Q & A

訂正⑦

問題：銅の場合の τ を計算せよ。電子の質量 $m = 9.1 \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}$, n は10^{29}とせよ。

$$\tau = \frac{9.1 \times 10^{-31}}{10^{29} \times (1.6 \times 10^{-19})^2 \times 1.62 \times 10^{-8}} \fallingdotseq 2.2 \times 10^{-14}\,[\mathrm{s}]$$

正：第10回⑫では1.72（教科書第5版では 1.68）

Q: 以前、試験では難しい公式は与えられるとおっしゃっていましたが、どのような公式は覚えた方がいいのでしょうか？

A: まじめに授業を受けていても覚えるのに努力が必要なものは与える予定です。（公開している去年の試験を参考にして下さい）これまでの範囲では、真空の誘電率の値等です。これまでの範囲ではそんなに複雑な公式はなかったと思います。今後の例では、ビオ・サバールの法則等は与える予定です。

Q: 中間試験は過去問と同じような形式ですか？　A: はい。そうです。

Q: レポートは自由研究みたいなやつですか？

A: そうですね。そんな感じです。実験・観察等でもよいし、調べたことでもよいし、内容はかなり自由です。こんなのでもよいかという質問があればどうぞ。（出席票でも）

球電等に関して

・高校の化学の先生が目撃したらしく、話をして下さいました。でもあんまり覚えていません。

・飛行機、ヘリコプター、戦闘機の操縦をする仕事をしているたいていの人は、飛んでいるときによくわからない物を見たことがあるという（関連の仕事をしている父の談）。しかし同時に、それを口に出すことはめったにないという、仕事を辞めさせられるから。

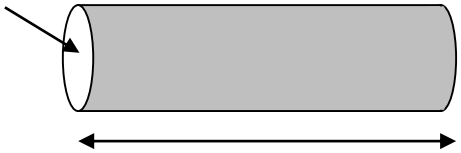
Q: 私の両親はたまに家の中で火の玉を見たと言うのですが、家の中で見れることなのですか？
A: 家の中や飛行機の中での球電の目撃例もあります。

Q: お墓で見られる火の玉（人魂？）については・・・
A: 私は、これについては球電とは別物と考えています。球電は球雷ともいいます。

Q: 雷が電気であることを証明するためにライデン瓶（実物参照）を使い実験した人がいるのは本当ですか。
A: 教科書の２１３ページにベンジャミン・フランクリン（米100ドル札の肖像）の実験が載っています。フランクリンは、ライデン瓶をつかって雷雲が帯電した雲であることを確かめました。

合成抵抗の直感的な理解・イメージ

断面積A [m^2]



長さL [m]

（復習）　$R = \rho \dfrac{L}{A}$

抵抗は長さに比例し、断面積に反比例する

直列接続

同じ抵抗を直列に接続すると、
長さが2倍になるのと同じ
↓
抵抗は2倍になる（大きくなる）。

並列接続

同じ抵抗を並列に接続すると、
断面積が2倍になるのと同じ
↓
抵抗は半分になる（小さくなる）。

キャパシタの合成（復習）

直列接続

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \cdots$$

並列接続

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots$$

抵抗の合成

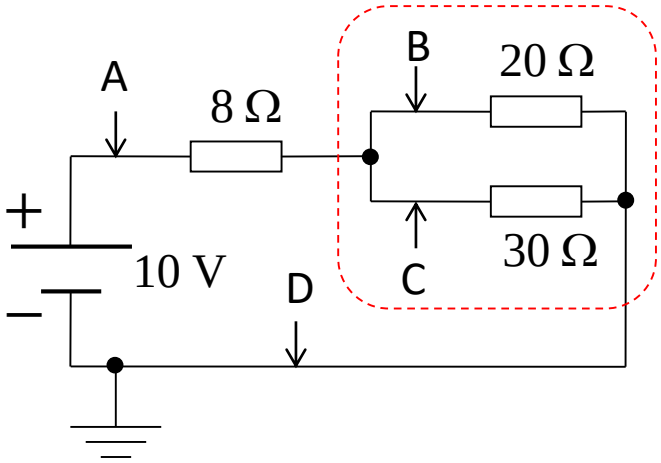
直列接続

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots$$

並列接続

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \cdots$$

問題：下の図の回路の各点の電位と電流を計算せよ。 ⑤



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{3}{60} + \frac{2}{60} = \frac{5}{60} = \frac{1}{12}$$

