

理科(物理 I)学習指導案

熱とエネルギー
(高等学校 第2学年)
神奈川県立総合教育センター



【『平成 20 年度研究指定校共同研究事業(高等学校)授業改善の組織的な取組に向けて』
平成 21 年 3 月】

平成 20 年度研究指定校である光陵高等学校において、授業改善に向けた組織的な取組として授業実践を行った学習指導案です。

熱力学に関する歴史的な実験を簡易な形で行い、既習の知識を活用して実験結果から何を読み取れるのかを考えさせる学習指導を行いました。

光陵高等学校「物理」学習指導案

1 学 年 第 2 学年

2 科目名 物理

3 単元名(教科書名) 熱とエネルギー(実教出版「物理 新訂版」)

4 単元の目標

- ・熱現象に興味や関心をもち、意欲的にそれらを探究する。
- ・熱現象の中に課題を見だし、それについて科学的・論理的に考察し、判断する。
- ・熱現象に関する観察・実験の技能を習得するとともに、そこから導き出した自らの考えを的確に表現する。
- ・熱に関する基本的な概念や熱力学の法則を理解する。

5 単元について

教材観・題材観

使用している教科書では、始めに物体の運動について学び、その後エネルギーについて学習するという順序になっている。エネルギーについてはまず仕事と力学的エネルギー、その保存則について学び、その後に熱とエネルギーについて学習する。

実験の結果について生徒自らがその意味を考え、熱とは、そして温度とはどのようなものなのかをその中から読み取り、熱量の保存や熱力学の第 1 法則を理解する。

生徒観(生徒の状況)

物理の力学に関する単元の学習を終えている。熱については中学校までの知識しかもっておらず、熱と温度の区別はあいまいで、温度に関する詳しい知識もまだもっていない。身近にあって常に体験している熱現象であるが、それだけに経験的な思い込みを排して目には見えない分子の振る舞いからそれらをとらえなおすことは多くの生徒にとって難しい。

物理には苦手意識をもつ生徒が相当数いる。また得意としている生徒においても、自然現象への知的な好奇心が学習の動機になっているとは限らない。

指導観(主な支援)

実験によって得られる体験を通じて、分子運動論の考え方を生徒それぞれが感じ取れるようにする。

実験の結果からそこに含まれる意味を十分に読み取らせるために、実験のワークシートを工夫し、思考を支援するために適切な説明を加える。

6 解決を目指す課題

- ・それまでに得た知識が単なる知識にとどまってしまい、実際の現象の意味を説明することに活用できない。
- ・現象の背後にある法則性を類推する思考力が不足している。

7 課題解決の方法

17 世紀に生まれ、18 世紀にドルトン、ラボアジェらによって広く支持されたカロリック説と、それがランフォードらによって否定され、分子運動論が台頭し、熱力学が誕生するまでの過程を紹介し、カロリック説を否定するに至ったランフォードの歴史的な実験を簡易な形で再現する。前の単元で学んだ仕事とエネルギーの知識を活用して、それらの事実から何を読み取れるのかを考える。また、人がどのように熱をとらえてきたか、その思考の発展の仕方について考える。こ

うした学習活動を通して課題の解決を図る。

8 課題解決の状況を確認する方法

- ・実験のワークシートの内容、テスト、提出物の内容の確認
- ・アンケート(事後1回)の内容の確認

9 単元の指導と評価の計画

(1) 単元の時間数 4時間扱い(1時間の授業は90分)

(2) 単元の評価規準

関心・意欲・態度	思考・判断	観察・実験の技能・表現	知識・理解
熱現象や気体の性質に関心や興味をもち、意欲的にそれらを探求しようとしている。	熱現象の中に課題を見だし、それについて科学的・論理的に観察し、判断することができる。	熱現象に関する観察・実験の技能を習得している。また、そこから導き出した自らの考えを的確に表現することができる。	熱や気体に関する基本的な概念を身に付け、熱力学や気体に関する法則を理解している。

