当して、次の様な反省を感じている。

- (1) 盛り沢山の内容は逆効果か、
- (2) 専門的過ぎない内容が良い、
- (3) 高校生の知識で理解できる話題、
- (4) 一話完結よりも続き物の方が良いのではないか。

F．放射光科学研究センター見学

普段は、研究者しか入れない内部に入り、研究者から施設の概要や現在の研究のようす、研究の将来展望と利用等について学んだ。

放射光を利用した研究は注目を浴びており、最先端のテクノロジーが未知の領域を切り開いていく大きな可能性の説明を受けながら、生徒たちは興味・関心を強く刺激されたようである。

<留意点・課題等>

一つのテーマで時間を掛けて考える方式の特別授業が最も効果があると思われる。それが日常の授業に欠けており、また学生の深い疑問に答えられる、あるいはヒントを与えられる、あるいは将来の科学的探求のモチベーションになるきっかけを与えることになる可能性があるからである。最先端の科学・技術に従事している特別授業の教官の役割である。先端科学・技術をのものの紹介はTV等で日常的に行なわれており、あまり強いインパクトは与えられないと考える。

また、教育には人と時間が必要である。プロジェクト的にお金を出すのでは、それを担う人が不足して成功はおぼつかない。持続的な計画にし、それを担う人を高校にも大学にも増やす必要がある。

