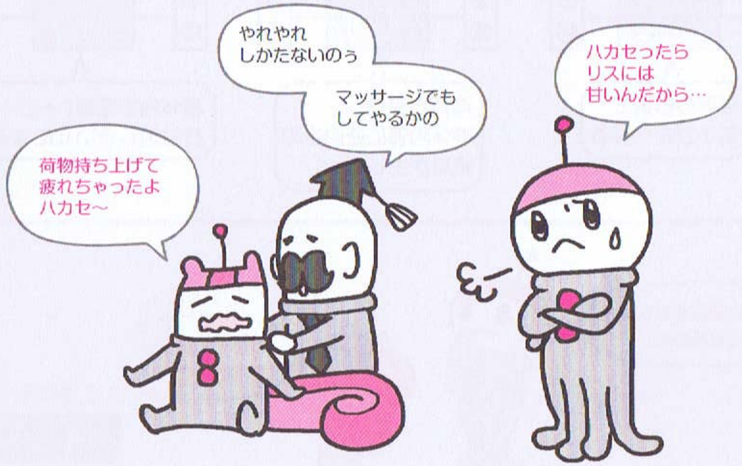
ハカセの宇宙一キビしいチェック!!

理解できたものに，☑チェックをつけよう。

- [ ] 電位は「電気的な高さ」である。
- [ ] 外力のした仕事と静電気力のした仕事の正負が反対になることがわかった。
- [ ] $U=qV$の関係を用いて電位や静電気力による位置エネルギーを計算できる。
- [ ] $V=Ed$の関係を用いて一様な電場の電位や電場の大きさを計算できる。
- [ ] 点電荷による電位の式を覚え，複数の点電荷が作る電位はそれぞれの電位を足し合わせたもので表されることを理解した。
- [ ] 等電位面と電気力線の関係を理解した。
- [ ] 静電気力による位置エネルギーを含めた力学的エネルギー保存則の式が立てられる。
- [ ] 電場中の導体の3つの性質を理解した。



Chapter 3

電位

Chapter

3 電位

はじめに

力学では，“高い位置にある物体は（重力による）位置エネルギーをもっている”ということを学びました。物体を高い位置に運ぶには仕事をする必要があり，その仕事がエネルギーになるのです。※
（※『宇宙一わかりやすい高校物理（力学・波動）』p.138参照）
つまり，位置の高い・低いによって物体のもつエネルギーが違うということです。

電気の世界でも同じように，位置の高い・低いによって，電荷のもつエネルギーが異なります。この電気的な位置（高低）のことを電位というのです。

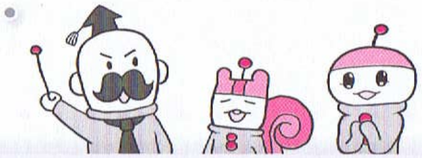
イメージが大事なところです。正電荷を高いところに持ち上げたり，低いところに下ろしたりするようなイメージをもちましょう。

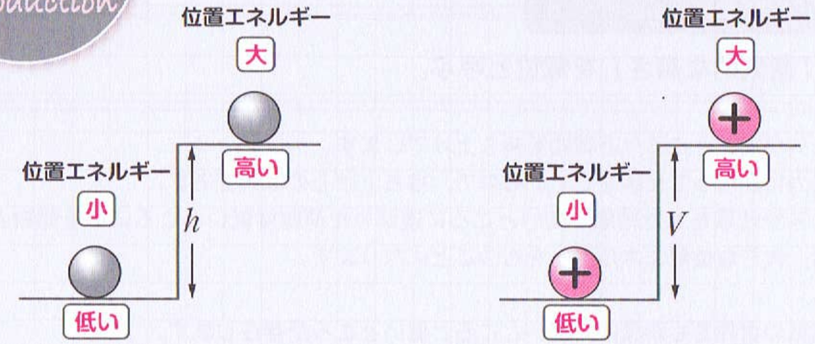
慣れないうちはわかりにくいと思いますが，電位によって，電荷がもつエネルギーや電場などの多くの電気的な現象を簡単に表すことができます。

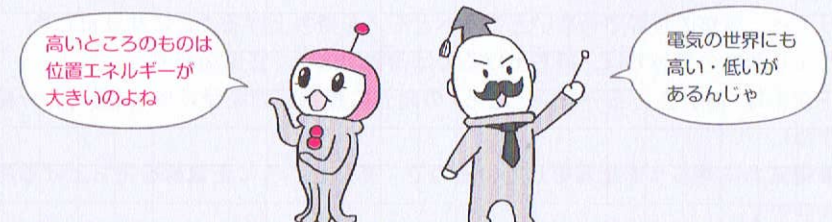
この章で勉強すること

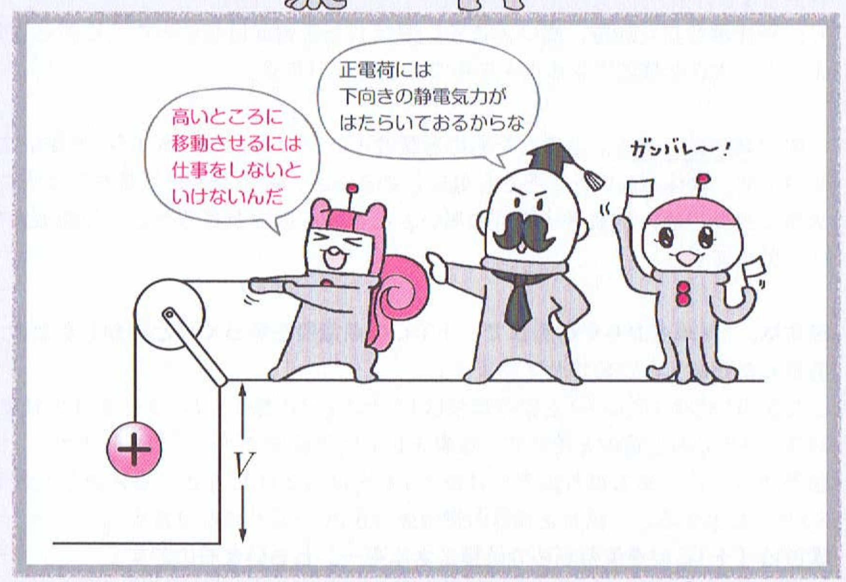
まず，電気的な高さである電位を説明し，静電気力による位置エネルギーと電位の関係を明確にします。
それらを踏まえて，電位差と仕事の関係や等電位面について，例題を交えながら勉強していきます。
電場中の導体の性質についても，このChapterで扱います。