(3) 指導と評価の計画

時	学習内容	指導内容	評価規準 【評価の観点】	評価方法
1 (本時)	・実験を通して熱がエネルギーの移動の一形態であることを学ぶ。	・カロリック説を説明し、ランフォードの実験を簡易な形で再現した実験から、その矛盾点を考えさせる。	熱とは何かということに興味をもち、意欲的に観察しようとしている。 【関心・意欲・態度】 実験結果の原因を類推することができる。 【思考・判断】 安全に配慮して実験の操作を正しく行い、そこから正確な結果を得ることができる。 【観察・実験の技能・表現】	ワークシート 実験への取組状況 ワークシート
2	・各自作成した試料でブラウン運動を観察し、温度の高低の差が分子の熱運動の違いによるものであることを理解する。 ・熱容量・比熱等の概念を学び、熱を量的に扱えるようになる。 ・仕事と熱の関係を知り、熱力学の第1法則を理解する。	・ブラウン運動の観察から温度の高低の差とは何かを考えさせる。 ・前時の内容を踏まえ、熱と温度の概念を整理する。 ・カロリック説が基になっている熱容量等を使った熱の出入りの考え方を理解させる。 ・その後の新しい「熱」の概念を基にした「熱力学」にエネルギー保存則がどのように当てはめられるのか考えさせる。	正確な操作を行い、ブラウン運動を観察し、その結果を的確に表現することができる。 【観察・実験の技能・表現】 比熱など熱に関する基本的な概念を理解している。 【知識・理解】 熱現象をエネルギー保存則を基に考え、説明できる。 【思考・判断】	ワークシート テスト 提出物 テスト

3	・気体の法則について学び、気体の体積・圧力・温度の関係を理解する。	・気体の法則に関する知識を身に付けさせ、気体の体積・圧力・温度の関係を理解させる。	気体の性質に興味をもち、気体の各法則を使って論理的に考えようとする。 【関心・意欲・態度】 気体の法則について理解している。 【知識・理解】	提出物 テスト
4	・熱力学の第1法則と気体の法則によって様々な条件の下での気体の状態変化について考察する。 ・第1法則以外の熱力学の法則について学ぶ。	・熱力学の第1法則と気体の法則から、様々な条件の下での気体の状態変化についてどのような説明ができるかを考えさせる。 ・第1法則以外の熱力学の法則について説明する。	熱力学第1法則を使って気体の状態変化について考察し、説明できる。 【思考・判断】 第1法則以外の熱力学の法則について理解している。 【知識・理解】	提出物 テスト テスト

(4) 観点別評価について

指導と評価の計画に記載した評価規準の一部について、「十分満足できる」状況(A)と判断した具体的状況例と、「努力を要する」状況(C)と評価した生徒への手だてを記載した。評価規準の(時)は指導と評価の計画にある「時」とした。

【関心・意欲・態度】

学習活動における具体的評価規準(1時)	熱とは何かということに興味をもち、意欲的に観察しようとしている。
「十分満足できる」状況(A)と判断した具体的状況例	熱とは何かということに興味をもち、実験の様々な現象を意欲的に観察している。
「努力を要する」状況(C)と評価した生徒への手だて	実験の目的などを分かりやすく説明し、再度の取組を促す。

【思考・判断】

学習活動における具体的評価規準(1時)	実験結果の原因を類推することができる。
「十分満足できる」状況(A)と判断した具体的状況例	実験において科学的に現象をとらえ、その原因を正しく推論することができる。
「努力を要する」状況(C)と評価した生徒への手だて	実験結果の比較の視点などを例示して思考を促す。

【観察・実験の技能・表現】

学習活動における具体的評価規準(1時)	安全に配慮して実験の操作を正しく行い、そこから正確な結果を得ることができる。
「十分満足できる」状況(A)と判断した具体的状況例	実験の趣旨を十分に理解し、正確な結果を得るための実験の工夫をしている。
「努力を要する」状況(C)と評価した生徒への手だて	正しい実験操作について説明し、再度の取組を促す。

【知識・理解】

学習活動における具体の評価規準（2 時）	比熱など熱に関する基本的な概念を理解している。
「十分満足できる」状況（A）と判断した具体的状況例	熱に関する基本的な概念を理解し、比熱・熱容量等を使った熱量の計算に関する知識を身に付けている。
「努力を要する」状況（C）と評価した生徒への手だて	既に行った実験内容と関連付けて説明し、基本的な概念・法則の理解を促す。

