

中等教育研究開発室年報 第35号（2022年3月31日発行）別冊電子版
2021年度 授業実践事例

理科 高等学校第Ⅲ学年

電気と磁気 電流
コンデンサの充放電の特性

授業者 梶山 耕成

（校内研究授業）

広島大学附属中・高等学校

高等学校 理科（物理）学習指導案

指導者 梶山 耕成

日 時 令和3年7月5日（月） 第4限

場 所 第1物理教室

学年・組 高等学校Ⅲ年 選択 37人（男子16人，女子21人）

単 元 電気と磁気 電流

- 目 標
1. コンデンサーを充放電すると e のべき乗の関数として電流が変化する。（知識・技能）
 2. 充放電における電圧（電流）の時間変化を測定することで、コンデンサーに蓄えられる電気量と極板間の電圧は比例関係にあること、 e のべき乗の指数係数から、抵抗 R と電気容量 C を推定することができる。（学びに向かう力，人間性等）
 3. コンデンサーの充放電に関する探究活動を行い、コンデンサーと電流についての理解を深め、物理的に探究する態度と能力を高める。（思考・判断・表現）

指導計画（全5時間）

第一次	電流と自由電子の移動との量的関係	1時間
第二次	電気抵抗と直流回路の性質	2時間
第三次	キルヒホッフの法則とコンデンサーを含む回路	2時間（本時2／2）

授業について

使用教科書では、コンデンサーの充放電と回路を流れる電流の関係について、充放電の過渡的な状態をグラフとして示してはいるが、より詳しい説明はなされていない。その理由は、過渡現象を正確に示すにはコンデンサーを含む回路の電流に関する線形1次微分方程式を求め、これを解く必要があるからで、この内容は高等学校では学習しない。さらにコンデンサーの放電電気量を測定するには、電流-時間グラフにおいて囲まれた面積を求める必要があり、これまではグラフのマス数を数える、書いたグラフ用紙を切り取って質量の比から求めるといった方法しかなく、手間と時間がかかるものであった。

今回、新たに購入したコンピュータ計測装置を用いることで、従来ではできなかった近似曲線を求める、得られたグラフを積分することによって面積を得る、といった操作が可能になった。また、この計測装置は計測データを「その場」(in situ) 計測できるため、得られたデータを即座に処理できる。こうした装置を活用し、これまでできなかったまたは非常に時間がかかるといった問題を解決し新たな指導目標を組み込んで、コンデンサーの充放電に関する実験を計画・実施する。

題 目 コンデンサーの充放電の特性

本時の目標

1. コンデンサーの充放電について興味・関心をもつ。（学びに向かう力，人間性等）
2. コンデンサーの充放電について観察・実験を行い、電気量と電圧との関係、抵抗と電気容量が充放電に与える影響についての理解を深め、物理的に探究する態度と能力を高める。（思考・判断・表現）

本時の評価規準(観点/方法)

1. 観察・実験を通してコンデンサーの性質を理解する。（知識/実験プリントへの記述）

2. 実験結果を分析, 考察することを通して, 理解の深化を図る (思考・判断・表現, 主体的に学習に取り組む態度/グループ学習活動や課題への取り組む姿勢)

本時の学習指導過程

学習内容	学習活動	指導上の留意点・評価
導入 コンデンサー 充放電の説明	コンデンサーの充放電を説明する。	・コンデンサーの放電に関する電圧-時間の関数が $V(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$, で表されるための導出過程を理解することができる。【主体的に取り組む態度】
展開 コンデンサー の充放電に関する 生徒実験	実験の方法やデータ処理の説明をする。 4人一組で実験を行い, 得られたデータを解析する。	・実験の方法を理解し, 得られたデータを適切に処理できる。【知識・技能】 ・可変抵抗を含めた全抵抗 R をテスターで計測し, 電気容量を推測することも伝える。 ・可変抵抗の大きさを変えたとき, 放電曲線にどのような影響を与えるか推測することができる。また, その後実験によって確認させる。【思考・判断・表現】
終結 得られた結果 を物理的に探 究する	得られたデータや根拠に基づいて物理現象を説明する。	・グループ内で話し合いを行い, 理解した内容を他者に伝えることにより, 理解の定着や深化を図ることができる。【思考・判断・表現】 ・得られた結果を物理的に考察する方法に気づかせる。【主体的に取り組む態度】
<p>備考 教科書:「物理 (啓林館)」, Physics with Vernier 4th edition, Vernier, 2019, 24-1 - 24-5I 準備物: 実験用ワークシート, コンデンサー実験用回路(自作)(×10), Go Direct Sensors(Voltage)(Vernier Software & Technology 社製)(×10), iPad mini(×10)</p>		

Experiment

Capacitors

The charge q on a capacitor's plate is proportional to the potential difference V across the capacitor. We express this relationship with

$$V = \frac{q}{C}$$

where C is a proportionality constant known as the *capacitance*. The unit used for capacitance is the farad, F (1 farad = 1 coulomb/volt).

If a capacitor of capacitance C (in farads), initially charged to a potential V_0 (in volts) is connected across a resistor R (in ohms), a time-dependent current will flow according to Ohm's law. This situation is shown by the RC (resistor-capacitor) circuit below when the switch is turning to 'b' point.

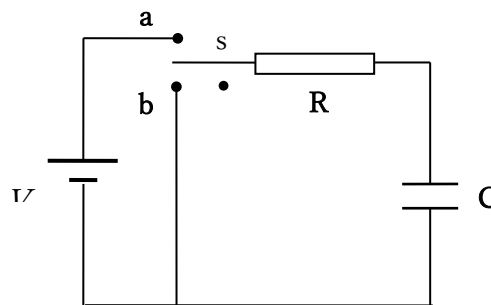


Figure 1

As the charge flows, the charge q on the capacitor is depleted, reducing the potential across the capacitor, which in turn reduces the current. This process creates an exponentially decreasing current, modeled by

$$V(t) = V_0 e^{-t/RC}$$

The rate of the decrease is determined by the product RC , known as the *time constant* of the circuit. A large time constant means that the capacitor will discharge slowly.