宇宙一わかりやすいハカセのIntroduction









3-1 電位

ココをおさえよう！

「電気的な高さ」を電位と呼ぶ。

リスが高いところへと荷物を持ち上げています。
重力に逆らって仕事をしているので，持ち上げるのは大変です。
リスが仕事をした結果，高いところに運ばれた荷物は低いところにある荷物よりも，大きな位置エネルギーをもつことになります。

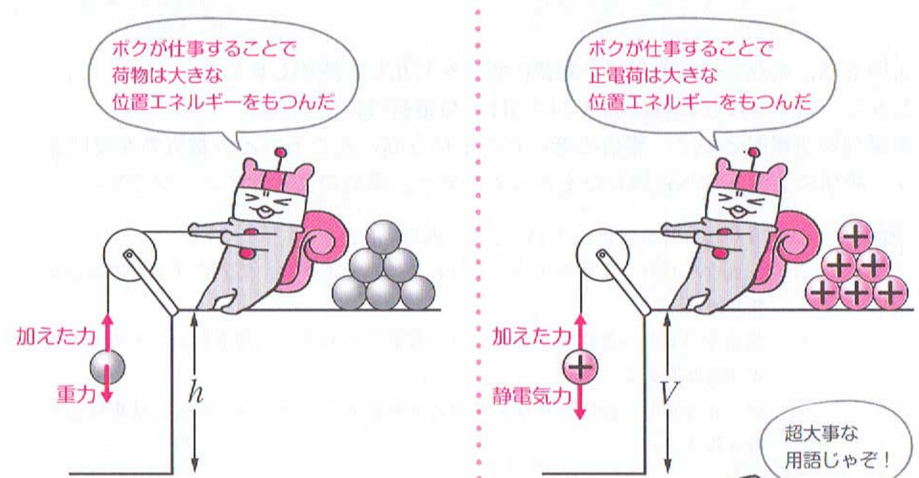
電気の世界でも同様に，高いところと低いところが存在します。
リスは，電気の世界でも高いところへとモノを持ち上げることになりました。
ただし電気の世界では，持ち上げるのは荷物ではなく正電荷です。
正電荷は“高いところ→低いところ”の向きに静電気力を受けます（重力と一緒ですね）。
静電気力に逆らって仕事をしているので，高いところに正電荷を持ち上げるのは大変です。
リスが仕事をした結果，高いところに運ばれた正電荷は低いところにある正電荷よりも，大きな位置エネルギーをもつことになります。

この，「電気的な高さ」を表したものを**電位**といい，単位は**V（ボルト）**を使います。
地球上で，物体は高いところから低いところへと，重力を受けて落ちるように，電気の世界では，正電荷は電位の高いところから低いところへと，静電気力を受けて落ちます。

電位は，「基準点からその点まで，＋１Cの点電荷をゆっくりと動かしたとき，外力がした仕事」と定義されています。
この定義からV（ボルト）という単位はJ/C（ジュール毎クーロン）とも表されます。
リスが＋１Cの正電荷を持って，仕事をしている姿をイメージしましょう。
基準点Aから，ある点Bまでリスが＋１Cを持ち上げたとき，リスがした仕事が5Jだったとすると，点Aと点Bの電位差は5J/C＝5Vになります。
電位は「＋1Cの点電荷がもつ位置エネルギー」といえるのです。

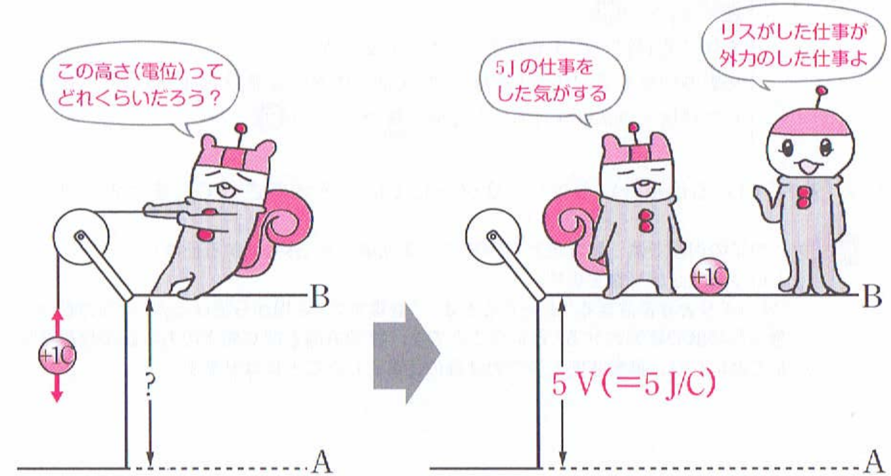
基準点の取りかたによって，電位の値は変わることに注意しましょう。

[日常の世界]　　[電気の世界]



電位 …電気的な高さのこと。
単位はV（ボルト）。

電位の定義 …基準点からその点まで，＋1Cの点電荷をゆっくり動かしたとき，外力がした仕事。



p.70では，私たちの住む世界と電気の世界を対比して説明しました。
しかし，気をつけなければならないのは，負電荷の存在です。
負電荷は正電荷と逆で，電位の低いところから高いところへと静電気力を受けます。勝手に上の方向へと浮かび上がってしまう，風船のようなイメージです。

