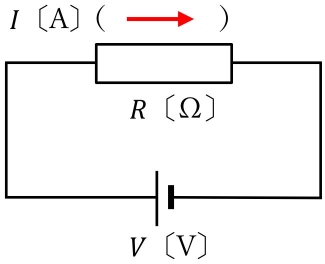
直流回路

【物理基礎】

右図の（　）に電流の流れる向きを矢印で示せ。



● R〔Ω〕の抵抗に，V〔V〕の電池をつないだとき，I〔A〕の電流が流れた。「オームの法則」を書け。

（　$V = RI$　）

問 1　5.0Ωの抵抗に，10V の電池をつないだとき，流れる電流は（　2.0 A　）である。

$$I = \frac{V}{R} = \frac{10\ \mathrm{V}}{5.0\ \Omega} = 2.0\ \mathrm{A}$$

● 抵抗に，V〔V〕の電池をつないだとき，I〔A〕の電流が流れた。このとき，抵抗で消費する電力 P〔（W（ワット））〕は　P ＝（　VI　）となる。

抵抗で消費する電力は，1 秒間に抵抗で発生する熱となる。この熱を（ジュール熱）という。

したがって，t〔s〕間に発生するジュール熱 Q〔J〕は Q ＝（ $Pt = VIt$ ）である。

問 2　**問 1** の抵抗での消費電力は（　20 W　）である。また，この抵抗で 1.0 分間に発生するジュール熱は（　1.2×10^3 J　）である。

$$P = 10\ \mathrm{V} \times 2.0\ \mathrm{A} = 20\ \mathrm{W} \qquad Q = 20\ \mathrm{W} \times 60\ \mathrm{s} = 1.2 \times 10^3\ \mathrm{J}$$

● 図 1 の接続を（　直列接続　）といい，合成抵抗の値は（　5.0 Ω　）となる。

図 2 の接続を（　並列接続　）といい，合成抵抗の値は（　1.2 Ω　）となる。

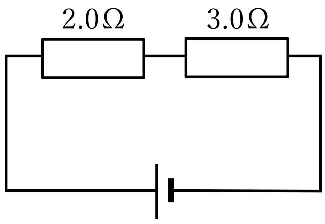


図 1

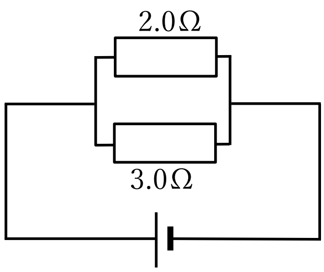
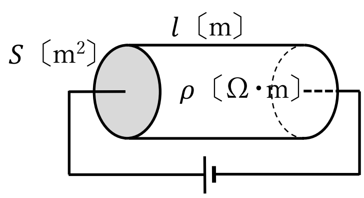


図 2

$$R = R_1 + R_2 = 2.0 + 3.0 = 5.0\ \Omega \qquad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{2.0} + \frac{1}{3.0} \quad \therefore R = 1.2\ \Omega$$

● 抵抗値 R〔Ω〕は，抵抗線の材質の「抵抗率」ρ〔Ω·m〕，抵抗線の「長さ」l〔m〕，「断面積」S〔m²〕で次のように決まる。

R ＝（　$\rho \frac{l}{S}$　）



● 一般の抵抗線は金属でできている。例えば，ニクロム線は，ニッケルとクロムの合金である。

抵抗線中の金属の原子は，数個の電子を放出して陽イオンになっている。放出した電子を（ 自由電子 ）といい，これが移動することによって電流が流れる。また，金属の陽イオンは（ 熱振動 ）しており，これが抵抗となる。したがって抵抗線の温度が上昇すると，熱振動が激しくなり，抵抗値は（ 大き ）くなる。

温度上昇による抵抗値の増加は金属の種類によって異なる。

ある抵抗の 0 ℃のときの抵抗値を R_0〔Ω〕，この抵抗の「抵抗率の温度係数」を α〔1/K〕とする。温度変化による抵抗線の長さや断面積の変化がないとすると，t〔℃〕における抵抗値は次のようになる。

