

物理との関連をふまえた化学の教育課程とその実践

中原吉晴
倉庸康

① はじめに

本校では、昭和48年度に続き、昭和50年度に、再度、理科の教育課程の改訂（次頁別表参照）を行なった。

昭和48年の改訂は、学習指導要領の改訂に伴うもので、昭和50年度からの改訂は新課程を実施してみた経験にもとづき、物理と化学との関連を考慮し、これを教育課程の中で構造化するため改訂したものである。

今回の改訂の主な点をあげると、次のとおりである。

〈物理〉

- (1) まず、1年生から物理Ⅰの学習を初める。
- (2) 物理Ⅰの単位数は、1年2年各2単位ずつ、計4単位とし、3年の物理Ⅱの単位を3単位、物理Ⅰ、Ⅱの合計を7単位とした。

その、主なねらいは、次のとおりである。

- (1) 新課程の物理Ⅰ、Ⅱの構成上、物理Ⅱの内容を若干物理Ⅰへ組みこみ、2年間に亘る物理Ⅰの長期学習を計る。
- (2) 物理Ⅰ、Ⅱと、化学Ⅰ、Ⅱとの関連をふまえ、正確な物理的知識や概念を、あらかじめ、習得させておくことが望ましいと考えられるため、化学に先立ち、1年生から物理Ⅰの学習を始めることにした。

今度の改訂の問題点として、次の項目に対する実践的検討が必要であると考えられる。

- (1) (予備知識) 特に、数学的準備(三角関数など)が十分でないことに対する配慮。
- (2) (理解度) 抽象的な物理概念を1年生に学習させることへの是非。

〈化学〉

- (1) まず、2年生で化学Ⅰの3単位を必修とする。
 - (2) 理系の3年生は、化学Ⅱの3単位を学習する。
- その、主なねらいは、次のとおりである。
- (1) 新しい化学Ⅰ、Ⅱでは、旧化学A、Bと比較して、教材の内容とその展開がより、物性的となり、探究の過程が重視されている。また、化学の学習を貫く中核概念として、「粒子性とエネルギー」がとりあげられている。このことは、端的に言って、化学教材の理解のために物理的知識、概念をより必要とすることになる。
 - (2) 物理学習の先行は、単に化学的教材内容の理解を助けるだけでなく、逆に物理的教材内容に化学的物質を具体的に適用させ、関連学習の効果が深められると期待されること。

改訂による化学教材の展開にさいしては、次の点に留意した。

- (1) 大単元の展開では、1.物質の構成 → 2.物質の状態 → 3.物質の構造 → 4.物質の反応と

し、学習を貫く中心概念を「粒子性とエネルギー」とする。

(2) 物理Ⅰにおける学習の内容(とくに、エネルギー、熱と分子運動、電界など)が、化学Ⅰにおける初期教材の配列とよくかみあうように留意する。

教育課程表

教科	科目	標準 単位数	48, 49年度入学者					50年度以降入学者					
			1年	2年	3年		計	1年	2年	3年		計	
					文	理				文	理		
国語	現代国語	7	3	2	2	2		2	2	3	3		
	古典Ⅰ乙	5	3	3			16	3	3			16	
	古典Ⅱ	3			3	3				3	3		
社会	論理・社会	2		2			文 理 17 12		2			文 理 17 12	
	政治・経済	2		2					2				
	日本史	3			5	} 5				5	} 5		
	世界史	3			5					5			
	地理A	3											
	地理B	3	3					3					
数学	数学Ⅰ	6	6				文 理 17 18	6				文 理 17 18	
	数学ⅡB	5		6					6				
	数学Ⅲ	5			5	6				5	6		
理科	物理Ⅰ	3		3			文 理 9 16	2	2			文 理 10 16	
	物理Ⅱ	3				4					3		
	化学Ⅰ	3		3					3				
	化学Ⅱ	3				3					3		
	生物Ⅰ	3	3					3					
	生物Ⅱ	3											
	地学Ⅰ	3											
	地学Ⅱ	3											
保健 体育	体育	男女 11(7)	男女 4(2)	男女 4(2)	3	3	男女 11(7)	男女 4(2)	男女 4(2)	3	3	男女 11(7)	
	保健	2	1	1			2		1			2	
芸術	音 音Ⅰ	2	} 選 3				3	} 選 2	} 選 1			3	
	美術Ⅰ	2											
	書道Ⅰ	2											
外国語	英語B	15	6	6	7	6	文 理 19 18	6	6	6	6	18	
家庭	家庭一般	女 (4)	女 (2)	女 (2)			女 (4)					女 (4)	
特別教育活動	ホームルーム クラブ活動	6	2	2	2	2	6	2	2	2	2	6	
	計		34	34	32	34	文 理 100 102	34	34	32	34	文 理 100 102	

備考 ()は女子の単位数を示す

② 本校における化学教材構成の基本的態度

(1) 科学教育のねらいと、教科化学の性格

科学教育のねらいは、情報（実験、観察、資料など）を根底とする論理的思考力と創造性の開発で、この基本目標は、他の理科教科、学年を問わず、普遍的なものと考えられる。

ただ、教科別の性格、あるいは生徒の素質、年齢差により教材内容の質と量、また、その指導の方法に差を生ずるが、この場合、指導にさいして用いる「化学的…、物理的…」という表現の中には、物理、化学など、その教科の特性や性格をふまえたうえでの「科学的」な見方や考え方が含まれているとみなすことができる。

たとえば、教科としての化学は、物質を素材とし、その性質や変化を探究する分野の科学といえよう。

このように、物質を素材として、科学的なねらいを育成するには、まず、学習素材としての物質自体のきりこみをどのような視点からスポットし、また、その探究の過程を通じて、問題解決の鍵となる中心概念を何にするか……が問題となる。

(2) 化学の学習をつらぬく中心概念はなにか

どんな教科でも、何（教材内容）を、どのように（学習指導法）展開するかが、現場教育のテーマである。

この場合、教科の学習をどんな立場（視点）から捉えていくか……で、教材内容の構成や、学習指導の形態も、かなり異質のものとなる。

化学教育の場合でも、まず、化学教育のねらいとは何か……という再認識を出発点とし、科学と教科化学との関連性、化学の学習をつらぬく中心概念、さらに学習教材への視点など、ねらいに即した学習内容と指導の形態とが解明されなければならない。