問3-1 点Aより点Bは電位が10 V高い。次の問いに答えよ。
(1) 点Aから点Bへ正電荷をゆっくりと移動させるとき，外力のする仕事は正か負か答えよ。
(2) 点Aから点Bへ負電荷をゆっくりと移動させるとき，静電気力のする仕事は正か負か答えよ。
(3) 点Aから点Bへ負電荷をゆっくりと移動させるとき，外力のする仕事は正か負か答えよ。

“外力のする仕事”といわれたら，“リスが電荷を持ち上げる仕事”と考えましょう。

解きかた まずは(1)ですが，正電荷を高いところへとリスが持ち上げるのですから，静電気力に逆らって仕事をすることになります。大変ですね。
リスのする仕事，つまり外力のする仕事は正になります。…答

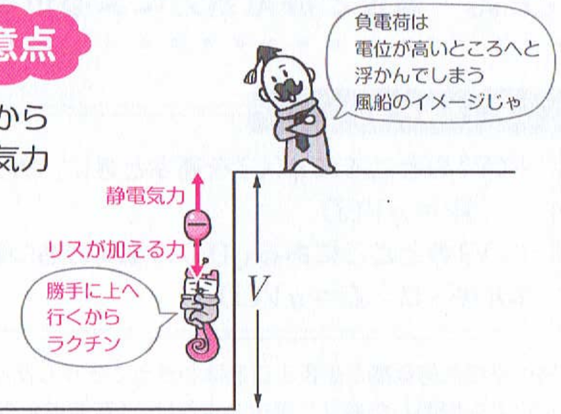
(2)と(3)は同時に考えます。負電荷を高いところへとリスが持ち上げようとするのですが，負電荷は静電気力を上向きへと受けるので，リス（外力）が仕事をしなくても高いところへ上がっていきます。
リスはラクですね（ゆっくりと持ち上げるために，押さえつけてはいますが）。
このとき，仕事をするのは静電気力です。ですので，静電気力のする仕事は正です。…答
ではリス（外力）のする仕事はどうでしょうか？
移動方向が上で，リス（外力）が加えた力の方向は逆の下向きなので，リスのした仕事，つまり外力のした仕事は負です。…答

リス（外力）のする仕事というのは，ラクをしていたら減点されてしまうのですね。

補足 この種の問題では 静電気力（電場）のする仕事＝－（外力のする仕事）
という関係が成り立ちます。
“ゆっくりと移動させる”ということは，“静電気力（電場から受ける力）と外力がつり合った状態で移動させる”ということです。移動方向と同じ向きの力は正の仕事をしたことになり，移動方向と逆の力は負の仕事をしたことになります。

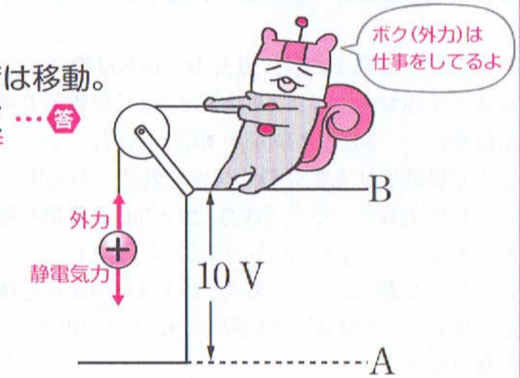
電気の世界の注意点

負電荷は低いところから高いところへと静電気力を受ける。

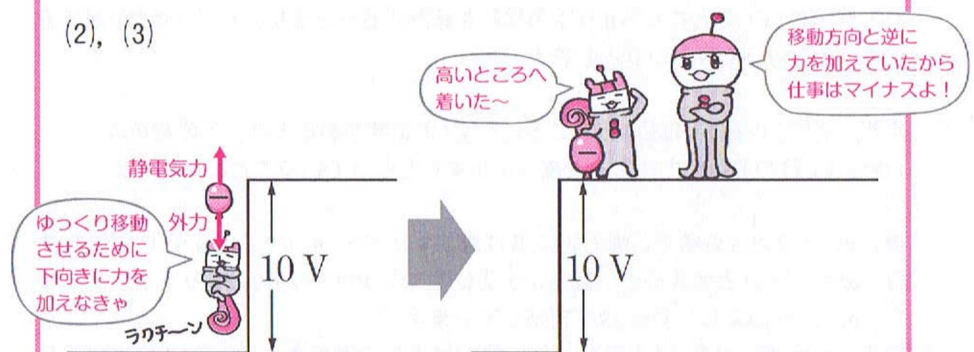


問3-1

(1) 外力の方向へと電荷は移動。
外力のした仕事は正 …答



(2)，(3)



静電気力は上向きで，外力は下向き。
移動したのは上向きだから
静電気力のした仕事は正，外力のした仕事は負。…答

3-2 電位と静電気力による位置エネルギー

ココをおさえよう！

V〔V〕のところにq〔C〕を運ぶときに，外力がする仕事は

$W=qV$〔J〕

V〔V〕のところにあるq〔C〕の電荷のもつ静電気力による位置エネルギーは　$U=qV$〔J〕

電位が電気的な高さを表すことはわかってきましたね。
p.70でも説明した通り，電位の定義は，**「基準点からその点まで，＋1Cの点電荷をゆっくりと動かしたとき，外力がした仕事」**でした。

いま点Aと点Bがあり，点Aより点Bは電位が5V高いとします。
点Aから点Bへ，リス（外力）が＋1Cの電荷を移動させたとき，リス（外力）のする仕事は　1〔C〕×5〔V＝J/C〕＝5〔J〕
ここで移動させる電荷の大きさを変えてみます。
点Aから点Bへ，リス（外力）が＋3Cの電荷を移動させたとき，リス（外力）のする仕事は　3〔C〕×5〔V＝J/C〕＝15〔J〕
点Aから点Bへ，リス（外力）が−2Cの電荷を移動させたとき，リス（外力）のする仕事は　−2〔C〕×5〔V＝J/C〕＝−10〔J〕
となります。
つまり，V〔V〕のところへq〔C〕の電荷を移動させるときに，リス（外力）がする仕事は **$W=qV$〔J〕**ということです。