R ＝（ $R_0(1+\alpha t)$ ）

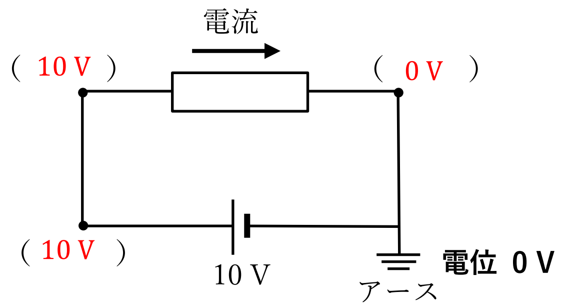
※ この式は物理分野で扱うことになっている。

【注意】問題を解くとき，指示がなければ温度による抵抗値の変化はないものとする。

【物理】

● 起電力と電位降下（電圧降下）

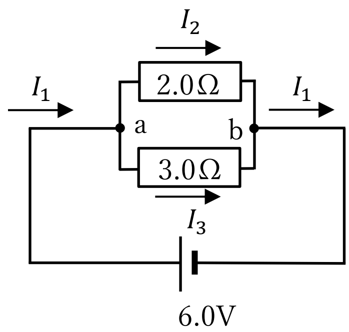
右図の（ ）に電位を記せ。



電池の電圧を（ 起電力 ），抵抗にかかる電圧を（ 電位降下 ）という。

● キルヒホッフの法則

「キルヒホッフの法則」は，回路に流れる電流を求めるため用いる。右図の回路で説明しよう。



① 回路に流れる電流を I_1 ，I_2 ，I_3 とする。

② 分岐点 a で，（流れ込む電流）＝（流れ出る電流）の式を立てる。

（ $I_1 = I_2 + I_3$ ）

※ 分岐点 b でも同じ式になる。

③ 人差し指で「電池→a→2.0Ω→b→電池」となぞり，なぞった部分で（電池の電圧）＝（抵抗にかかる電圧）の式を立てる。抵抗にかかる電圧は，オームの法則を用いる。

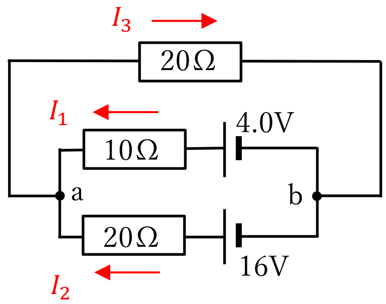
（ $6.0 = 2.0 \times I_2$ ）

同様に，人差し指で「電池→a→3.0Ω→b→電池」となぞり，なぞった部分で式を立てる。

（ $6.0 = 3.0 \times I_3$ ）

これらの式を解くと，I_1 ＝（ 5.0 A ），I_2 ＝（ 3.0 A ），I_3 ＝（ 2.0 A ）となる。

問　右図の回路に流れる電流を求めよ。



①　回路に流れる電流は，分岐点以外で変わることはないので（　3　）種類である。その電流を I_1 ～とおき，図中に流れる向きを矢印で描く。

【重要】実際に流れる向きと逆向きの矢印を描くと，結果が負の値で求まる。最後に答えを書くときに，「最初に仮定した向きと逆向きに○○A 流れる。」とすればよい。

②　分岐点 a に（流れ込む電流）＝（流れ出る電流）の式を立てる。

③　人差し指で「4.0V→10Ω→上の 20Ω→4.0V」となぞり，なぞった部分で（電池の電圧）＝（抵抗にかかる電圧の和）の式を立る。同様に，人差し指で「16V→20Ω→上の 20Ω→16V」となぞり，なぞった部分で式を立てる。

【重要】なぞった向きと逆向きの電池の電圧は負の値にする。①で書いた電流の向きとなぞる向きが逆向きのとき，そこにある抵抗の電圧は負の値にする。

$I_1 + I_2 = I_3$　　　$4.0 = 10\ I_1 + 20\ I_3$　　　$16 = 20\ I_2 + 20\ I_3$

$\therefore\ I_1 = -0.20\ \mathrm{A}$ ，$I_2 = 0.50\ \mathrm{A}$ ，$I_3 = 0.30\ \mathrm{A}$　　※ I_1 は図と逆向きに 0.20 A 流れる。

【注意】人差し指で「4.0V→10Ω→下の 20Ω→16V→4.0V」となぞり，なぞった部分で式を立てると，$4.0 - 6.0 = 10\ I_1 - 20\ I_2$　となるが，これは上の 2 式を辺々引き算したものとなる。