まず、中心概念について考えてみよう。

物質（気体、液体、固体）は、すべて粒子（原子、分子、イオン、電子）で構成され、その集合状態（あるいは構造）と性質とは互に関連性があり、また、化学（あるいは状態）変化には、必ずエネルギーの移動がともなう。

それゆえ、物質の構造（構成）、性質、変化を探究する化学では、学習をつらぬく中心概念として、「粒子性とエネルギー」とがあげられよう。

この「粒子性とエネルギー」とを中心概念にとりあげる理由として、これら2つの概念が、物質素材に対する探究の化学的視点、構造、性質、反応を包括できるような広い概念であり、また、現代化学の立場からみても、量子化学における「粒子性⇔エネルギー⇔波動性」という、きわめて重要な概念をも含んでいることがあげられる。

現在、分子構造の決定が、すでに、化学的方法から物理的方法におきかえられており、とくに赤外線分析、マイクロ波分光法、核磁気共鳴法など、物理的方法のみで分子構造を決定しうるような時代となっている。

ただ、化学教育の立場からいって、いずれの方法に重点をおくかは指導者により異なると考えられるが、高校化学の中での分子構造とエネルギー（電磁波）の取り扱いがいっそう重要となることが考えられる。

このように考えると、これからの理科教育では、物理と化学とが互いに教科的性格を生かしつつ、しかも補いあった関連教科としての教材構成を検討する時期にあるといえよう。

③ 本校における物理Ⅰ・Ⅱと化学Ⅰにおける学習計画表

学期	月	1年(物理1-2単位)	2年(物理1-2単位)	2年(化学1-3単位)
1 学 期	4	(1) 序論(学習にそなえて) ア 三角関数(その1) イ 測定値, 有効数値, 省略算, 単位系, 次元	(4) 熱と分子運動 1. 気体分子の運動 ア ボイル・シャルルの法則 イ 気体の分子運動 ウ 熱と仕事 ○実験(熱の仕事当量)	(1) 物質の構成 1. 粒子の概念 ア 原子・分子の科学史 イ 帯電粒子の科学史 2. モルの概念 ア 分子説と分子量・原子量 原子価 イ 化学式量とアボガドロ数 3. 粒子の構成と化学式 ア 分子式・構造式・組成式 イ 化学式の情報と, 反応
	5	○実験(基礎測定) (2) 運動と力 1. 物体の運動 ア 速度, 加速度	エ 内部エネルギー オ 気体の比熱 カ 可逆変化と不可逆変化	(2) 物質の状態 1. 気体の通性 ア 気体の状態方程式 イ 実在の気体 ウ 気体の溶解度 2. 溶液の通性 ア 蒸気圧と相平衡 イ 希はく溶液の理論 3. 物質の三態 ア 三態の粒子モデル イ 三態変化とエネルギー
	6 ・ 7	イ 等加速度運動 ○実験(自由落下運動) ウ 平面運動の速度, 加速度 エ 速度, 加速度の合成, 分解 ○実験(放物運動の解析) オ 放物運動 カ 相対運動	(5) 電界 1. 電界 ア 静電気 イ 静電誘導 ウ クーロンの法則 エ 電界と電位 ○実験(等電位線)	(3) 物質の性質 1. <u>原子の構造</u> ア 有核モデルまでの科学史 イ 微粒子の世界のエネルギー ウ 核構造と原子量 2. <u>化学結合</u> ア 電子の状態と周期律 イ イオン結合・共有結合 ウ 分子の形と極性 3. <u>物質の構造と性質</u>
	9	キ 円運動の速度, 加速度 ク 三角関数(その2) ケ 単振動の速度, 加速度 2. 運動の法則	オ 導体 カ 電気容量 キ 誘導体の性質 ク コンデンサーの接続	