10 本時の展開（単元の1時間目）

(1) 本時の目標

エネルギー及び仕事に関する知識を使って、実験・観察の結果から「熱とは何か」ということについて考察する。その過程を通して科学的に思考することを学ぶ。

(2) 本時の指導過程

過程	学習活動	指導内容	指導上の留意点	評価規準【評価観点】（評価方法）
導入 0～10分 (10分)	・「熱」についてイメージしながら、授業の流れとねらいを理解する。	・「熱」について幾つか簡単な質問をしながら本時の流れとねらいを説明する。		
展開 10～30分 (20分)	・カロリック説の内容について説明を聞きながらまとめる。熱による体積の膨張などの現象がカロリック説によってどのように説明されるのかを各自で考える。	・17～18世紀のヨーロッパで一般に信じられていたカロリック説の内容について説明する。熱による体積の膨張などの現象を例示し、それらがカロリック説によってどのように説明されるのかを考えさせる。	・カロリック説について簡単にまとめられるプリントを配付する。その中にカロリック説で説明する現象の例も示す。	熱とは何かということに興味をもち、意欲的に観察しようとしている。 【関心・意欲・態度】 (ワークシート)
展開 30～60分 (30分)	・ランフォードが行った大砲の実験の再現として、各班で空き缶にエタノールを吹き込み燃焼させるとき、紙コップの有無によって缶の温かさに違いがあることを肌で確認する。 ・行った実験について、カロリック説に基づくどのような結果が予想されるかを考える。また、各自がもっている知識を使って、なぜそのような結果になるのかを説明してみる。	・18世紀末、カロリック説を否定した実験のうち、ランフォードが行った大砲の実験について説明する。 ・行った実験について、カロリック説に基づくどのような結果が予想されるかを考えさせる。また、それと違った結果になる理由を考えさせる。	・火を使用するので、危険性を十分に説明し、注意を促す。 ・紙コップの有無で比較が正しくできるよう、条件を同じにすることを説明する。	安全に配慮して実験の操作を正しく行い、そこから正確な結果を得ることができる。 【観察・実験の能・表現】(実験への取組状況、ワークシート) 実験結果の原因を類推することができる。 【思考・判断】 (ワークシート)

<p>展開 60～85分 (25分)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ランフォードが行った砲身旋削の実験の再現として、各班で水の入った銅管をひもでこすり、中の水を沸騰させる。 ・行った実験について、カロリック説に基づくどのような結果が予想されるかを考える。また、それと実験結果の間にどのような矛盾が生じるのかを考える。 ・各自がもっている知識を使って、なぜそのような結果になるのかを説明してみる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ランフォードによる砲身旋削の実験について説明し、各班で再現させる。 ・行った実験について、カロリック説に基づくどのような結果が予想されるかを考えさせる。それと実験結果の間にどのような矛盾が生じるのかを考える。 ・違った結果になる理由を考えさせる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・実験の前に、管の中の水が沸騰したことを知る方法を考えさせる。 	
<p>まとめ 85～90分 (5分)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・カロリック説を否定したランフォードらが「熱」をどのようなものと考えたかについてワークシートに書き込む。 	<ul style="list-style-type: none"> ・カロリックに替わる新たな熱の概念について説明する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ワークシートの残りの部分は、次回の授業で行う実験の後に完成させることを伝える。 	

11 解決を目指した課題の解決の状況

ワークシートの内容を見ると、日ごろ実際の現象を科学的に思考する機会があまりないためか、うまく考えをまとめられない生徒もいたが、与えられたヒントを参考にしたり、他の生徒と相談したりしながら、それぞれがもっている知識を使って考え、何とか説明しようとしている様子が読み取れた。

アンケートの結果からも、ほとんどの生徒が、自分なりに考えることができたと答えていた。

生徒、教員双方がこのような思考力を育てることを目的とした授業に不慣れであり、今回だけの結果には不十分さも残るが、今後別の単元においても継続して取り組んでいくことにより、徐々に成果が得られることが期待できる。

12 授業実践に関する成果と課題

事前の計画についてはおおむね適切であったと思われるが、当日の実践については、教員、生徒とも科学的に思考することを取り入れた授業に慣れていなかったため、教員が必要以上に説明してしまったり、ヒントを出し過ぎてしまったりする傾向があり、生徒も正解を教えてもらうことを期待してしまうところがあった。

設定した課題が知識の活用と思考力の育成であったため、一朝一夕に成果が得られるものではないが、大きな単元ごとに少なくとも1回程度は、「現象を読み取り、科学的に思考し、論理的に説明すること」を目標とした授業を取り入れ、継続的に取り組んでいくことにより、生徒、教員が共に進歩し、成果が得られていくのではないかと考える。