● 電池の原理

銅板と亜鉛板を硫酸に入れると，約 1V の電圧が発生する。これをボルタの電池という。

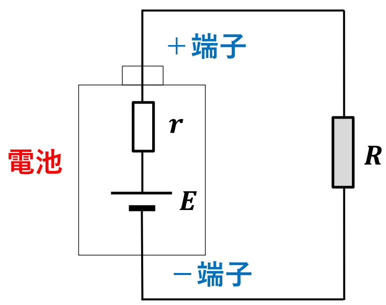
他にもいろいろな電池があるが，原理は化学分野で学習する。物理分野では扱わない。

● 電池の内部抵抗

右図の電池内部に発生した電圧 E〔V〕を（　起電力　），

電池内部にある抵抗 r〔Ω〕を（　内部抵抗　）という。

この電池を抵抗 R〔Ω〕につないだとき，抵抗 R にかかる電圧を電池の（　端子電圧　）という。



問　E ＝3.0 V，r ＝1.0 Ω の電池に，R ＝1.0 Ω の抵抗をつないだときの端子電圧は（　1.5 V　）になる。ところが，R ＝2.0 Ω の抵抗をつなぐと端子電圧は（　2.0 V　）になる。このように，電池の端子電圧は外部につなぐ抵抗の値により変化する。この変化を小さくするためには r の値が（　小さ　）い方がよい。

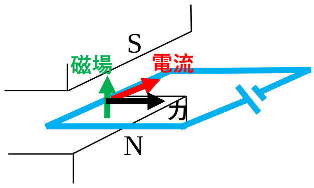
R＝1.0Ω のとき　端子電圧 ＝ $E \times R/(r+R)$ ＝ 1.5 V

R＝2.0Ω のとき　端子電圧 ＝ $E \times R/(r+R)$ ＝ 2.0 V

【注意】問題を解くとき，指示がなければ電池の内部抵抗はないものとする。

● 電流計の原理

電流計の内部には磁石があり，その近くに導線を置き電流を流すと力を受ける。この力の強さが，電流の大きさに比例することを利用して電流の値を測定する。



● 電圧計の原理

電圧計は，実は電流計である。どういうことかというと，測定した電流に電圧計内部の抵抗値をかけると，（抵抗）×（電流）＝（　電圧　）となる。目盛板の表示を，電圧の値に書き換え電圧計とする。

● 電流計と電圧計の内部抵抗

図１で V ＝1.5 V，R ＝10 Ω とすると，抵抗にかかる電圧は（　1.5 V　），抵抗を流れる電流は（　0.15 A　）となる。ところが図２のように，電流計と電圧計を用いて測定してみよう。M はメーターで，流れる電流の値を示す。r_A は電流計の「内部抵抗」，r_V は電圧計の「内部抵抗」である。電圧計はメーターで読み取った電流に r_V をかけた値を表示する。

図１

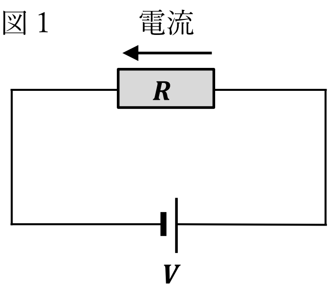
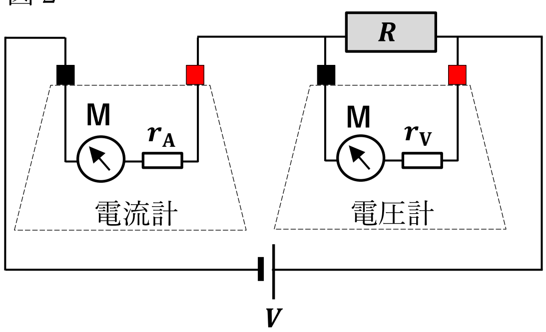


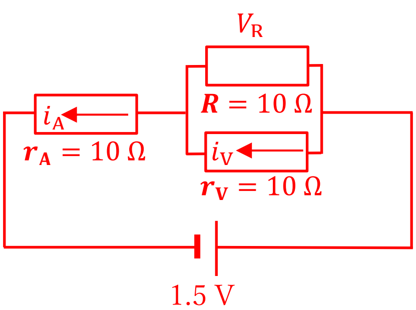
図２



r_A ＝10Ω，r_V ＝10Ω とすると，電流計の示す値は（　0.10 A　），電圧計の示す値は（　0.50 V　）となり，図１の値とかなりずれてしまう。

電流計や電圧計の影響を小さくするためには，電流計の内部抵抗 r_A はできるだけ（　小さ　）い方がよい。また，電圧計の内部抵抗 r_V はできるだけ（　大き　）い方がよい。