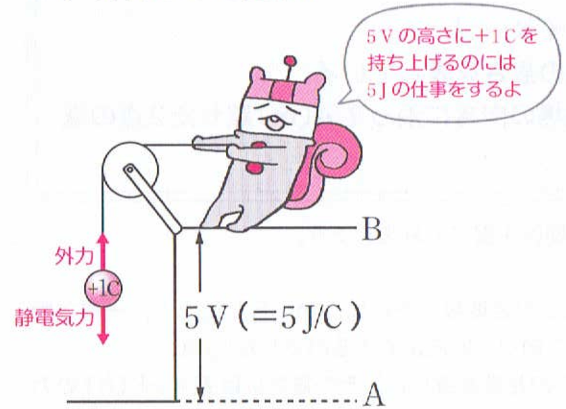
また，V〔V〕の高さ（電位）のところにq〔C〕の電荷があるとき，その電荷は **$U=qV$〔J〕**の静電気力による位置エネルギーをもっていることになります。

重力mgと高さhの積で，重力による位置エネルギーmghとなるのと似ています ね。$m=1$〔kg〕と考えると，重力による位置エネルギーはghとなります。すなわち，mとqが対応し，Vとghが対応しています。
質量mが大きいか高さhが高ければ，重力による位置エネルギーmghは大きくなり，電荷qが大きいか電位Vが高ければ，静電気力による位置エネルギーqVが大きくなります。

3

電位の定義（おさらい）

基準点からその点まで，＋1Cの点電荷をゆっくり動かしたときに，外力がした仕事。



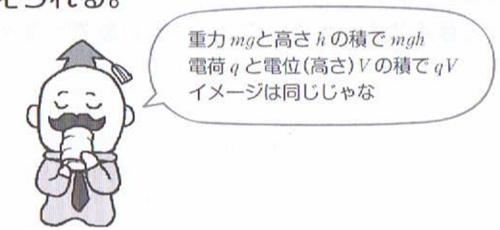
外力のする仕事 W　　$W=qV$〔J〕

・＋3Cを5Vのところへ移動させるときの外力の仕事は　3C×5V＝15J

・−2Cを5Vのところへ移動させるときの外力の仕事は　−2C×5V＝−10J

静電気力による位置エネルギー U　　$U=qV$〔J〕

V〔V〕のところにあるq〔C〕の電荷は“外力に持ってこられた”と考えると，外力のした仕事の分だけ，位置エネルギーをもっていると考えられる。



ここまでやったら
別冊 P. 8へ

3-3 一様な電場中の電位

ココをおさえよう！

電位は高さ，電場は坂のイメージ。
電場の大きさは坂の傾斜の急さを表している。
一様な電場E〔N/C〕で電場の向きに沿ってd〔m〕離れた2点の電位差V〔V〕は　$V=Ed$

ここでは，電位と一様な電場の関係を調べてみましょう。

正に帯電した金属板と負に帯電した金属板を平行に向かい合わせると，一様な電場が正の金属板から負の金属板へ向かう方向にできるのでした(p.46)。
E〔N/C〕の一様な電場中にq〔C〕の電荷を置くと，その電荷には$F=qE$〔N〕の力がはたらきます。

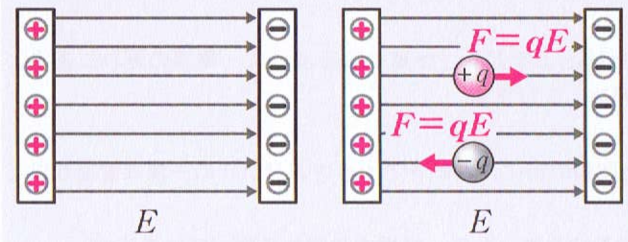
一様な電場を作る，正に帯電した金属板を金属板A，負に帯電した金属板を金属板Bとします。
一様な電場中に正電荷を置くと，正電荷は電場の向き（金属板A→金属板B）に静電気力を受けますね。
ということは，位置（電位）が高いのは金属板Aのほうだとわかります。
一様な電場中のどこでも正電荷は力を受けるので，電位が最も高いのは金属板Aで，徐々に電位が低くなり，電位が最も低いのは金属板Bということです。

つまり，電場は坂のようなものなのです。
金属板Aが坂の頂上，金属板Bが坂のふもとです。
金属板Bから金属板Aへとずっと坂が続いているので，どこでも正電荷は下の方向（金属板Bの方向）へと力を受けます。

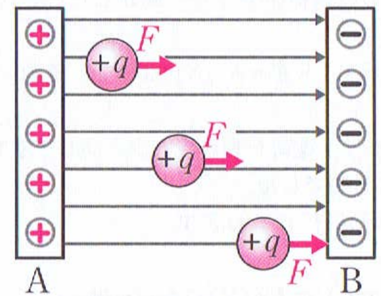
電場の大きさは坂の傾斜を表しています。
電場の大きさが大きいと受ける静電気力が大きいのは，傾斜が急で下向きに受ける力が大きいからです。