←この部分の合成抵抗は？ 12 Ω

回路全体の抵抗は？ 20 Ω

	電位	電流
A	① 10V	② 0.5A
B	③ 6V	④ 0.3A
C	③ 6V	④ 0.2A
D	① 0V	② 0.5A

$R = 12 + 8 = 20$

②全体の電流

$V = RI$

$10 = 20I$

$I = 0.5$

8Ωの抵抗にかかる電圧

$V = RI$

$V = 8 \times 0.5 = 4$

③ 10−4 = 6

④ $6 = RI$

キルヒホッフの法則

第１法則
回路の中の任意の接続点に流れ込む電流の和は
その点から流れ出す電流の和に等しい。

例： 右の図で点ｂに流れ込む電流の和は $I_1 + I_2$
点ｂから流れ出す電流はI_3。よって $I_1 + I_2 = I_3$

（電荷は保存するので当然）

当然なので意識して
憶える必要はない。

これまでも
すでに使っている。

例：一つ前のスライド

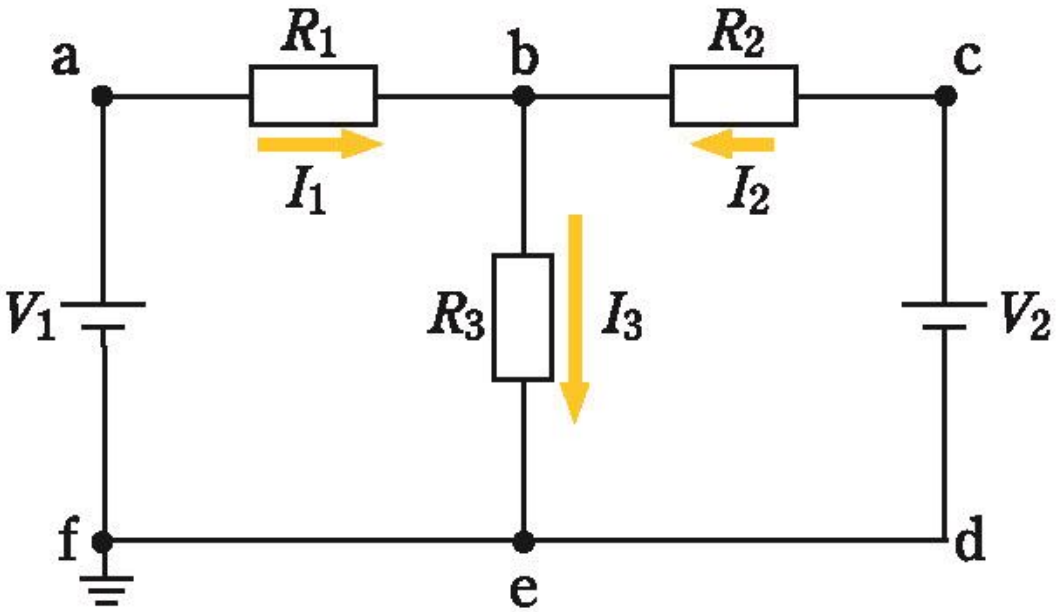


図19.18

第2法則
任意の閉じた道筋に沿って一周するとき、
電源および抵抗による電位の上昇を正、
電位の降下を負の量で表すと、
電位差の総量は常に 0 となる

1周すると同じ点（電位も同じ）に戻るので、
電位差の総量が 0 になるのは当然

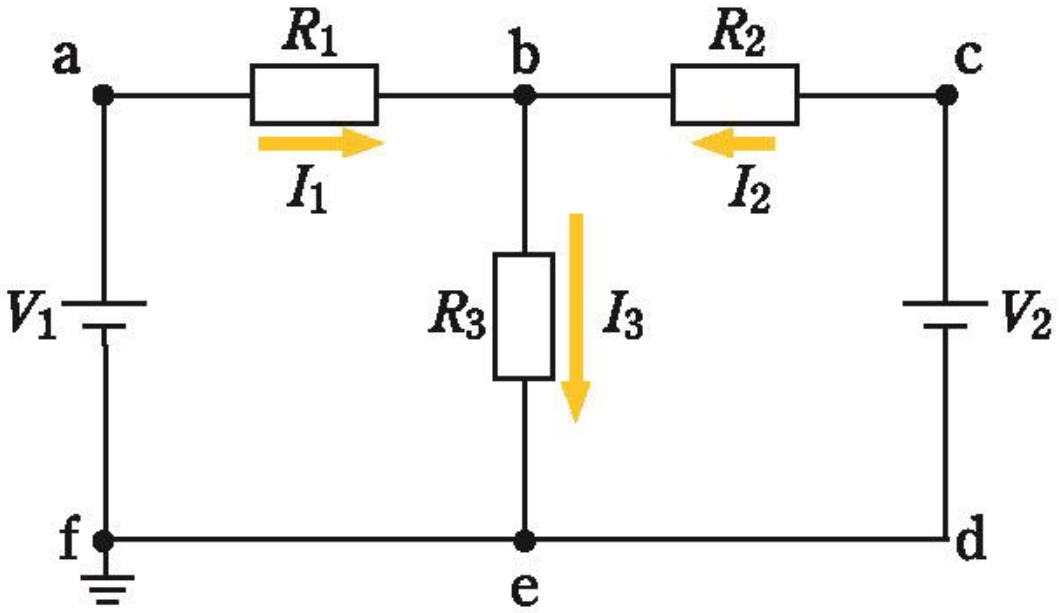