r_A ＝1.0 Ω，r_V ＝1000 Ω とすると，電流計の示す値は（　0.14 A　），電圧計の示す値は（　1.4V　）となる。



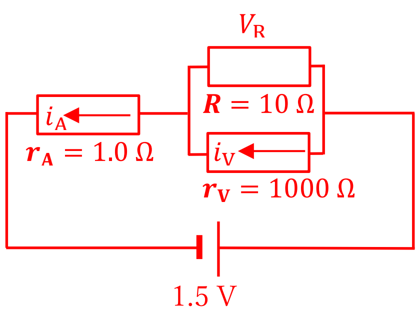
$\boldsymbol{R}$ と $\boldsymbol{r_V}$ の合成抵抗 5Ω

全体の合成抵抗 15Ω

i_A＝1.5/15＝0.10A

i_V＝0.10/2＝0.05A

V_R＝ $r_V i_V$ ＝0.50V



$\boldsymbol{R}$ と $\boldsymbol{r_V}$ の合成抵抗 9.9Ω

全体の合成抵抗 10.9Ω

i_A＝1.5/10.9＝0.14A

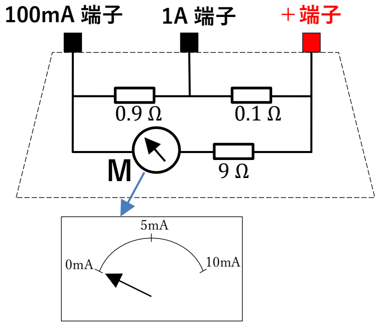
i_V＝0.137×10/1010=0.0135A

V_R＝ $r_V i_V$ ＝1.4V

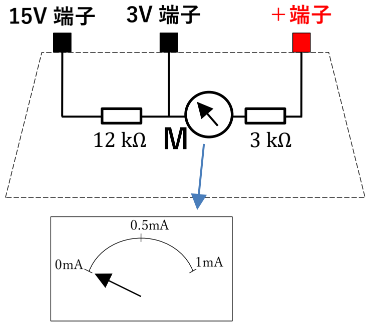
【注意】問題を解くとき，指示がなければ，電流計や電圧計の内部抵抗の影響はないものとする。

● 電流計と電圧計の測定レンジの原理

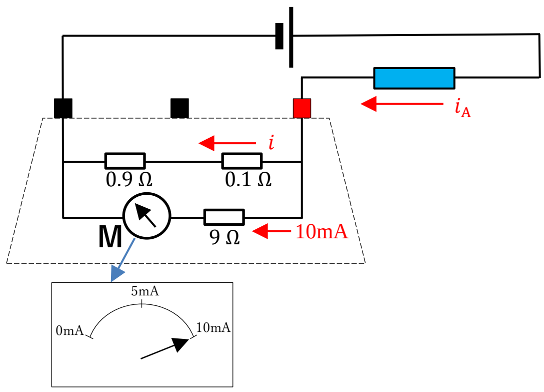
電流計



電圧計



電流計と電圧計の内部構造は上図のようになっている。電流計のメーター**M** は，0mA～10mA を測定する。電圧計のメーター**M** は，0mA～1mA を測定する。