3

おさらい



一様な電場中の電位



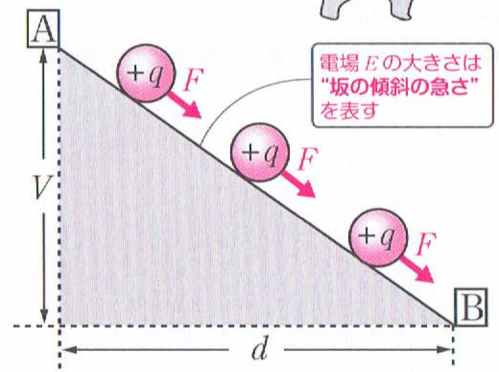
正電荷は電位の高いところから低いところへ静電気力を受ける。

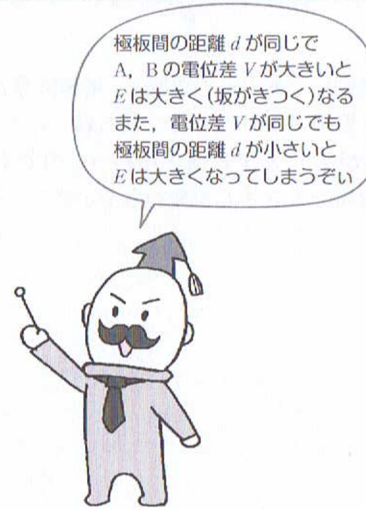
＋

一様な電場中では，どこに正電荷を置いてもA→Bの向きへ静電気力を受ける。

⇓

電位が最も高いのは金属板Aで，徐々に電位が低くなり，金属板Bが最も電位が低い。





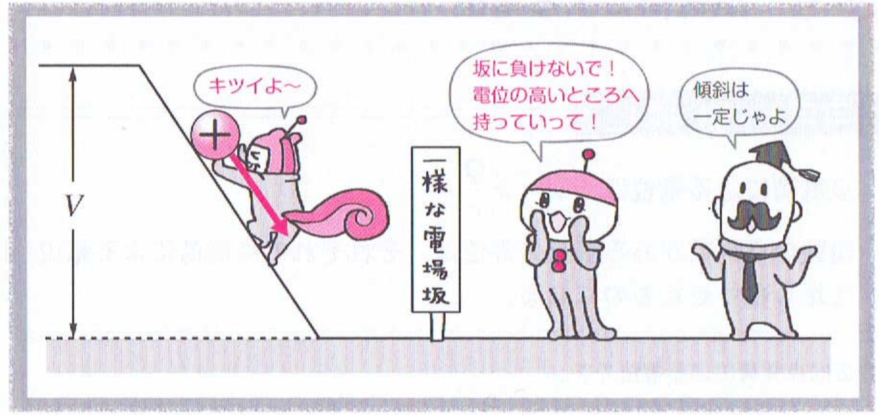
一様な電場では，電場の大きさも向きも変わらないので，傾斜が一定の坂をイメージしましょう。
坂の傾斜に逆らって上れば上るほど高さが高くなるように，電場の流れに逆らって上れば上るほど電位が高くなります。

2枚の正負に帯電した金属板の間に，右向きで大きさE〔N/C〕の一様な電場があるとしましょう。
負の金属板上の点Pを電位の基準として，電場中の電位を調べていきます。

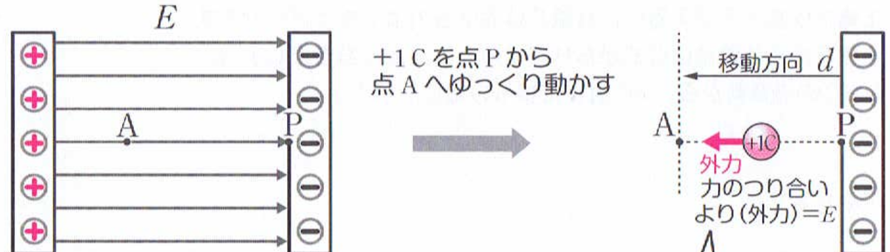
点Pから電場の向きと反対方向にd〔m〕進んだ点Aの電位を調べましょう。
電位の定義はp.70で説明した通り，＋1Cの点電荷をゆっくり動かしたときに外力がする仕事でしたね。
＋1Cの点電荷が受ける静電気力は$F=qE=+1\times E=E$〔N〕なので，それに逆らう外力の大きさもEです。
また，外力の向きは電場と反対の向き，つまり，電荷を動かす方向と同じですね。
仕事は（力の大きさ）×（移動距離）で表されるのでした。
d〔m〕移動させたので，外力がする仕事は，Ed〔J〕になります。

よって，点Pを基準としたときの点Aの電位は **$V=Ed$〔V〕**になります。
（このとき，$E=\dfrac{V}{d}$になるので，**電場の単位を〔V/m〕と表す場合もあります**）

横軸に点Pからの距離d，縦軸に電位Vをとったグラフをかくと，右ページのような直線になりますね。慣れ親しんだ数学の$y=ax$のグラフです。
xがd，yがVに置き換わったのですね。
電場の大きさEが変わらないので，傾きがEで一定な比例のグラフなのです。



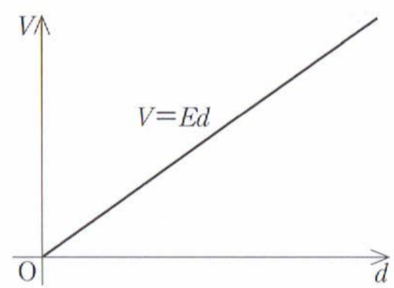
一様な電場中の電位差



点Pと点A（PA=d〔m〕）の電位差は？

外力のする仕事W
$W=Ed$

よって，点Pと点Aの電位差は
$V=Ed$



3-4 点電荷による電位

ココをおさえよう！

> 点電荷による電位は　$V=k\dfrac{Q}{r}$
>
> 複数の点電荷がある場合の電位は，それぞれの点電荷による電位を足し合わせたものになる。

今度は点電荷による電位です。

正の点電荷に近いほど電位は大きく，負の点電荷に近いほど電位は小さくなります。
正電荷は高くそびえる山，負電荷は深い谷のようなイメージです。
点電荷による電位は公式がありますので，覚えておきましょう。
Q〔C〕の点電荷からr〔m〕離れた場所の電位V〔V〕は