化学 I における教材内容取り扱いの要点, (備考)	3年(物理Ⅱ-3単位)
<p>ねらい 粒子 (static) 概念と, その適用</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 化学的粒子観を探究史的に取り扱う。 <ul style="list-style-type: none"> ア 古代物質観から原子説をへて分子説まで。 イ 物質と電気との関連を帯電粒子の科学史として現象面から取り扱う。 2. 分子説から, モル概念と式量の数値との関連を理解。 <ul style="list-style-type: none"> ア. イ 気体反応の法則と分子説から, 比較量としての式量, 原子価の概念をひきだし, アボガドロ数と結ぶ。 3. モデルをまじえ, 化学式の基礎知識を学習する。 <ul style="list-style-type: none"> ア 酢酸, 食塩などの粒子モデルから導入する。 イ 反応式の基礎的知識と, その取り扱い方を理解する。 	<p>(8) 原子</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 原子の構造 <ul style="list-style-type: none"> ア 光の粒子性, 波動性 イ 原子模型(ボーアモデル) ウ 電子のエネルギー準位 <p>○(実験)スペクトルの観察</p>
<p>ねらい 粒子 (dynamic) 性とエネルギー</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 気体分子の拡散, 圧力から, 熱運動する粒子として, 気体の通性を理解する。 <ul style="list-style-type: none"> イ 実在気体における R のずれから, 気体分子の占有体積, 位置のエネルギーに留意させる。 2. 溶媒粒子のエネルギーと, 温度, 濃度との関連に留意。 <ul style="list-style-type: none"> ア ボルツマン分布則の適用と, ル・シャトリエの法則。 イ これらの理論は, すべて溶質粒子の濃度に比例する。 3. 粒子モデルと, エネルギー(E_pとE_k)との関連を学習する。 <ul style="list-style-type: none"> ア 三態の物理的性質の比較を, モデル, 資料で学習する。 イ 潜熱と分子間力, 熱運動などを物理的観点から捉える。 	<p>(9) 運動とエネルギー</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 固体に働く力 <ul style="list-style-type: none"> ア 力のモーメント イ 固体のつりあい 2. 回転運動 <ul style="list-style-type: none"> ア 中心力と面積速度 イ 回転の波動方程式 ウ 角運動量保存の法則
<p>ねらい 粒子 (構成的) 性とエネルギー, 平衡 (物理的) 概念</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 核構造と電子の状態を科学史の過程の中で学習する。 <ul style="list-style-type: none"> イ 極微の世界のエネルギーが量子的であることを知る。 ウ 同位体と原子量, 質量欠損について軽くふれる。 2. 結合の種類と化合物の立体構造, 極性にふれる。 <ul style="list-style-type: none"> ア 電子エネルギー準位と, 元素の周期律との関係。 イ 閉殻構造, 結合の方向性, 電子式と構造式との関連。 ウ 簡単な分子の形(構造), 量, 極性の三視点を学習する。 3. 化学種の構造⇔エネルギー⇔性質の関連を学習する。 	<p>エ 回転の運動エネルギー</p> <p>(10) 電流</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 電圧と電流 <ul style="list-style-type: none"> ア オームの法則 イ ジュール熱 ウ キルヒホッフの法則 <p>○(実験)オームの法則 ○(実験)ホイートストーンブリッジ ○(実験)電池の起電力</p>
<p>ねらい 粒子 (構成的) 性とエネルギー, 平衡 (物理的) 概念</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 核構造と電子の状態を科学史の過程の中で学習する。 <ul style="list-style-type: none"> イ 極微の世界のエネルギーが量子的であることを知る。 ウ 同位体と原子量, 質量欠損について軽くふれる。 2. 結合の種類と化合物の立体構造, 極性にふれる。 <ul style="list-style-type: none"> ア 電子エネルギー準位と, 元素の周期律との関係。 イ 閉殻構造, 結合の方向性, 電子式と構造式との関連。 ウ 簡単な分子の形(構造), 量, 極性の三視点を学習する。 3. 化学種の構造⇔エネルギー⇔性質の関連を学習する。 	<ol style="list-style-type: none"> 2. 電流と磁界 <ul style="list-style-type: none"> ア 磁界 イ 電流が作る磁界 <p>○(実験)直線電流が作る磁界 ウ 電流が磁界から受ける力</p>

学期	月	1年(物理1-2単位)	2年(物理1-2単位)	2年(化学1-3単位)
II 学 期		ア 作用, 反作用の法則 イ 力のつりあい ウ まきつ力	ケ コンデンサーのエネルギー ○実験(コンデンサーの放電曲線)	ア 結晶(金属, 塩, 分子性)の構造と物理的性質 イ 溶解の機構, 溶解度 ウ コロイドの化学
	10	エ 運動の第1法則 オ 運動の第2法則 ○(実験)運動の第2法則 カ 等加速度運動と力	(6) 波動 1. 波動 ア 波の性質 イ 横波と縦波 ウ 波の重ね合せの原理 エ 定常波 オ ホイヘンスの原理	(4) 物質の反応 1. <u>化学反応と熱</u> ア 熱化学と反応式 イ 反応熱とエネルギー 2. <u>化学平衡</u> ア 反応速度と化学平衡 イ 化学平衡の移動 3. 酸と塩基の反応 ア 電解質と電離 イ 水素イオン濃度, pH ウ 塩の化学と中和 4. 酸化還元反応 ア 電解の法則と酸化数 イ 電化列と電池 ウ 酸化剤と還元剤 5. 金属の化学 ア 単体, 化合物の性質と電化列
	11 ・ 12	キ 円運動と向心力 ○(実験)円運動 ク 単振動と復元力 ○(実験)バネ振子 ○(実験)単振子 ケ 遠心力, 慣性力 3. 運動量 ア 運動量と力積	カ 回折, 干渉, 反射, 屈折 2. 音波と発音体 ア 音波の性質 イ 発音体と共振 ○(実験)弦の振動 ○(実験)気柱の共鳴 ウ ドップラー効果	イ アルカリ金属 ウ 第3周期の金属 6. 非金属の化学 ア 単体, 化合物の特性 イ ハロゲン元素 ウ 酸素族と窒素族 7. 炭素の化学 ア 炭化水素 イ 官能基の構造と性質 ウ 酸素を含む化合物 エ 窒素を含む化合物 (備考) ~~~~~ の部分は, 化学IIの一部をとり入れる。
III 学 期	1	イ 運動量保存の法則 ○(実験)運動量保存の法則 (3) エネルギー 1. 力学的エネルギー ア 仕事	(7) 原子と原子核(1) 1. 電子と原子の科学史 ア 電気分解の法則 イ 電気素量 2. 原子核 ア 放射能 イ 半減期	
	2 ・ 3	イ 力学的エネルギー保存の法則 ○(実験)バネ振り子のエネルギー保存	ウ 原子核の反応 エ 核エネルギー	