物理 I 実験

「熱」

2年	組	番	氏名	
----	---	---	----	--

1 . 熱素(カロリック)説

アリストテレス以来の 4 元素論では、火は元素のひとつです。18 世紀半ばまでのヨーロッパでは、燃焼は物質に含まれていた燃素(フロングスト)というものが放出される現象と考えられていました。

それを否定したのがラボアジエで、燃焼が物質と酸素との反応であることを発見し、精密な実験の結果、「物質を構成する元素の種類およびそれぞれの元素の量は、化学反応の前後で変化しない。」という質量保存の法則を発見しました。

化学反応に関して、アリストテレス以来の常識を覆し、新しい体系を築いたラボアジエですが、その理論を完結させるために彼は「熱」と「光」を元素のひとつとしています。熱を物質とする考え方自体はそれ以前からありましたが、ラボアジエによって 18 世紀の化学の“常識”となりました。

物理 I の教科書にも載っている熱容量やそれを使って表わされる熱量の授受といった内容は、熱素(カロリック)説によって生まれたものです。

ラボアジエの肖像

アントワーン・ラボアジエ

1743～1794 フランス革命の政治的混乱のなか、ギロチン台の露と消えた大化学者。
最期のときも「斬首後の人に意識はあるか」という実験をしました。

熱素の性質

熱素は一種の()で、熱素粒子は互いに()する。

熱素粒子は、ほかの物体の粒子に引きつけられる。引きつける強さは、()。

熱素は()または()しない。表にあらわれているか隠れているかのどちらかである。

隠れている状態では、固体を液体に、あるいは液体を固体に変えるために物質粒子と化学的に結びついている。

熱素粒子には()がない。

課題 1 次の現象を熱素説で説明する場合、上記①から④の「熱素の性質」うちどの性質で説明できるか。

- (1) 温度が上昇すると気体が膨張する。
- (2) 温度が変化しても物体の質量は変わらない。
- (3) 加熱するとき、金属の温度はすぐ上昇するが、水の温度は上がりにくい。

ベンジャミン・トンプソン 1753～1814 アメリカ

独立前のアメリカ生まれ。独立戦争ではイギリス側のスパイとして働いたが、戦況が不利になり妻子を捨てイギリスに亡命した。イギリスでは火薬の爆発力の研究を行い、科学者としての評価を得る。その後、ドイツに渡り行政官として働きその成果により神聖ローマ帝国からランフォード伯の称号を与えられる。ラボアジエの未亡人と再婚するが、すぐに離婚、人に接する態度は尊大で高圧的、自己中心的な行動が多かったといわれ、伝えられる人物の評価は芳しくないが、熱学の分野では時代に先駆ける発見をし、またイギリスの王立科学研究所の設立に貢献した。その後王立科学研究所はデービー、ファラデー、ヤング、など多くの科学者を輩出した。

ベンジャミン・トンプソンの肖像

2. ベンジャミン・トンプソンの実験 1

ベンジャミン・トンプソンは、大砲で実弾を撃ったときと空砲を撃ったときで砲身の温度の上がり方が異なることに気がつきました。そして、その結果はそれまでの熱素(カロリック)説によって予測されるものとは逆になっていました。

課題2 熱素説のとおり熱が物質(流体)であるなら、実弾を撃つ場合と空砲の場合のどちらが高温になると考えられますか？理由も含めて考えてください。

課題3 (実験で確かめます)

大砲を撃つわけにはいかないので、アルコールを燃焼させて紙コップのロケットを飛ばします。

①350mlの空き缶にエタノールをシュッと一吹き入れます。ロケットでふたをして缶に開けられた穴を指でふさぎながら手のひらで缶を包み込んで暖めます。穴を押さえていた指を離してライターの火を近づけます。火をつけた後の缶の温度を触って感じます。

② 勢いよく飛ぶので、人のいない方向に向けてから火をつけること！

②もう1つの缶に、①と同様にエタノールを吹き入れ、穴にライターを近づけ燃やします。火をつけた後の缶の温度を触って感じます。

③火をつけたあとの缶は①と②のどちらが熱かったでしょうか？

課題4 課題3の結果は熱素説を否定するのですが、それではなぜそのような結果になるのでしょうか？知っている知識を使って説明してみてください。

3 . ベンジャミン・トンプソンの実験 2

ベンジャミン・トンプソンは、大砲の砲身を削り出す際、大量に発生する熱に注目しました。その熱で水を沸騰させ、人々を驚かせました。

課題 5 摩擦で水を沸騰させてみます。銅管に水をいっぱいに入れます。そしてその銅管にロープをかけます。これを一人が押さえ、一人がロープを持ってそのロープで銅管をこすりま