図19.18

例：道筋fabef

f → a ： $+V_1$

a → b ： $-R_1 I_1$

b → e ： $-R_3 I_3$

e → f ： 0

$$V_1 - R_1 I_1 - R_3 I_3 = 0$$

問題：図の道筋 dcbed に第二法則を適用せよ。

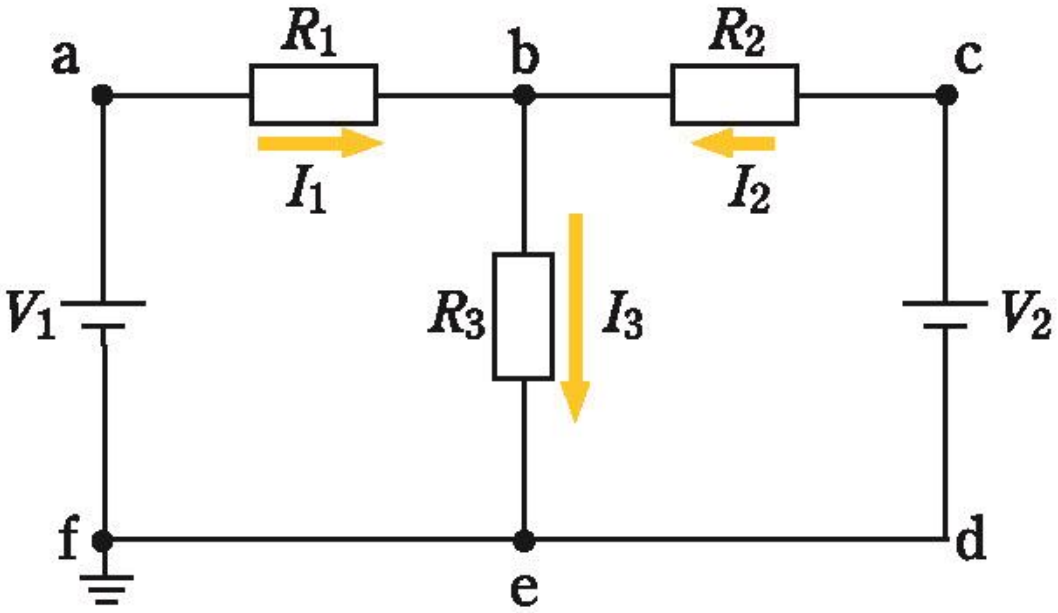


図19.18

d → c : $+V_2$

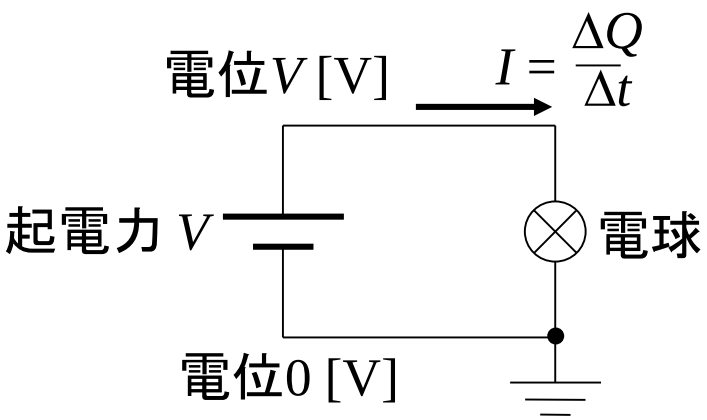
c → b : $-R_2I_2$

b → e : $-R_3I_3$

e → d : 0

$$V_2 - R_2I_2 - R_3I_3 = 0$$

19.4 電流と仕事（p238）



左の回路において、時間 Δt に電荷ΔQ が流れたとすると、その間に起電力 V の電池は、内部で ΔQ の電荷を負極から正極に運んでおり、$\Delta W = V\Delta Q$の仕事をしている。

電池の仕事率（単位時間あたりにする仕事）は、

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{V\Delta Q}{\Delta t} = \frac{I\Delta t V}{\Delta t} = VI \text{ [J/s] [W]}$$