化学 I における教材内容取扱いの要点 (備考)	3 年 (物理 II - 3 単位)
<p>ア 結晶基本三形, 物質の構造と, その性質 (電氣的, 熱的, 力学的) との比較と関連など。</p> <p>イ 物質の構造と溶解のしくみ。固体の溶解度。</p> <p>ウ コロイドの三別, 性質は, 微粒子性と帯電性から学習。</p> <p>ねらい 粒子(構造的)性とエネルギー, 平衡と競合の概念</p> <p>1. 熱力学的観点をふまえて, 反応熱, 平衡概念を学習。</p> <p>ア 熱化学反応式 (定圧反応熱) の基礎的事項を理解する。</p> <p>イ 結合エネルギーと反応熱の種類, ヘスの法則を学習。</p> <p>2. 化学反応のなりたちと速度, 化学平衡とその移動を学習。</p> <p>アとイ 反応生起の条件, 速度を左右する因子, 平衡成立の条件とその移動などを, 粒子性とエネルギー面から探究。</p> <p>3. まず電解質として捉え質量作用の法則をすじとして学習。</p> <p>ア 電解質の強弱, 電離平衡から $[H^+]$, K_w, pH の順に学ぶ。</p> <p>イとウ pH をふまえ, 塩の加水分解, 指示薬の選定, 中和をへたのち, 塩の基礎知識, 塩の化学で学習を終える。</p> <p>4. 酸化還元反応は, 電子授受の競合で行われることの理解。</p> <p>ア まず, KI 溶液の電解, 電解の法則, 酸化数の概念。</p> <p>イ 単極電池と電化列をへて, 主要な電池の機構を学習。</p> <p>ウ 主要な酸化剤, 還元剤の半反応式と, 酸化還元反応。</p> <p>5. 金属とその化合物の特性を, 周期表電化列の面で学習。</p> <p>ア 単体, 酸化物, 水酸化物などの一般的特性を, 電化列の面から比較し, 整理する。</p> <p>イ アルカリ金属の物理化学的特性と周期表との関連を知る。</p> <p>ウ 同周期における金属, 酸化物, 水酸化物などの比較化学。</p> <p>6. 非金属の化学では, とくに分子の構造, 極性に留意する。</p> <p>ア 単体, 水素化合物, 酸化物などの比較化学に重点をおく。</p> <p>イ 同族における単体, 水素化合物における比較比学。</p> <p>ウ 同素体, 水素化合物 (H_2S, NH_3) から酸素酸の比較化学。</p> <p>7. 炭素の化学では, 構造と性質, 主な化合物にふれる。</p> <p>ア 炭素化合物の特性, 鎖式炭化水素, 芳香族炭化水素。</p> <p>イ 官能基の構造と特性 (沸点, 融点, 極性, 水溶性)</p> <p>ウ アルコール, アルデヒド, 脂肪酸, エステル, 石炭酸</p> <p>エ ニトロベンゼン, アニリン, アミノ酸, の基礎的知識 (生物体の化学, 合成高分子化学は, 時配のゆとりに応じて触れたい)</p>	<p>○ (実験) 電磁力</p> <p>○ (実験) 電子の比電荷</p> <p>3. 電磁誘導</p> <p>ア 電磁誘導の法則</p> <p>イ 相互誘導と自己誘導</p> <hr/> <p>4. 交流と電気振動</p> <p>ア 交流回路</p> <p>○ (実験) 交流のインピーダンス</p> <p>イ 共振回路</p> <p>ウ 変圧器</p> <p>エ 電磁波</p> <hr/> <p>オ 電子工学</p> <p>○ (実験) オシロスコープ</p> <p>(1) 波 動</p> <p>1. 光波</p> <p>ア 光の反射, 屈折</p> <p>イ 光の干渉, 回折</p> <p>○ (実験) 回折格子</p> <p>ウ 偏光</p> <hr/> <p>(2) 物理のまとめ</p>

④ 物理と化学との関連について

(1) 第1報に述べたように、今日の化学、生物、地学では物理を応用する面が少なくない。特に新しい化学Ⅰ、Ⅱでは従来の内容と比較して、より物理的であり、この点、科学の基礎科目といえる物理の基盤をしっかりとふまえたうえで、化学を習得することが望ましいと考えられる。

一方、中学校では、一応物理的概念を学習してきたとは言っても、基本概念の1つであるエネルギーでは、なお定性的で、定量的には不十分といえよう。

ところが、新指導要領の化学Ⅰ、Ⅱでは、粒子性(その構造)とエネルギーの概念(力学的、電氣的)、原子構造、化学結合における粒子性と波動性との関連など、かなり物理的知識や概念を必要とする実情にある。

これらをふまえたうえで言えることは、まず、物理と化学とは、密接に連絡をとり、互いに補いあって授業を進めることが望ましいということである。

これらの観点から、本校では、まず、科学の基礎科目である物理を1年生から先行させることにした。この物理Ⅰは前述のごとく1年2年2単位ずつの長期学習による定着化を計るとともに、1年の物理Ⅰでは、数学との関連を考慮したうえで「運動と力」「力学的エネルギー」を、また2年の物理Ⅰの前期では、「熱と分子運動」を経て「電界」に至るなど、2年生から始まる化学Ⅰの初期学習〔1.物質の構成〕→〔2.物質の状態〕の学習にもうまくかみあうように構成したつもりである(別表、理科学習計画表参照)

また、細部に亘る教材構造、精選については、まず、教科ごとに、物理Ⅰ、Ⅱ、化学Ⅰ、Ⅱを検討のうえ、これをもちより、両教科教材内容の重複、補充(第1報参照)を討議してきた。

(2) 実践をかえりみて

改訂による化学Ⅰの学習をはじめてようやく一学期を終えた時点であり、まだ、その是非をまとめるだけの資料はない。しかし、実際の授業を振り返ってみて、初期の目的と照らし合わせ、実感として捉えられているいくつかの点を項目的にあげてみることにする。

1. 概念、単位の把握 従来と比較し、初期の化学学習における化学的な定義、概念の把握が速かで、特に単位に対する習得もスムーズに感じられた。

2. 中心概念の侵透 a) 1年物理Ⅰにおける巨視的な「運動と力」「力学的エネルギー」に加え、2年前期における、微視的な「熱と分子運動」の先行習得は化学Ⅰにおける〔1.物質の構成〕とくに、〈帯電粒子の科学史〉や、〔2.物質の状態〕における〈気体の通性〉、〈溶液の通性〉、〈物質の三態〉の教材内容を貫く「粒子性とエネルギー」の指導を、いっそう容易なものとしてくれた。

b) 物理Ⅰでは「(5)電解」「(6)波動」とし、これを「(7)原子と原子核」に関連させている。この配列は、化学Ⅰにおける〔3.物質の性質〕での電氣的概念の理解、さらに〈酸化・還元反応〉の学習にも、いっそう効果をあらわしてくれるものと考えられる。

(3) 化学Ⅰ、Ⅱの関連について

化学学習計画表(2年化学Ⅰ-3単位)中の~~~~部は、物理Ⅰとの関連のもとで、化学Ⅱの項目から、望ましいと考えられる一部を化学Ⅰに移したものである。なお、物理と化学、化学ⅠとⅡとの関連とその改善は、これからの実践経過の中で積みあげていきたい。