す。
でも、その前にひとつ考えなくてなりません。中身が見えない銅管の中で、水が沸騰したことをどのようにして知ることができるのでしょうか？考えてみてください。

課題 6 水が沸騰したかどうか知る方法がわかったら、次に、自分が知っていることをよく思い出して、短時間で沸騰させるにはどうしたらよいか考えましょう。

それではいよいよロープで銅管をこすって水を沸騰させましょう。手のあいている人は、銅管を観察しながら、沸騰するまでにかかった時間を計ってください。計った結果は下に書いてください。

沸騰するまでにかかった時間は _____ 分 _____ 秒

課題 7 実際にベンジャミン・トンプソンが行った実験では、砲身を削るドリルを回転させるための動力源は人または馬でした。右図のような歯車を使った装置でドリルを回転させ、砲身を削ります。

人または馬が装置を動かし続ける間、際限なく熱は発生し続けます。

また、ドリルの歯をはずして、ただ砲身をこするだけでも砲身は高温に熱せられたそうです。

さて、熱素説でこの現象を説明するためには、熱素がどこから供給されたかを考える必要があります。もしあなたが熱素説の支持者だったら、熱素の供給源はどこだと説明しますか？いくつか候補を挙げてみてください。

実験の図

課題 8 課題 7 で挙げた熱素の供給源について、今度は現代人の立場からそれを否定してみましよう。

課題 9 ひとつだけ、この実験だけではその矛盾を指摘できない熱素の供給源があります。それは为什么呢？もしそれが分かったら、その矛盾を指摘するためにはどんな実験をすればよいかも考えてみてください。

熱素が存在しないなら、「熱」の正体は何でしょう？
ベンジャミン・トンプソンはこのように推論しました。

「装置が回転（ ）すると砲身の温度が上昇する」

「装置の（ ）が砲身に伝えられる事によりその温度が上昇する」

「砲身自体は運動しないので、運動は砲身を構成する金属の（ ）に伝えられている」

「“熱”の本質は、物質を構成する（ ）または（ ）の（ ）である」

4 . 分子運動論の発展

分子の運動が「熱」の本質であるという考え方(分子運動論)は、それまで別々のものと考えられていた「熱」と「運動(力学)」を結びつけ、物理学に「熱力学」という新しい分野を生みだしました。

その後、「熱力学」は 18 世紀後半から始まる産業革命期の熱機関の誕生・発展とも相まって大きな成果をあげました。しかし、輝かしい成功の一方で、分子運動論には解決困難な根本的弱点がありました。それは「**分子(原子)が存在するという証拠がどこにもない**」ということでした。

今や物質が原子からできていることは子どもでも知っていますが、その存在が確かなものとされたのは 20 世紀に入ってからのことでした(今からちょうど 100 年前)。すでに量子力学成立の端緒となるプランクの量子仮説も発表されていたにもかかわらず、20 世紀の初めにはマッハ(音速と比べた速度マッハ数のマッハ)、オストワルト(モルという言葉

アインシュタインの肖像

を始めて使いました)といった有名な科学者の中にも分子(原子)は存在しないと考える人々がいました。

ところで皆さんは**分子(原子)の存在を証明した人がだれだか知っていますか?**

それは有名な 20 世紀の天才アルベルト・アインシュタインでした。1905 年はアインシュタインの奇跡の年と呼ばれます。その年彼は重要な 3 つの論文を発表しました。それは、特殊相対性理論、光量子論、そしてブラウン運動に関するものでした。ノーベル賞の対象となった光量子論や、大変有名な特殊相対性理論に比べると地味な印象のブラウン運動に関する論文、それこそが分子(原子)の存在を証明するものだったのです。