（ワット）

$$P = VI$$

電源が単位時間あたりにする仕事を電源の［ 仕事率，パワー ］という。

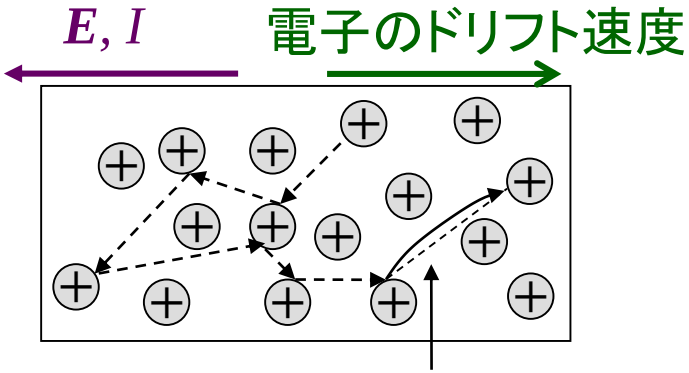
電源のした仕事は、回路を流れる電流が行ういろいろなタイプの仕事になる　⑩

電流の行う仕事率も　$P = VI$

電流の仕事率を　**電力**　という。

ジュール熱　（電流が行う仕事の例）

電池の両端に金属線をつなぐと金属線（有限の電気抵抗を持つ）内に電場が発生し電流が流れ、金属線の温度が上昇する。例：電球、電熱線（ニクロム線）



電子の軌跡は、実際には
放物線を描き加速される。

金属線内に電場が存在すると、
金属線内の自由電子は電気力を受ける。
自由電子の運動エネルギーは
衝突と衝突の間に平均すると大きくなる。
増加した運動エネルギーは、
正イオンとの衝突の際に正イオンの熱運動
に転化し、導線の温度が上昇する。

導線の中で時間 t に発生する熱量 Q は

$$Q = Pt = VIt = RI^2t$$　　単位はジュール[J]

発生する熱を［ジュール熱］という。

電流のする仕事は［電力量］という。（$W = Pt$，単位は J）

電気代など、実生活では電力量の単位として 1キロワット時（記号 kWh）
（1 kW の電力が1時間にする仕事）を使うことが多い。h は hour の h

$$1\ \text{kWh} = 1000\ \text{W} \times 3600\ \text{s} = 3.6 \times 10^6\ \text{J}$$

問題：電気代は 1 kWh あたりいくらか？

14311／636 = 22.5・・・≒ 23円（／kWh）

実験・問題：電池の仕事率、電球の消費電力

①新品にちかいのアルカリ電池（単３×２）の電圧はを測定：　3.16　V

②上の電池で豆電球を点灯させたときに流れる電流と豆電球にかかっている電圧を測定

0.122　A,　2.74　V

③電球のの消費電力はいくらか。

$$P = VI = 2.74 \times 0.122 \fallingdotseq 0.334\ \mathrm{W}$$

④電球が点灯しているときの電池の電圧を測定

3.06　V

⑤電池の仕事率はいくらか。

$$P = VI = 3.06 \times 0.122 \fallingdotseq 0.373\ \mathrm{W}$$

つづき

②で測定した電圧と、④で測定した電圧の差は、電流計での電圧降下である。
⑥電流計での消費電力はいくらか。注意：電流を測定するための電力ではない。

$$P = VI = (3.06 - 2.74) \times 0.122 \fallingdotseq 0.039\ \mathrm{W}$$

⑦電池の内部抵抗を求めよ。

電池の内部抵抗による電圧降下は 0.10 V

$$V = RI$$

$$0.10 = R \times 0.122$$

$$R = 0.82\ \Omega\text{（2本分）}$$

単三電池1本分の内部抵抗は半分の $0.41\ \Omega$

つづき

⑧豆電球を1分間点灯したとき、豆電球で消費される電力量を求めよ。

$$Pt = 0.334 \times 60.0 \fallingdotseq 20.0 \text{ J}$$

この教室の蛍光灯の消費電力は1本あたり＿＿＿＿Wです。

点灯している蛍光灯の数は＿＿＿＿本です。

⑨90分の授業で消費される電力量と電気代を求めよ。

電力 ＝　　[W]×　　[本]＝　　W

電力量＝　　[W]×1.5 [h]＝　　Wh＝　　kWh

電気代＝　　[kWh]×23[円／kWh]＝　　円

シャープペンの芯を用いたジュール熱の実験

黒鉛（炭素）と粘土等からできている（導体）

炭素の融点：3800K
タングステン（電球のフィラメント）の融点：3700K

どちらも温度が高くなって光っても融けにくい。

実験：スライダック（変圧トランス）を使ってシャープペンの芯に電流を流す。

実験では芯は燃え尽きる（酸化する）が、
真空中や不活性ガス中（酸素無）では光り続ける。

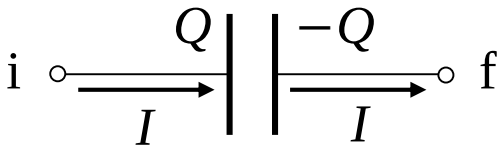
浅田電球製作所製

エジソンが最初につくった電球は炭化させた
京都の竹のフィラメントを用いている。
下の写真は複製したもの。電球にはアルゴン
などの不活性気体が封入してある。

19.5 CR 回路 p239

回路中にあるキャパシターに蓄えられた電荷 Q , 極板間の電位差 V , 電流 I の関係

Q と V の関係： $Q = CV$



（右の図で $Q > 0$ なら充電中、$Q < 0$ なら放電中）

Δt の間に、極板の電荷 Q が ΔQ 変化したとすると

Q と I の関係： $\Delta Q = I\Delta t$

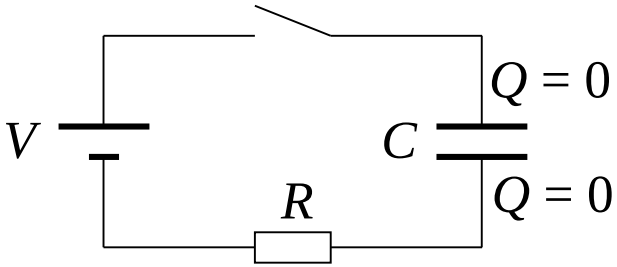
キャパシターを流れる電流： $I = \dfrac{\Delta Q}{\Delta t} = \dfrac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t}$ （電荷 Q の時間変化率が電流）