⑤ 化学Ⅰにおける学習内容の検討

改訂指導要領にもとずいた化学Ⅰ、Ⅱについて、その内容、または指導上いろいろの問題点が種々の形で提起されているが、主な2点に要約すると、まず、新化学では理論的な内容の比重が大きくなったことと、次に、化学Ⅱにおける高度な内容が生徒に過重な負担をかけ、同時に不消化な部分を増加させている……ということであろう。

とくに、内容または指導上の問題点を化学Ⅰ、Ⅱの関連として項目的に取りあげてみると、原子の構造、電子の状態（配列、エネルギー）、化学結合、物質の構造と性質、反応速度、反応の方向性、錯化合物などがあげられ、いずれも、その根底に物理的知識や概念を含んでいることがわかる。

本校では、昭和50年度入学者（現2年生）が新教育課程における初めての化学Ⅰの学習群となるわけである。いま、これらの生徒を具体的に授業し終えた時点（1学期末）で、原子構造（有核モデルまでの科学と、微粒子の世界のエネルギー）が、生徒側にどう受けとめられているのかを検討したい。

本年度の発表は、授業開始から4ヶ月にもみたないので十分に検討されておらず、いわば、生のままの実態であることを御了解戴きたい。

(1) 微粒子の世界のエネルギー

a) 調査の目的 極微の粒子はどんな条件のもとで不連続のエネルギー値をとるのか、極微の粒子と電磁波のエネルギー授受の関係をどう捉えているか、光の粒子性と波動性、一次ポテンシャルにおける粒子の運動に物質波を適用したときのエネルギー状態が、与えられている式を適用してどの程度まで把握されているか……を知りたい。

b) 問題の内容

〈問の1〉 極微の粒子が、せまい空間領域で、周期運動をくり返すとき、粒子は、ある決まったとびとびのエネルギー値をもつといわれている。

ア) この場合の極微の粒子を具体的に示せ。イ) どの程度の空間領域をさしているか。

ウ) 極微の粒子の周期運動の具体例を2つあげよ。

〈問の2〉 極微の粒子1コのエネルギーが、ある1つの準位から、他の準位に移るとき、そのエネルギー差(ΔE)に応じて、光（電磁波）を放出したり、吸収する。

$\Delta E = h \times \nu = h \times (c / \lambda)$ ……この場合、1粒子のエネルギー差によって放射、あるいは吸収される光のエネルギーは、1光子によって対応される。

いま、粒子のとりうるエネルギーが、 $E = h \nu \times n$ で表わせるものとして、次のエ)～カ)を答えよ。

エ) $n = 2$ の状態における粒子のエネルギー(E_2)

オ) 粒子が $n = 1$ から $n = 2$ の状態に移るために必要な光(1光子)のエネルギーを記号で選べ。

イ) $n = 3$ ———— $E_3 = 3 h \nu$ a) $h \nu$ b) $2 h \nu$ c) $3 h \nu$ d) $() h \nu$ となる

エ) $n = 2$ ———— $E_2 = (\quad)$ カ) 粒子が $n = 3$ から $n = 1$ の状態におちこむ場合と、

$n = 2$ の状態から $n = 1$ の状態におちこむ場合に放出される電磁波の波長の $\lambda_{3-1} : \lambda_{2-1}$ を整数比で示せ。

〈問の3〉 光の波動性と微粒子性 Einsteinは1905年、光におけるエネルギーと質量との互変関係について $mc^2 = h \nu$ になりたつという概念を提出した。

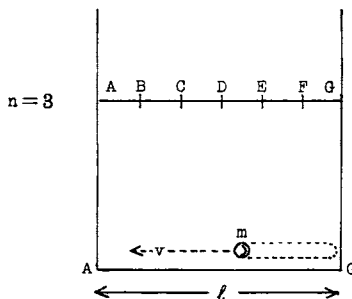
この式を $m_0c = h\nu/c$ とし、右辺の c を $\lambda\nu$ とすると $m_0c = (h/\lambda)\nu$ となる。

つまり、波である光も、運動量 (m_0c) という粒子性を伴うこと意味し、このことは、実験的にも確かめられた。

そこで de Broglie は 1924 年、運動する極微の粒子も波動性を伴うことを予想し、物質波という概念を提出した。

この概念を式で示すには、光速 (c) を、粒子の速度 (v) に変えればよい。すなわち、 $m_0v = (h/\lambda)\nu$ (ケ)
この式を変形すると λ (物質波) = (ケ) となる。

〈問の4〉 微粒子 (m) が限られた長さ (l) の線分上を速さ (v) で周期運動をくり返す(すなわち、エネルギーを失わない) というモデルに、物質波の概念を組みこみ、微粒子のエネルギー状態がどのようなかを考えてみよう。



まず、質量 (m) の粒子が、速度 (v) で運動するときの運動エネルギー (E_k) は次式となる。

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{(m v)^2}{2 m} \dots\dots\dots ①$$

この式①に、〈問の3〉の $m v = (h/\lambda)$ の右辺を組みこむと

$$E_k = \frac{(h/\lambda)^2}{2 m} = (h/\lambda)^2 / (2 m) \dots\dots\dots ②$$

となり、線分 l 上の粒子に物質波 (λ) を介入させた式となる。

さて、線分 l 上でマクロな粒子が並進運動をつづける (エネルギーを失わない) 場合、粒子は $A \sim G$ 区間を、一定のエネルギーで往復し、ある時刻における粒子の位置は明らかに指定できるといえる。