$$V=k\frac{Q}{r}$$

になります。

点電荷から離れる（rが大きくなる）ほど，電位が0に近づいていくということです。
電位のグラフは右ページの真ん中の図のようになります。

2つの点電荷Q_A，Q_Bがある場合の電位はどうなるのでしょうか？
その場合はそれぞれの電荷による電位を足し合わせたもの

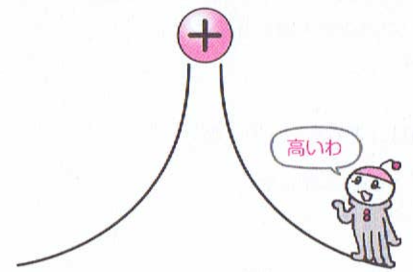
$$V=V_A+V_B$$

になります。
電位は向きがあるものではなく高い・低いなので，電場のときのように絵をかいて，ベクトル（矢印）の足し算をすることはありません。

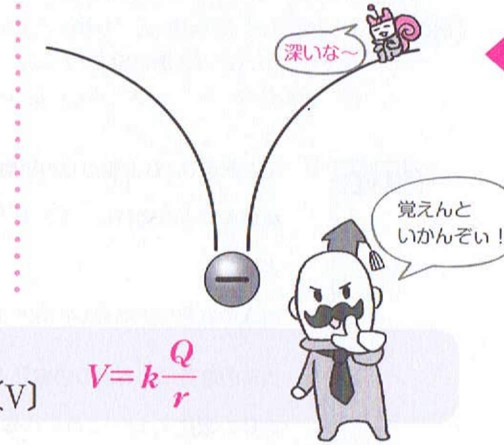
p.82では練習問題をやってみましょう。

点電荷による電位

正電荷による電位は山のイメージ

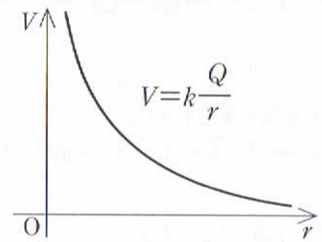


負電荷による電位は谷のイメージ

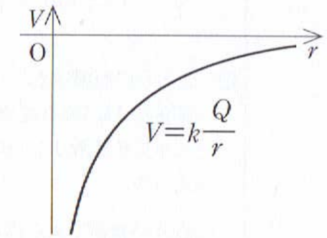


Q〔C〕の点電荷から
r〔m〕離れた場所の電位V〔V〕　$V=k\dfrac{Q}{r}$

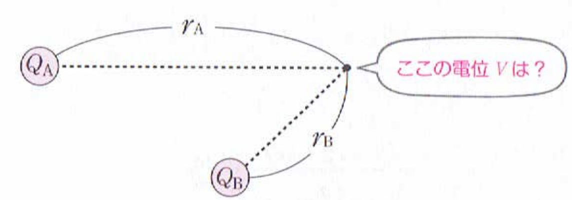
〈グラフ〉［$Q>0$のとき］



［$Q<0$のとき］



質問　**複数の点電荷による電位は？**



答え　**それぞれの点電荷による電位を足し合わせればよい。**

$$V_A=k\frac{Q_A}{r_A},\quad V_B=k\frac{Q_B}{r_B}$$

よって　$V=V_A+V_B=k\dfrac{Q_A}{r_A}+k\dfrac{Q_B}{r_B}$

問3-2 x-y平面上の点A$(0,\ a)$，B$(0,\ -a)$にそれぞれ$+Q$，$-Q$の電荷を置いた。クーロンの法則の比例定数をkとして，次の点での電位を求めよ。

(1) 原点O$(0,\ 0)$　(2) 点C$(2a,\ a)$

解きかた (1) Aと原点O，Bと原点Oの距離は，どちらもaですね。

点電荷による電位は，$V=k\dfrac{Q}{r}$と表されました。

よって，

点Aの電荷による点Oの電位V_{AO}は　$V_{\mathrm{AO}}=k\dfrac{Q}{a}$

点Bの電荷による点Oの電位V_{BO}は　$V_{\mathrm{BO}}=-k\dfrac{Q}{a}$

点Oの電位V_{O}は，これらの電位を足し合わせたものになるので

$$V_{\mathrm{O}}=V_{\mathrm{AO}}+V_{\mathrm{BO}}=k\frac{Q}{a}+\left(-k\frac{Q}{a}\right)=\underline{\underline{0}}\ \cdots 答$$

(2) AとCの距離は$2a$です。

三角形ABCはAを直角とした直角三角形ですね。

三平方の定理より，$\mathrm{BC}=\sqrt{(2a-0)^2+\{a-(-a)\}^2}=2\sqrt{2}\,a$となります。

よって，

点Aの電荷による点Cの電位V_{AC}は　$V_{\mathrm{AC}}=k\dfrac{Q}{2a}$

点Bの電荷による点Cの電位V_{BC}は　$V_{\mathrm{BC}}=-k\dfrac{Q}{2\sqrt{2}\,a}$

点Cの電位V_{C}は，これらの電位を足し合わせたものになるので

$$V_{\mathrm{C}}=V_{\mathrm{AC}}+V_{\mathrm{BC}}=k\frac{Q}{2a}+\left(-k\frac{Q}{2\sqrt{2}\,a}\right)$$
$$=\frac{kQ}{2\sqrt{2}\,a}(\sqrt{2}-1)$$
$$=\underline{\underline{\frac{(2-\sqrt{2})\,kQ}{4a}}}\ \cdots 答$$

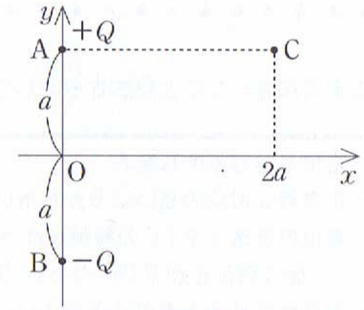
どうでしょうか？　公式さえ覚えておけば難しくはありませんよね？

p.84では，電位に関してここまでで学んだことをおさらいしておきましょう。

問 3-2

(1) 原点Oの電位は？

(2) 点C$(2a,\ a)$の電位は？

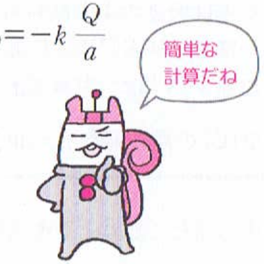


(1) 点Aの電荷による原点Oの電位は　$V_{\mathrm{AO}}=k\dfrac{Q}{a}$

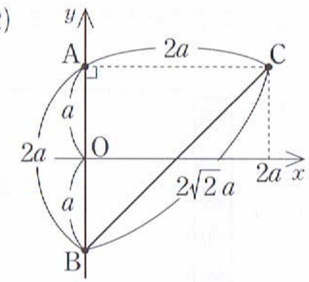
点Bの電荷による原点Oの電位は　$V_{\mathrm{BO}}=-k\dfrac{Q}{a}$