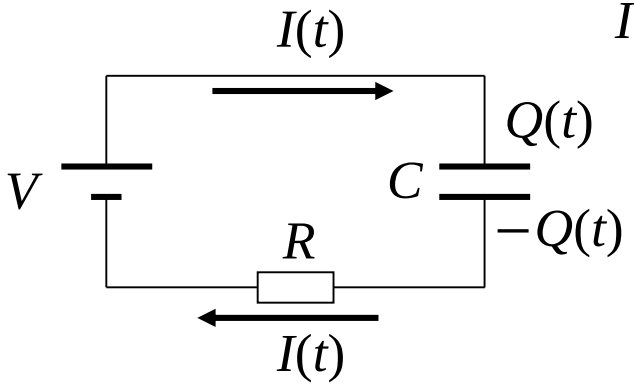
CR 回路

：下の図のような、キャパシター C, 抵抗器 R を含む回路

キャパシターの充電

$t < 0$ $t = 0$ でスイッチオン $t > 0$





$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt}$$

抵抗器の両端の電位差：$RI(t)$ 、キャパシターの極板間の電位差：$\dfrac{Q(t)}{C}$

上の2つの合計が電源の電圧 V に等しい

（キルヒホッフの第2法則で考えてもよい）

$$V = RI(t) + \frac{Q(t)}{C}$$

（つづき）

$$V = RI(t) + \frac{Q(t)}{C}$$ （このままでは解けない）

変数をQに統一： $$V = R\frac{dQ(t)}{dt} + \frac{Q(t)}{C}$$ この微分方程式を解く

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \frac{-1}{CR}\left(Q(t) - CV\right)$$