ところが、極微の粒子に物質波、すなわち、波としての性質を与えるとどうなるか。

いま、線分 l 上で、波がエネルギーを失わない (振動をつづける) という事は、線分 l 上に定常波が成立することを意味している。そこで、定常波の波長を λ とすると、 l と λ との間には、次式が成立する。

$$l = n \lambda \quad \text{この式を変形すると} \quad \lambda = l/n \dots\dots\dots ③$$

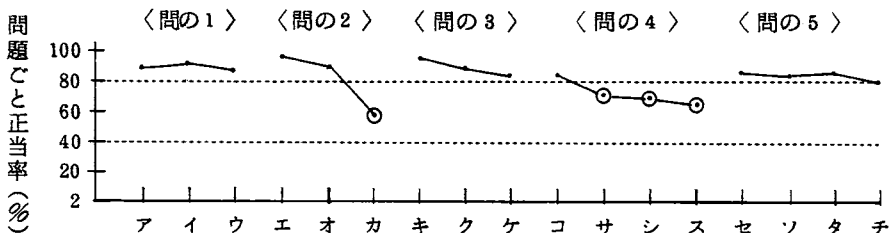
$$\text{この式③を②に組みこむと} \quad E_k = \frac{h^2}{8 m l^2} n^2 \dots\dots\dots ④$$

つまり、この $n=1, 2, 3$ のときの λ が定常波で、この場合、線分 l 上の粒子はエネルギーを失わず、また、不連続のエネルギー値をとっている。

〈問の5〉 セ) 右上図の線分上 ($A \sim G$) に、 $n=3$ の場合の定常波を書き入れ、次の問いに答えよ。

線分 l 上のエネルギー状態を考えてみよう。この場合、節となるのは $A \sim G$ のうち (ソ) の位置で、この部分には波としてのエネルギーの量は (タ) であり、また、粒子の存在確率分布も (チ) となる。

c) 調査の結果と分析



上表は、原子構造（微粒子の世界のエネルギー）の〈問の1〉～〈問の5〉における、小問ごとの正答率（％）をグラフ化したものである。

- これによると、問題全体（17問）の正答率は82（％）であるが、カ）、サ）、シ）、ス）の4問の通過率が、他の小問と比較して低いことがわかる。
- 各小問の内容を、分類別にみると、カ）、サ）、シ）、ス）はいずれも、波長に関するものであり、このうち、カ）は $\lambda = hc / \Delta E$ から、波長の比を求める問いであり、サ）、シ）、ス）では、まず、弦振動における定常波がなりたつ条件として $l = (\lambda / 2) \times n$ を求めたのち、物質波を組みこみ $E_k = (h^2 / 8m l^2) \times n^2$ を算出する問いである。
- 小問カ）の分析、通過率は58（％）、残りの42（％）のうち、32（％）の生徒が(2)：(1)という有為性の誤答を示している。
- 小問サ）の分析、通過率は70（％）、残りの30（％）のうち、21（％）の生徒が、弦振動における定常波を $l = n\lambda$ とみる有為性の誤答を示している。
- 小問シ）の分析、通過率は68（％）、これは、小問サ）を通過した生徒のほぼ全員が正解者となっている。
- 小問ス）の分析、通過率は64（％）、これも、上と同じく、小問サ）を通過した生徒のほぼ90（％）が正解者となっている。

d) 問題点と今後の対応

〈問の1〉の量子条件、〈問の2〉の1粒子1光子のエネルギー授受、〈問の3〉の物質波の適用、〈問の5〉における量子条件のもとでの極微の粒子の存在確率分布は、ほぼ、初期の目的を達成していると考えられる。

ただし、カ）、サ）、シ）、ス）など、波長と振動の関係、定常波のとらえ方など、波について基礎的な事項のところに指導の不徹底さが発見された。それゆえ、次の学習では、まず、弦振動における定常波の成立と、その条件などを観察させ、とくに基礎的事項に留意した指導の徹底を計る研究を継続していきたい。

(2) 原子の構造：電子のエネルギー

1. ラザフォード原子（水素）モデル

a) 調査の目的 ラザフォード原子（水素）モデルにおける電子のエネルギーが、与えられている物理量のもとで、どの程度理解されているのかを知る。

b) 問題の内容

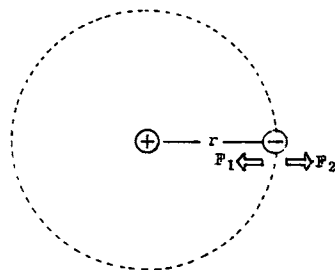
〈問の1〉 陽子から半径 r の円周上を、質量 m の電子が速度 v で等速円運動をしているとき、電子のエネルギーは、次の二つの式から求められる。

まず、電子（ e ：電気量）が、核、すなわち陽子（ e ）に引かれるクーロン引力（ F_1 ）と、円周上での電子（ m ）の遠心力（ F_2 ）は量が等しく、方向は反対である。

$$F_1 = F_2 \quad \dots\dots\dots ①$$

次に電子の全エネルギー（ E ）は、電子の運動エネルギー（ E_k ）と、半径 r の位置における、電子の位置のエネルギー（ E_p ）との和として表わされる。

$$E = E_k + E_p \quad \dots\dots\dots ②$$



- (ア) 上の①式を、下の物理量を用いて示せ。
 (イ) 上の②式の右辺を、下の物理量を用いて示せ。
 (ウ) 上の②式の E_k を、式①を用いて消去すると、電子の全エネルギーを、電子の電氣的エネルギーとして表わすことができる。これを式で示せ。

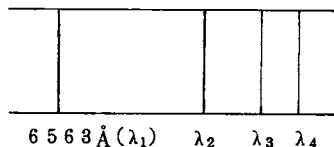
〈物理量〉……… $\frac{mv^2}{r}$ $mv r$ $k \frac{e^2}{r^2}$ $k \frac{e^2}{r}$ $-k \frac{e^2}{r}$ $\frac{h}{mv}$ $\frac{1}{2}mv^2$

- (エ) 帯電粒子が加速度運動をすると、電磁波の形でエネルギーを放出し、帯電粒子はエネルギーを失う。とすれば、ラザフォードの水素原子モデルはどのようになるか、(ウ)の式から考えられることを40字内でまとめてみよ。

2. ボーア原子(水素)モデル

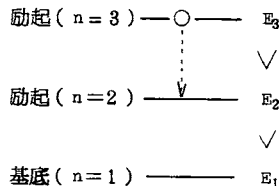
- a) 調査の目的 ボーアモデルの軌道間転移における電子のエネルギー授受と電磁波との関連が、半ば与えられた物理量からどの程度理解されているかを知る。