In contrast, when the capacitor is charged, the potential across it approaches the final value exponentially, modeled by

$$V(t) = V_0 (1 - e^{-t/RC})$$

The same time constant, RC , describes the rate of charging as well as discharging.

OBJECTIVES

- Experimentally determine the time constant of a resistor-capacitor circuit.

- Compare the time constant to the value predicted from the component values of the resistance and capacitance.
- Measure the potential across a capacitor as a function of time as it discharges.
- Fit an exponential function to the data. One of the fit parameters corresponds to an experimental time constant.


MATERIALS

Mobile device (ipad Mini), Graphical Analysis, Go Direct Voltage sensor
 Connecting wires with clips, Circuit Board with 2200 μF polarized capacitor, 5.6k Ω – 25.6 k Ω resistors, DC power supply, Digital multimeter

PROCEDURE

1. Set up the equipment.
 - a. Connect the circuit as shown in Figure 1.
 - b. Record the values of the resistor and capacitor in your data table, as well as any tolerance values marked on them.
 - c. Launch Graphical Analysis. Connect the Go Direct Voltage Probe to your mobile device.

Connect the clip leads on the voltage probe across the capacitor. **Note:** Connect the red lead to the side of the + terminal, and the black lead to the side of the – terminal respectively.

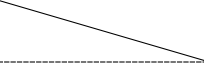

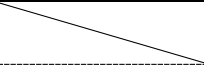

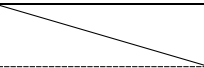

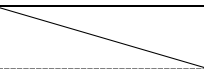

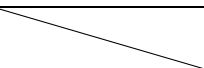

- d. Adjust the DC power supply about 3.0 V. (Use the indicator of the instrument)
2. Set up Graphical Analysis for triggering and data collection. Click or tap Mode to open Data Collection Settings.
 - a. Change Rate to 10 samples/s and End Collection to 60 s.
 3. Collect data.
 - a. Click or tap Collect to start data collection. (Charge and discharge)
 4. Fit the exponential function, $y = a \cdot \exp(-cx) + b$, to your data.
 - a. Click or tap Graph Tools, , and choose Apply Curve Fit.
 - b. Select Natural Exponent as the curve fit and click or tap Apply.
 - c. Record the value of the fit parameters in your data table. Notice that the c used in the curve fit is not the same as the C representing capacitance. Compare the fit equation to the mathematical model for a capacitor discharge proposed in the introduction.

$$V(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

How is fit constant c related to the time constant of the circuit, which was defined in the introduction?

5. Adjust the power supply about 6.0V to 12V and repeat Steps 2–4.

Data Table Resistor () Ω , Capacitor () F
 $y = a * \exp(-cx) + b$

Voltage(V)		a	b	c	V-t integral
3.0	Charge				
	Discharge				
6.0	Charge				
	Discharge				
9.0	Charge				
	Discharge				
12.0	Charge				
	Discharge				
15.0	Charge				
	Discharge				

The graph of Voltage vs. V-t integral

実践上の留意点

1. 研究協議

質問：今回使用した測定機器とそのソフトは、事前に生徒は学習（経験）しているのか。

回答：今回対象とした高校3年生が2年次のときに使用している。ただそれから約1年経過しているので不慣れな生徒が若干名出た。こうした生徒への配慮が必要であった。

質問：指導者は細かく実験手順等を指示せず、生徒の発想等にゆだねる場面が多くあったように見受けられた。その指導法に意図はあるのか。

回答：実験において何を測定し何を明らかにするかを理解していれば、生徒は自ら考えて実験を実施することができると思っている。ただ、今回の授業では指導すべき事柄、例えばテスターを使って抵抗を測定する場面など、新たな機器の取り扱い等は指導する必要があるかと思っている。実験操作について何を指導するか、または生徒に考えさせるかは、生徒のパフォーマンスを観察しつつ適宜判断する必要があることを改めて感じた。

質問：今回、英語による生徒資料を使用したか、その意図や課題等をどのように考えているか。

回答：高校での英語による物理の学習経験が大学等での学習へのかけ橋の一つとなればと考えている。英語に対する忌避感があるとするならば、そうしたマインドが少しでも和らぎ、より広い視野で積極的に学習に向かう態度として定着できればよいのではないだろうか。一方、課題として、英語の学力差が物理学習への理解の差異につながる可能性があり、こうした生徒に対し例えば資料を十分読み込む時間を授業中に確保する等の指導が必要である。

質問（感想）：今回、コンデンサーの充放電を導くために、数学的な知識として微分方程式を扱ったが、実際に得られた関数を微分方程式に当てはめ確かに成り立つことを実際に生徒にさせるなど、丁寧な指導が今回の実験において重要な意味を持つことを改めて確認することができた。

回答：物理現象とその数学的な取り扱いは大変親和性が高いと考えている。今後とも数学との関係性を意識した授業を行うことは重要ではないかと思っている。

2. まとめ

今回使用した新たな計測装置の有効性と課題が明らかになった。有効性としては、これまでには時間の制約や技術的な問題のためにできなかった測定が可能になることで、物理現象に対する気づきや疑問等について考察することができるなど、「深い学び」への新たなアプローチが可能になった。一方、課題として、こうした計測装置への習熟度に差異があるため、個人間、またはグループ間の学習進度や理解の内容に差異が生じやすいことが明らかになった。丁寧なフォローアップ、生徒全体への指導等が重要である。