（注）数学ではないので
微分方程式が
解けるかは
あまり重視しない。

Qを左辺に集め、変数分離型
微分方程式に（C,R,Vは定数）

$$\int \frac{dQ}{Q - CV} = -\int \frac{dt}{CR}$$

$$\ln|Q - CV| = -\frac{t}{CR} + c$$ cは任意定数　　$\ln$：自然対数（底が e ）

負：Q は次第に増加し最終的に CV になる。

$$\ln(CV - Q) = -\frac{t}{CR} + c$$

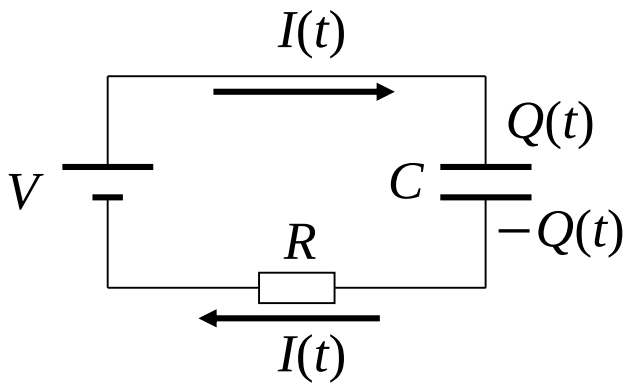
$t = 0$ のとき $Q = 0$ なので $c = \ln(CV)$

$$\ln\left(\frac{CV - Q}{CV}\right) = -\frac{t}{CR}$$

真数に戻すと

$$1 - \frac{Q}{CV} = e^{-t/CR}$$

$$Q = CV(1 - e^{-t/CR})$$



CR回路の時定数：CR

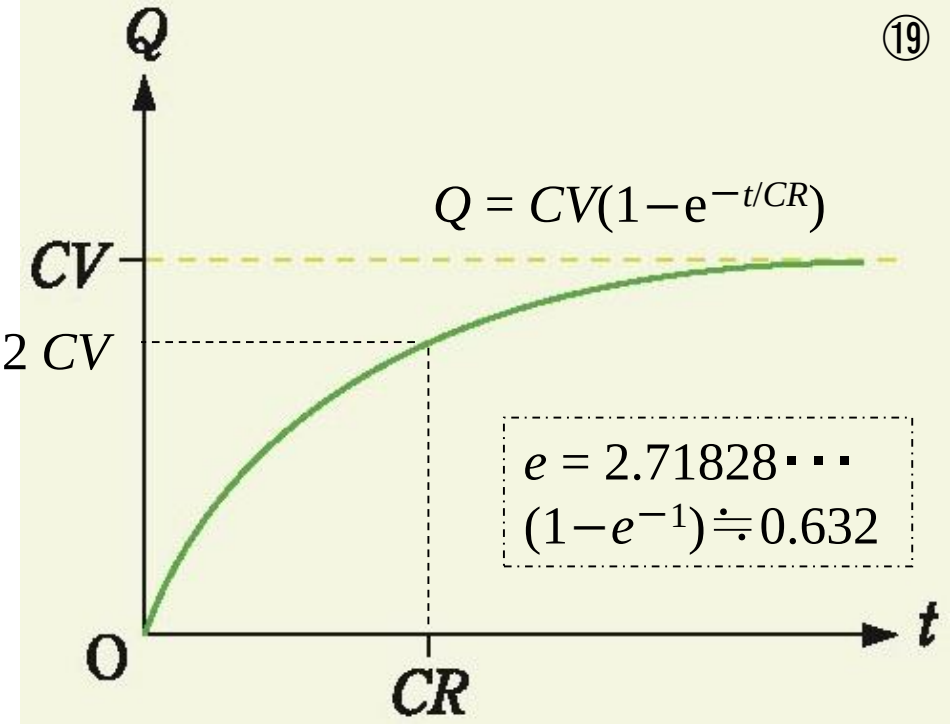
時定数：変化に要する時間の目安

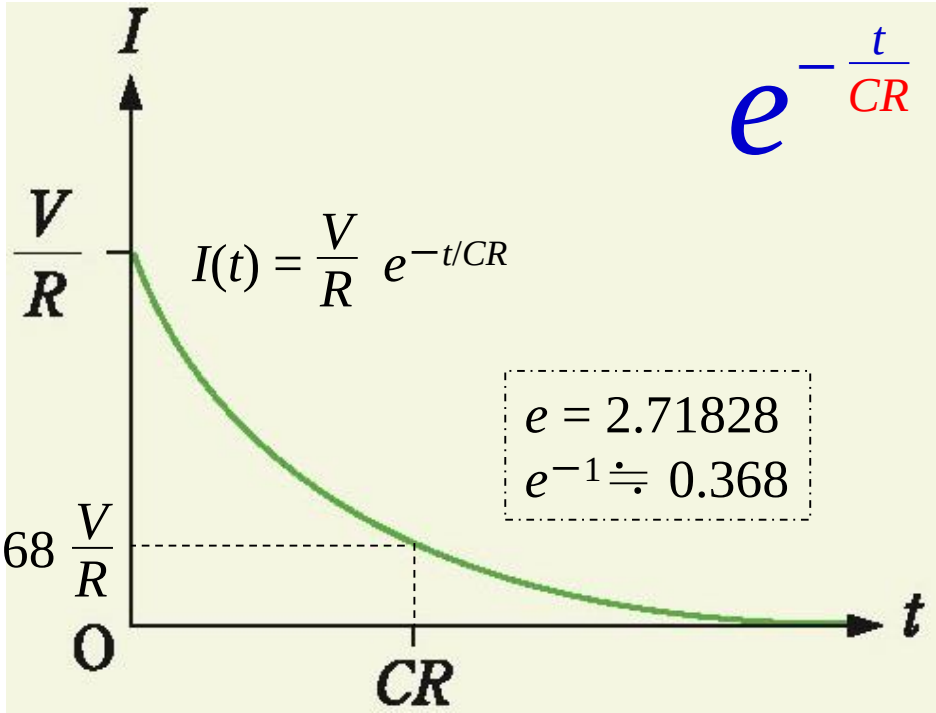
Q を t で微分すると

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}\left(-CVe^{-t/CR}\right) = I(t)$$

$$I(t) = -CV\left(-\frac{1}{CR}\right)e^{-t/CR} = \frac{V}{R}e^{-t/CR}$$

電荷Q の変化も 電流 I の変化も
時定数 CR の時間が経過すると
変化の63% $(1-e^{-1})$が終了し、
残りの変化は37% (e^{-1})である。