右図のように，「100mA 端子」で電流計のメーター**M** が 10mA を指示しているとき，i ＝（ 90 mA ）である。

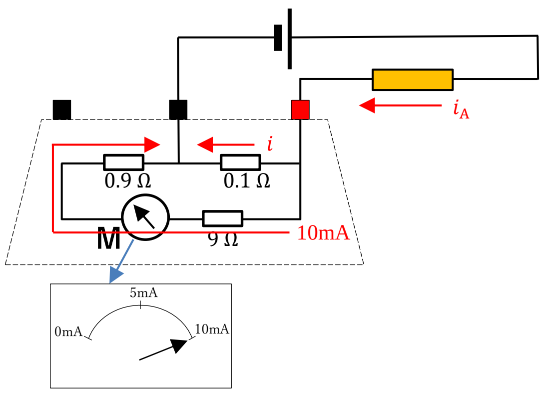
（0.9Ω+0.1Ω）× i ＝ 9Ω×10mA　∴ i ＝ 90 mA

したがって，メーターの表示を i_A ＝（100 mA ）と書き換えるとよい。

i_A ＝ i +10mA= 100 mA

また，メーター**M** が 5mA を指示しているときは，メーターの表示を i_A ＝（50 mA　）と書き換えるとよい。

（0.9Ω+0.1Ω）× i ＝ 9Ω×5mA　∴ i ＝45mA　　i_A ＝ i ＋5mA＝50 mA



右図のように，「1A 端子」で電流計のメーター**M** が 10mA を指示しているとき，i ＝（990 mA ）である。

0.1Ω× i ＝（9Ω+0.9Ω）×10mA　∴ i ＝990 mA

したがって，メーターの表示を i_A ＝（　1A　　）と書き換えるとよい。

i_A ＝ i +10mA= 1000mA=1 A

「100mA 端子」を使用したとき，電流計の内部抵抗は（　0.9 Ω　），「1A 端子」を使用したときの内部抵抗は（ 0.099 Ω ）となる。

「100mA 端子」　$1/r_A = 1/(0.9\Omega+0.1\Omega) + 1/9\Omega$　∴ r_A ＝ 0.9 Ω

「1A 端子」　$1/r_A = 1/0.1\Omega + 1/(0.9\Omega+9\Omega)$　∴ r_A ＝ 0.099 Ω

下図の左のように，「3V 端子」で電圧計のメーター**M** が 1mA を指示しているとき，抵抗にかかっている電圧は，V_{R} ＝（　3 V　）である。

したがって，メーターの表示「1 mA」を「(　3 V　)」と書き換えるとよい。

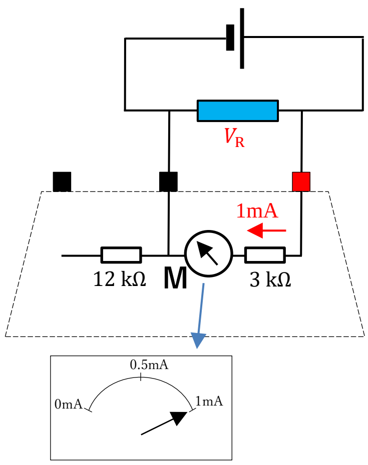
V_{R} ＝ 3kΩ × 1mA = 3 V　　※このときの電池の電圧 3V

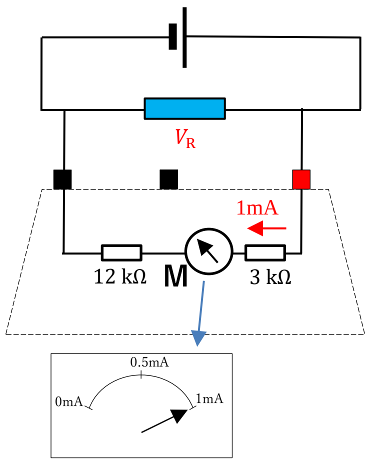
下図の右のように，「15V 端子」で電圧計のメーター**M** が 1mA を指示しているとき，抵抗にかかっている電圧は，V_{R} ＝（　15 V　）である。