アインシュタインは溶液の分子が熱運動し、粒子に衝突することによりブラウン運動が起こるということを前提に、流体力学の 2 つの法則(流体中の物体が受ける抵抗力に関するストークスの法則、溶質の拡散に関するフィックの法則)と生物で勉強した「浸透圧」に関するファント・ホッフの法則(この法則は化学Ⅱの教科書に載っています)を流用し、数学の確率・統計の手法を用いた若干の計算の結果、 $\overline{v^2} = t \times R T / 3 a N_A$ という「アインシュタインの関係式」と呼ばれる式を導き出しました。

$\overline{v^2}$ はブラウン粒子の平均 2 乗変位と言って、変位(位置の変化)の 2 乗の平均値です(いろいろな方向に動くので、変位をそのまま平均すると ± 0 になってしまう)。t は時間、T は絶対温度です。残りはすべて定数で、R は気体定数、 η は粘性定数、a は粒子の半径、 N_A はアボカドロ定数です。

ブラウン運動

ブラウンの肖像

1827 年イギリスの生物学者ロバート・ブラウンは植物の受精の仕組みを研究していました。いつものように顕微鏡で花粉を観察してい

た彼は、破裂した花粉から出てきた微粒子が妙な動き方をすることを偶然見つけました。はじめ彼はその運動は生殖細胞である花粉が持つ生命の働きによるものだと考えました。

大英博物館の職員であったブラウンは、館内の新旧さまざまな標本から花粉を採取し、観察しました。すると 100 年以上もたった古いものでも同様な現象が見られました。次にブラウンは生殖細胞以外の細胞、石炭などの有機物、さらに各地の土壌、岩石など無機物、はては博物館にあったスフィンクスからとった岩石粉まで調べましたが、あらゆる微粒子が同じように動きました。

こうなってはブラウン運動が生命の働きでなく何か別の要因で起こるものと結論付けるしかありませんでした。それでは何の力によって微粒子は不規則に動くのでしょうか?

アインシュタインの論文の末尾は、「ここに提起された問題は熱理論との関連で重要なものですので近い将来誰かの手によって解決されますように」と結ばれていましたが、それからたった 3 年後の 1908 年にはフランスのペランが樹脂のコロイド粒子を使った詳細な実験を行い、その理論が正しかったことを証明しました。**これにより分子（原子）の存在は、仮説でなく誰にも否定できない事実となったのでした。**

ペランの肖像

ジャン・ペラン

1870～1942 フランス

1926 年ノーベル物理学賞

5 . ブラウン運動

課題 10 (ブラウン運動の観察)

分子（原子）が存在すること。そしてそれが「熱運動」をしていること。それらの証拠となったブラウン運動を観察します。

今日観察するブラウン粒子は牛乳に含まれる脂肪の粒子です。大きさ数 μm 程度のコロイド粒子です。その 1/100 程度の大きさの水分子が熱運動し、衝突することによって脂肪粒子が不規則に動く様子が見えます。（当たり前ですが水分子は顕微鏡では見えません。）

【操作】

試料をピペットで少量取り、ホールスライドガラスに滴下する。

静かにスライドガラスをかぶせる。（気泡が入らないように注意！）

顕微鏡で観察する。（倍率は 倍が見やすい。）

スライドガラスの下側を氷につけて温度が低い状態で観察する。（冷やしすぎるとガラスが曇って見えません。）

次にスライドガラスの下側をガスマッチで少し熱して、温度が高い状態で観察する。（加熱しすぎると沸騰してしまいます。）

温度によってブラウン運動にどのような違いがありましたか？

脂肪粒子のブラウン運動はどのようなものでしたか？あなたが見たブラウン運動のイメージを図示してください。

6. さいごに

今日においては、「熱」はエネルギーの移動のひとつの形態とされています（「仕事」と同じ位置づけ）。また、分子(原子)サイズのマクロのレベルで見れば、「熱」によるエネルギーの移動は、分子(原子)の力学的エネルギーが分子(原子)どうしが互いに引き合ったり押し合ったりする力によって伝わっていく、ということになるので、結局のところは「仕事」と同じとも言えるのです。

課題 11 最後に、次に書かれている熱に関する二つの現象を、「分子運動論」の立場から説明してみましょう。

(1) 温度が上昇すると気体は膨張する。

(2) 温度が高い物体と低い物体を接しておく、高温の物体の温度は下がり低温の物体の温度が上がる。(熱の伝導)

参考文献 『物理学 One Point 6 温度と熱』(共立出版)松平 升著
『物理学 One Point 27 ブラウン運動』(共立出版)米沢 富美子著