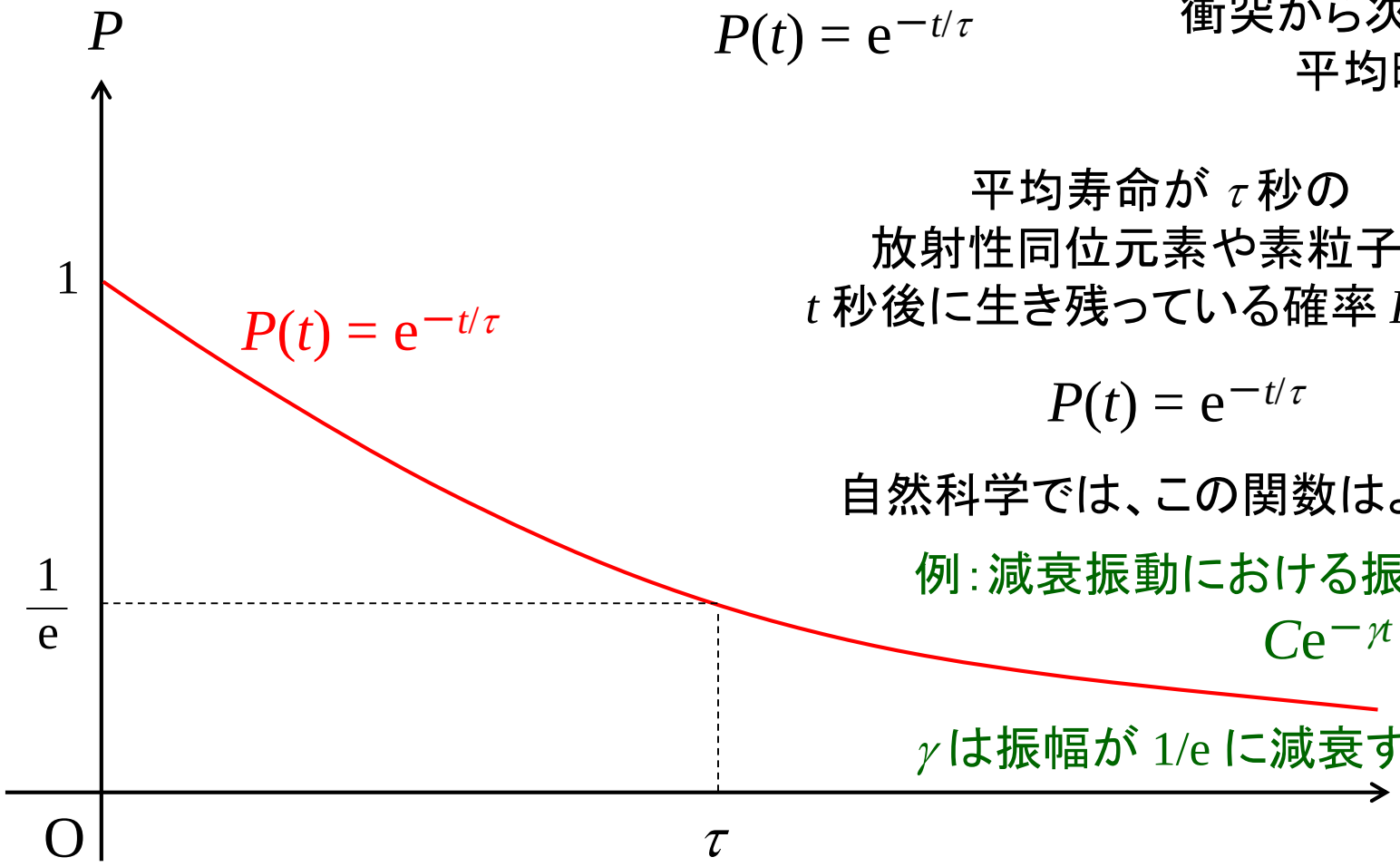


どのような「ランダム」か少しだけ説明すると・・・

導線中の自由電子が衝突したあと、t 秒後に次の衝突をしないで
走り続けている確率 $P(t)$ は

$$P(t) = \mathrm{e}^{-t/\tau}$$

衝突から次の衝突までの
平均時間が τ



平均寿命が τ 秒の
放射性同位元素や素粒子が
t 秒後に生き残っている確率 $P(t)$ も

$$P(t) = \mathrm{e}^{-t/\tau}$$

自然科学では、この関数はよくでてきます。

例：減衰振動における振幅の時間変化

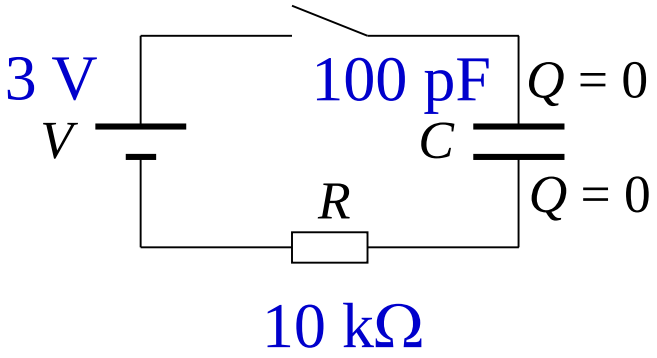
$$C\mathrm{e}^{-\gamma t}$$

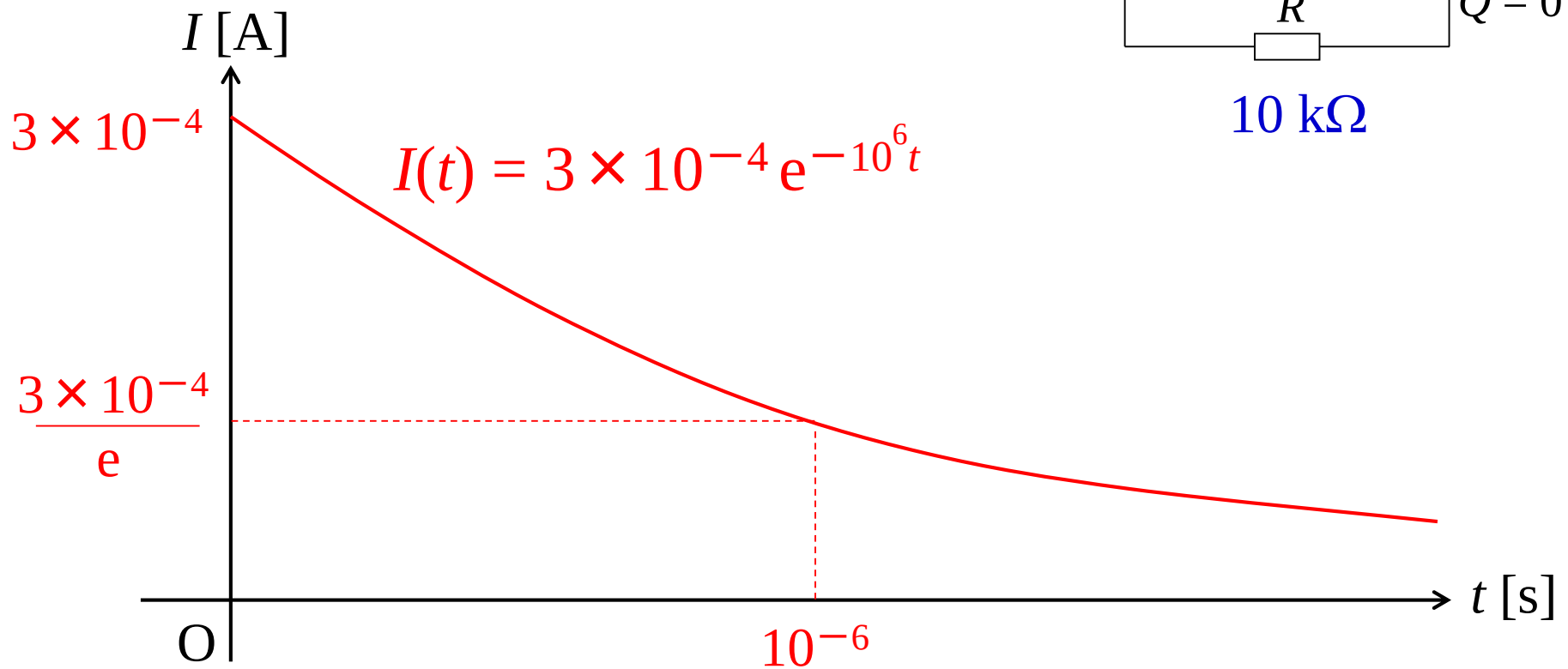
γ は振幅が 1/e に減衰する時間の逆数

教科書p240問7: 100 pF のキャパシターと 10 kΩ の抵抗器で構成された*CR*回路の時定数を求めよ。

$$\text{時定数 } \tau = CR = 100 \times 10^{-12} \times 10^{4} = 10^{-6} \text{ s}$$

問題：右の回路のスイッチを t = 0 で閉じた場合の電流 $I(t)$ のグラフを書け。





ケルビン発電機

実物を準備中、そのうち見せます。
上のように簡単に作れるのですが、持ち運び等も考えると多少たいへんです。