したがって，メーターの表示「1 mA」を「(　15 V　)」と書き換えるとよい。

V_{R} ＝（3kΩ+12kΩ）× 1mA = 15 V　　※このときの電池の電圧 15V

「3V 端子」を使用したとき，電圧計の内部抵抗は（　3 kΩ　），「15V 端子」を使用したとの内部抵抗は（ 15 kΩ ）となる。





● **導線（配線）が切れていないのに電流が流れない場所のある回路**

図 1 の（　）に電位を記せ。

図 2 のように，電位の等しい A，B を導線でつないだとき，AB 間に電流は流れない。

一般に，図 3 のような回路があるとき，$R_1 : R_2$ ＝（R_3）：（R_4）のとき、AB 間に電流が流れない。

図 1

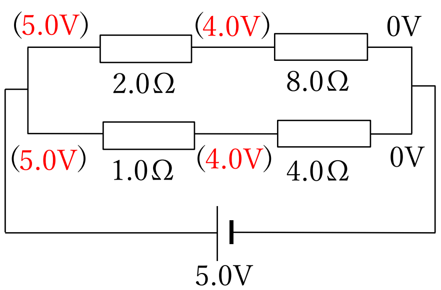


図 2

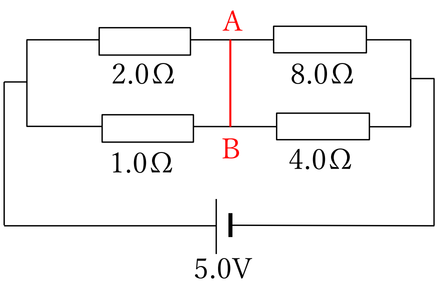


図 3

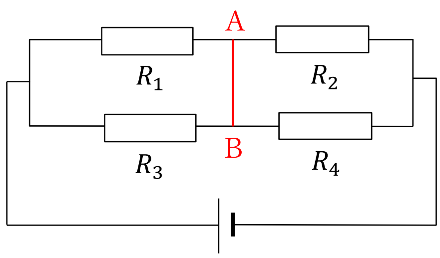


図 4 のように，一様（材質と断面積が変わらない）な長さ 1.0m の抵抗線 PQ を用いて回路を組み，接点 A を移動すると，

l_1 ＝（ 0.20m ），l_2 ＝（ 0.80m ）で AB 間に電流が流れない。

$$\rho\frac{l_1}{S} : \rho\frac{l_2}{S} = 1.0\Omega : 4.0\Omega \quad \therefore\ l_1 : l_2 = 1 : 4$$

$$l_1 = \frac{1}{1+4}\times 1.0\mathrm{m} = 0.20\mathrm{m} \qquad l_2 = \frac{4}{1+4}\times 1.0\mathrm{m} = 0.80\mathrm{m}$$

図 4

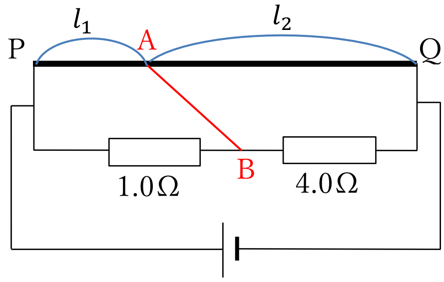
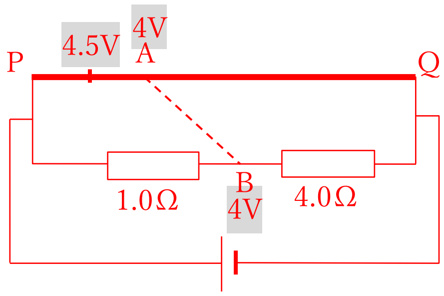


図４で，AB 間に電流が流れない状態から，接点 A を少し P 側にずらすと，（ A から B ）に電流が流れる。Q 側にずらしたときは逆方向に電流が流れる。



電流は電位の高い点から電位の低い点に向かって流れる。

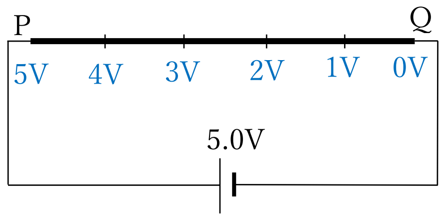
右図の接点 A を電位 4.5V のとことに移動すると，点 B の電位が 4.0V なので，電位の高い A から B に向かって電流が流れる。

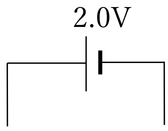
【注意】導線 AB に抵抗がなければ，電流が流れることにより A と B の電位は等しくなる。

では，その瞬間電流は流れなくなるのか？　なんと流れ続けます。理由は，回路全体の電流分布が変わるためです。詳細は，キルヒホッフの法則により計算するとわかります。

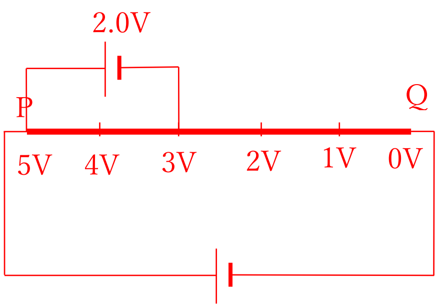
一様な長さ 1.0m の抵抗線 PQ に 5.0V の電池をつなぐ。このとき，図の青字のような電位になる。いま，2.0V の電池を PQ の２点に接続すると，2.0V の電池に電流が流れない場合がある。

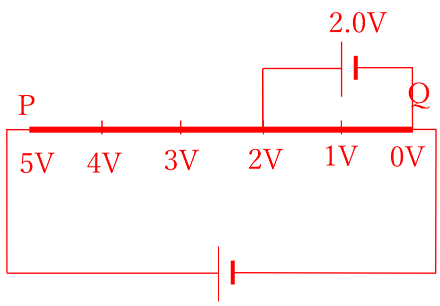
接続の例を示せ。





すでに電流の流れている回路の２点間に新たに電池をつぐとき，２点間の電位差と電池の電圧が等しいと，新たにつないだ電池からは電流は流れない。





※　２点間の電位差が 2V であればどこでもよい。