〈水素原子のスペクトル〉



- b) 問題の内容

ボーアは、水素原子から放出される輝線スペクトル(バルマー系列: 可視光線部)から、水素原子内の電子は、とびとびのエネルギーをもつ軌道が存在し、その軌道上の電子はエネルギーを失わず、高いエネルギー状態から低いエネルギーの状態に転移するとき、輝線スペクトル、すなわち、とびとびの形でエネルギー(電磁波)を放出すると考えた。



この場合、ボーアは $2\pi r m v = n h$ ………③ の軌道上の電子はエネルギーを失わない………と仮定した。

また、 E_3 (高) - E_2 (低) = ΔE (差) = $h\nu$ の形で電磁波のエネルギーが放出され、これが輝線スペクトルとなるとして、バルマー系列におけるスペクトルの数式的な説明に成功した。

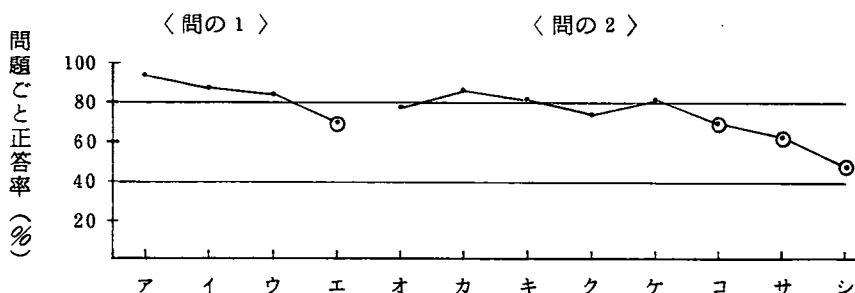
〈問の2〉まず、ボーア原子モデルにおける水素原子の半径 r を求めてみよう。

- (オ) このためには、まず〈問の1〉の①式と、〈問の2〉の③式から v を消去すると、 $r = ()$ の形で表わされる。
 (カ) 上のオ)によると、 $n=1$ 、 $n=2$ 、 $n=3$ の水素原子の半径を r_1 、 r_2 、 r_3 とすれば、その半径の比は、 $r_1 : r_2 : r_3 = () : () : ()$ の整数値となる。
 (キ) また、オ)で得られた半径の式のうち、物理的に定数と考えられるものを1つにまとめ、これを k_r とすると $r = ()$ として表わされる。
 (ク) この、キ)で得られた r を、〈問の1〉のウ)、すなわち、電子の全エネルギーをすべて電子の電氣的エネルギーで表わした式に組みこむと、 $E = ()$ となる。
 (ケ) ク)によると、 $n=1$ 、 $n=2$ 、 $n=3$ における電子の全エネルギーを、それぞれ E_1 、 E_2 、 E_3 とすれば、 $E_1 : E_2 : E_3 = () : () : ()$ の整数値となる。
 (コ) 電子が E_3 から E_2 に転移するときのエネルギー差を $E_3 - E_2 = \Delta E$ とするとき、この放出されるエネルギーを〈問の2〉のク)の形で表わすと、 $\Delta E = ()$ として示される。
 (サ) コ)の場合、放出されるエネルギーは、電磁波の形で $\Delta E = h\nu = h \times (c/\lambda)$ となる。そこで、この式を、上のコ)の右辺と結びつけると $h \times (c/\lambda) = [カ)の右辺]$ 。

この式を変形すると、 $(1/\lambda) = ()$ となる。

- (シ) E_3 から E_2 に電子が転移するとき、放出される波長が 6568 \AA とすると、 E_4 から E_2 に電子が転移するとき、放出される波長は何 \AA となるか。式を対比させさせて答えよ。

c) 調査の結果と分析



上表は、原子の構造（電子のエネルギー）の〈問の1〉、〈問の2〉における小問ごとの正答率（%）をグラフ化したものである。

- これによるが、問題全体（12問）の正答率は78%であるが、エ）、コ）、サ）、シ）の4問が70%を下まわり、とくに、シ）の正答率は47%と低い。
- 小問エ）の分析 通過率は75%、残りの25%のうち、ウ）の誤答者が9%含まれている。従って、16%の生徒はウ）の $-ke^2/2r$ の物理的意味が正しく捉えられていない。
- 小問コ）とサ）の分析 誤答者のうち、ウ）で誤っている15%のすべての生徒がこれに含まれている。それゆえ、ウ）の正解者の80%が正答率をもつことになる。
- 小問シ）の分析 通過率は47%と最も低い。ここでは、式の対比が正しくたてられていて計算の誤りによる生徒が18%、白紙の生徒24%、残りの11%の生徒は、その適用を誤まっている。

d) 問題点と今後の対応

全体12問のうち、カ）、サ）、シ）、ス）の4問を除くと、通過率は、すべて80%を上まわり、ほぼ、初期の目的を達成していると考えられる。

ただし、エ）での核外電子における電気的（位置）のエネルギー、また、コ）、サ）、シ）での、ボーアモデルにおける軌道間転移のさいのエネルギー授受と波長との関連などは、さらに、内容と指導法にいつその改善が要求されることを示している。

それゆえ、次の学習では、エ）における帯電粒子の電気的エネルギー（基準、位置の移動と、正負の量など）の指導の工夫を、また、コ）、サ）、シ）は、内容的にみて力学的、電気的エネルギー、定常波、極微の世界のエネルギーなどすべてが抱括され、物理Ⅰではなお未学習の内容もあるので、これらの点を考慮して、これを補うことができるよう指導法の研究を進めたい。

最後に、微粒子の世界のエネルギーと、原子の構造（電子のエネルギー）への2つ調査内容は、物理Ⅰとの関連学習のもとで、量子的な概念をどの程度定着できるか、その実態を把握するための研究であり、化学Ⅰ、Ⅱのどちらに帰属させるか……を目的としたものでないことを了承して戴きたい。

⑥ 化学との関連を考えた物理の教育課程 (第2報)