よって，原点Oの電位は

$$V_{\mathrm{O}}=V_{\mathrm{AO}}+V_{\mathrm{BO}}$$
$$=k\frac{Q}{a}+\left(-k\frac{Q}{a}\right)=\underline{\underline{0}}\ \cdots 答$$



(2)



点Aの電荷による点Cの電位は　$V_{\mathrm{AC}}=k\dfrac{Q}{2a}$

点Bの電荷による点Cの電位は　$V_{\mathrm{BC}}=-k\dfrac{Q}{2\sqrt{2}a}$

よって，点Cの電位は

$$V_{\mathrm{C}}=V_{\mathrm{AC}}+V_{\mathrm{BC}}=k\frac{Q}{2a}+\left(-k\frac{Q}{2\sqrt{2}a}\right)$$
$$=\frac{kQ}{2\sqrt{2}a}(\sqrt{2}-1)$$
$$=\underline{\underline{\frac{(2-\sqrt{2})\,kQ}{4a}}}\cdots 答$$

ここまでに習ったことをおさらいしていきましょう。

- 電位とは電気的な高さ
- 正電荷は電位の高いほうから低いほうへと静電気力を受ける
- 電位の定義は＋1Cの電荷をゆっくりと移動させたときの外力のした仕事
- 2点間の電位差が V〔V〕のとき，電位の低いほうから高いほうへと電荷 q〔C〕を移動させるときの仕事 W〔J〕は　$\boldsymbol{W=qV}$
- 電位が V〔V〕の位置にある q〔C〕の電荷のもつ静電気力による位置エネルギー U〔J〕は　$\boldsymbol{U=qV}$
- 電場は坂道のようなもの
- 一様な電場 E〔N/C〕において，電場の向きに沿って d〔m〕離れた2点間の電位差 V〔V〕は　$\boldsymbol{V=Ed}$
- Q〔C〕の点電荷から r〔m〕離れた場所の電位 V〔V〕は　$\boldsymbol{V=k\frac{Q}{r}}$

上にまとめたことはとても大事です。式を覚えてイメージできるようにしましょう。

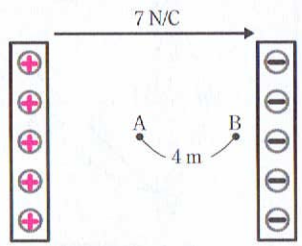
問3-3

右図のように7 N/Cの一様な電場中に，電場と平行な向きに4 m離れた2点A，Bがある。次の問いに答えよ。

(1)　2点A，Bはどちらが高電位で電位差はいくらか。

(2)　点Bから点Aへと＋5 Cの電荷をゆっくりと移動させるとき，外力のする仕事を求めよ。

(3)　(2)のとき，電場のする仕事を求めよ。



解きかた

(1)　電場の正の極板に近いほうが高電位ですから，**点Aが高電位**。…答

電位差は $V=Ed$ より　$V=7\times4=$ **28〔V〕** …答

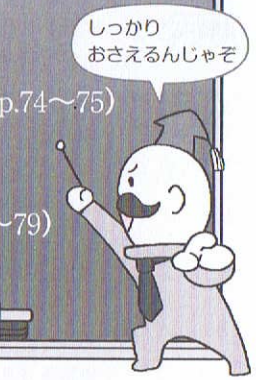
(2)　点Aのほうが28 V高く，そこへ+5Cを移動させることになります。高いところへ正電荷を移動させるので，外力のする仕事は正です。

$W=qV$ より　$W=5\times28=$ **140〔J〕** …答

(3)　“電場のする仕事”というのは“静電気力のする仕事”ということです。p.72でも説明した通り，外力と静電気力はつり合っています。互いに逆向きで同じ大きさです。

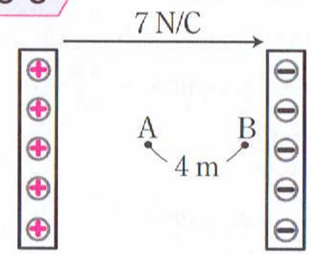
電場の向きとは逆向きに＋5Cの電荷が移動したのですから，電場のする仕事はマイナスです。　**－140 J** …答

- 電位のイメージと定義（p.70〜73）
- 外力のする仕事　$W=qV$
- 電位 V のところにある電荷のもつ静電気力による位置エネルギー　$U=qV$　（p.74〜75）
- 一様な電場と電位について　$V=Ed$（p.76〜79）
- 点電荷による電位　$V=k\frac{Q}{r}$（p.80〜83）



3

問 3-3



(1)　電場の正の極板に近いほうが高電位なので

点Aのほうが高電位 …答

電位差は　$V=Ed=7\times4=$ **28〔V〕** …答

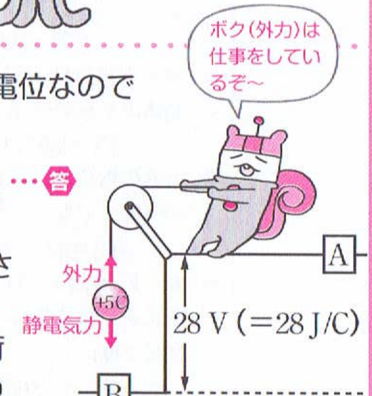
(2), (3)　外力と静電気力は同じ大きさで逆向き。

点Aのほうが28 V高く，正電荷+5Cを移動させるので，外力のする仕事は正。

外力のする仕事　$W=qV=5\times28$

$=$ **140〔J〕** …答

電場のする仕事　**－140 J** …答



問3-4 x-y平面上の原点に-1.5×10^{-8} C，点(4，0)に2.0×10^{-8} Cの点電荷がある。次の問いに答えよ。ただし，x，y座標の単位は〔m〕とし，$k=9.0\times10^{9}$〔N·m^2/C^2〕とする。