You Tube 等で検索すればたくさん出てきます。

２・目撃経過

球雷を目撃した2006年7月17日12時半頃，付近では発雷が絶えず見られ，落雷の音響もかなり大きくなってきていた．ただし，目撃時には現場（札幌市南区澄川）近くに落雷は無く，風も弱く，雨も降ってはおらず路面は乾いていた．

(1) 目撃者が室内にいると，何もない空間から「ブーン」というブラウン管テレビに電源を入れたときのような音が聞こえた．
(2) その直後，まばゆい光を室内で感じた．
(3) 急いで（１～２分後）庭に出ると，再び何もない空間から「ブーン」という（1）と同様な音が聞こえた（１秒程度)．
(4) 音の聞こえた方を見ると，白く輝く直径約30cm の光球が，地上から約1～2m の高さに浮かんでいた．目撃者と球雷との距離は1m 余り．見た時間は１秒程度であった．
(5)「バチッ」という音とともに，光球の中心に長さ数cm の橙色の火花が走り，黒の筋も見えた
(6) その直後，周囲一体が雷光時のように一瞬輝き，同時に光球は消えたが，目に残像が残らなかった．
(7) 直後に強い雨が降り始めた．
(3）から（6）までの経過時間は全体でも１秒程度と非常に短時間であった．空中に浮いていたが，動く様子は見られなかった．光球の表面はぼんやりとしていたが，グラデーションはなく，透けて先が見えることもなく，かなり輪郭ははっきりしていた．格別臭いはしなかった．目撃直後は屋内に避難し，その後しばらくして発生場所を調べてみたが，明らかにそれと分かる痕跡は残っていなかった．