(1) はじめに

本校では、前回、本校紀要に発表したとおり、種々の理由により、昭和50年度から、1年生から物理の授業を始めている。始めてから約1年半が過ぎ、実際に実施してみると、授業が予定どおり進まなかったこと、化学との関連をいっそう深めたいことなどの理由から、物理学学習計画表の手なおしをする必要が生じてきた。以下、上記の点について解説していきたい。

(2) 物理学学習計画表について

前回の物理学学習計画表を発表する時点から予想されたことではあったが、物理Ⅱの内容を、物理Ⅰに取り込みすぎたため、物理Ⅰ(1年生・2年生)の内容が、物理Ⅱ(3年生)に比べて、やや過密になり、物理Ⅰの時は、問題演習等も全く学庭学習のみに依存するような現状であったにもかかわらず、予定通り進まなかった。そのためか、消化不良を起したり、問題が解けないから物理がわからないと思う生徒も生じたので、進度を多少なりとも遅らせ、問題演習も授業中に入れる必要性を感じた。

このような点を考慮して、1年生のうちは、学習内容を減らし、問題演習もやりながら、ゆっくりと進めるよう、全般に内容を後へずらせた。その結果、物理Ⅱの内容を多少なりとも物理Ⅰへ取り込み、偏りを防ぐという当初の目的は、多少後退した。それは、2年生のうちに学習する予定であった物理Ⅱの「電流と電圧」を、3年生の物理Ⅱの本来の場所で扱うことにした点である。しかし、物理を順序よく、まとまったものとして学習するのに必要な円運動を物理Ⅰに入れ、それに付随して、遠心力・慣性力も入れたという点、また、熱現象の本質を理解させるためと、化学との関連上極めて重要と思われる気体の分子運動を物理Ⅰに入れたという点は、前回と変ってはいない。

化学との関連で物理Ⅰへ入れたり、順序を変更したりした部分があるが、それらについて、次に述べてみよう。

(3) 化学との関連について

まず、力学の分野であるが、粒子性・エネルギーの概念を物理的に確実に定着させた後、化学の学習を行うため、1年生で、質点の力学を行い、2年生から化学を始めることになっている。

次に熱の分野であるが、物理Ⅰの熱だけでは粒子的な取扱いが極めて不十分で、いろいろな熱現象を、どちらかといえば現象論的にとらえるのみであり、熱の本質にかかわる分子論的な考え方が抜けている。そこで、物理Ⅱの気体の分子運動を2年生の始めにもってきて、物理Ⅰ、Ⅱの熱現象は、すべて2年生の最初で学習してしまうことにした。したがって、圧力、温度などのマクロな現象論的な量と、分子の衝突や、分子1個のエネルギーなどのミクロな量との関係が明らかになり、熱現象の本質がわかりやすいのではないかと考えられる。このように、熱の本質にかかわる基本的な所を物理で学習するかわりに、物理で出てくる具体的な物質の性質、たとえば、実在気体の話、物質の構造、物質の三態などは、化学で主に取り扱ってもらおうよう計画した。

熱現象の次には、普通、波動を学習する計画になっている教科書が多いが、本校では、静電気を取り扱うことにしている。これは、化学で、波動現象より、電気現象を必要とすることが多いためである。この静電気の中で、陽子のまわりを回転する電子の運動方程式

を立てたり、電子のエネルギー（エネルギー準位までは行なわない）を計算したり、ラザフォードの α 線散乱の実験より、原子核の大きさを確定したりしてみたい。それが、すぐ後の化学で、原子構造を考える上での準備になるのではないかと考えている。

熱現象の次に波動をやり、その後に原子・原子核について学習する予定である。ここでは、化学で電気分解を学習した後になるので、電気分解の法則は、電気素量の話とともに、科学史上のできごととして、ラザフォードの有核原子模型に至るまでの電子や原子の科学史の中で、取扱ってみたい。このあと、原子核について学習して、2年生の学習を終了する予定である。

3年生になると、物理は、理系のみ選択となる。ここでは、化学との関連から、なるべく早く、電子や光の粒子性・波動性、ボーアの水素模型について学習しておいたほうが良いと思われるので、2年生の最後に引きつづき、それらのことを学習するようにしたい。ここで、原子・原子核については、すべて学習してしまう予定であるが、光については、まだ学習していない状態なので、3年2学期の終りごろ光について学習した後、原子・原子核について、再度簡単に復習する予定である。

また、学習の順序には関係のないことであるが、物理と化学では、同じ事柄が何度か出てくることがある。たとえば、アボガドロ数、分子量、モル数、気体の重さなどであるが、時々、物理と化学とで使う文字が異なることがある。生徒に無用の神経を使わさないためには、これらの文字を統一したほうがよいと考えられる。そこで、本校では、これらの文字を次のように共通にするつもりである。

力 F ， 仕事 W ， 運動エネルギー E_k ， 位置エネルギー E_p ， 熱 Q ，
仕事当量 J ， 内部エネルギー U ， 比熱 $C(C_p, C_v)$ ， アボガドロ数 N_A ，
分子数 N ， モル数 n ， 分子量 M ， 気体の重さ w ， 密度 ρ ，
振動数 ν ， 波長 λ ， イオン価（電荷） z ， 質量数 A ， 原子番号 Z ，
格子定数 d ， 電位・電圧 V ， 電界 E ， 光速 c ， プランク定数 h ，
速度 v ， 電子の電気量の絶対値 e ，

また、単位系も、次第にSI単位系へと移項させるつもりである。たとえば、熱力学温度、及び、温度間隔〔K〕、周波数〔Hz〕、圧力〔Pa〕、熱量〔J〕、熱容量〔J/K〕、比熱〔J/(Kg·K)〕、密度〔Kg/m³〕などを物理だけでなく、化学の時間も使っていきたい。ただ、当分の間は、熱量に〔cal〕も併用させることになるであろう。

なお、記号と単位を区別するため、単位には上記のように〔 〕をつけて表わすことにしている。

(4) おわりに

以上のことを考慮して、改訂した物理学習予定表を載せておく。

化学との関連は、まだまだ、きめ細かく検討すべき点があるように思う。お気づきの点があれば、ぜひお教え願いたい。