(1) 点A(4，3)の電位を求めよ。
(2) 点B(0，3)の電位を求めよ。
(3) 点Aに3.0×10^{-9} Cの電荷を置いた。この電荷のもつ位置エネルギーを求めよ。
(4) 点Bに3.0×10^{-9} Cの電荷を置いた。この電荷のもつ位置エネルギーを求めよ。
(5) 点Aから点Bへとゆっくり3.0×10^{-9} Cを移動させたとき，外力のした仕事を求めよ。
(6) 点Aから点Bへとゆっくり3.0×10^{-9} Cを移動させたとき，静電気力のした仕事を求めよ。

解きかた (1)，(2) 2つの点電荷に関して，点電荷による電位$V=k\dfrac{Q}{r}$を足し合わせると

点A(4，3)に点電荷が作る電位V_Aは

$$V_A=9.0\times10^{9}\times\frac{2.0\times10^{-8}}{3}+9.0\times10^{9}\times\frac{-1.5\times10^{-8}}{5}$$
$$=60-27=\mathbf{33〔V〕}\ \cdots 答$$

点B(0，3)に点電荷が作る電位V_Bは

$$V_B=9.0\times10^{9}\times\frac{2.0\times10^{-8}}{5}+9.0\times10^{9}\times\frac{-1.5\times10^{-8}}{3}$$
$$=36-45=\mathbf{-9.0〔V〕}\ \cdots 答$$

(3) 点Aの電位は33 Vなので，$U=qV$より点Aに置かれた3.0×10^{-9} Cの位置エネルギーU_Aは

$$U_A=3.0\times10^{-9}\times33=\mathbf{9.9\times10^{-8}〔J〕}\ \cdots 答$$

(4) 点Bの電位は-9.0 Vなので，$U=qV$より点Bに置かれた3.0×10^{-9} Cの位置エネルギーU_Bは

$$U_B=3.0\times10^{-9}\times(-9.0)=\mathbf{-2.7\times10^{-8}〔J〕}\ \cdots 答$$

(5)，(6) $V_A=33$ V，$V_B=-9.0$ Vより点Aが高電位で，点Bが低電位なので，正電荷である3.0×10^{-9} Cは静電気力を受けて自動的に点Aから点Bへ移動する。

これをゆっくり移動させるのに逆向きに外力をはたらかせるので，外力のする仕事は負で，移動方向と同じ向きの力の静電気力のする仕事は正。

点Aと点Bの電位差V_{AB}は $V_{AB}=|-9.0-33|=42$〔V〕

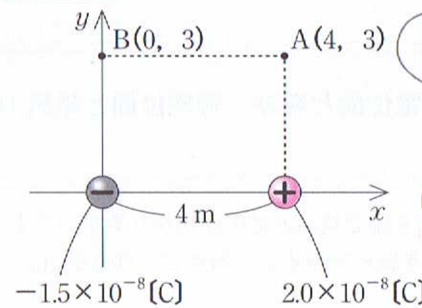
よって，外力のした仕事は

$$-(qV_{AB})=-(3.0\times10^{-9}\times42)=\mathbf{-1.26\times10^{-7}〔J〕}\ \cdots 答$$

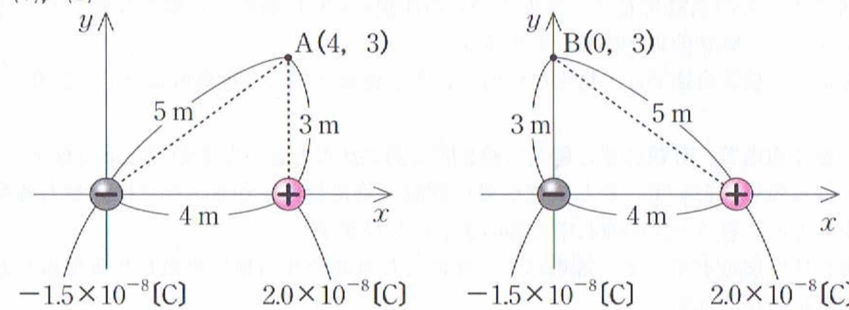
静電気力のした仕事は，正負を入れ替えて $\mathbf{1.26\times10^{-7}〔J〕}$ …答

3

問3-4



(1)，(2)



$$V_A=9.0\times10^{9}\times\frac{2.0\times10^{-8}}{3}+9.0\times10^{9}\times\frac{-1.5\times10^{-8}}{5}=33〔V〕\cdots 答$$

$$V_B=9.0\times10^{9}\times\frac{2.0\times10^{-8}}{5}+9.0\times10^{9}\times\frac{-1.5\times10^{-8}}{3}=-9.0〔V〕\cdots 答$$

(5)，(6)【別解】

点Aから点Bへ3.0×10^{-9} Cの電荷を移動させたときの位置エネルギーの変化は，(3)，(4)より

$$U_B-U_A=-2.7\times10^{-8}-9.9\times10^{-8}=-1.26\times10^{-7}〔J〕$$

この位置エネルギーの変化は外力のした仕事によるものなので

外力のした仕事は $-1.26\times10^{-7}〔J〕$ …答

静電気力のした仕事は，正負を入れ替えて $1.26\times10^{-7}〔J〕$ …答

ここまでやったら
別冊 P. 10へ

3-5 等電位面と電気力線

ココをおさえよう！

電位が等しい点を連ねた面を等電位面と呼び，等電位面と電気力線は直交する。

地図で高さを表す場合，高さが同じ場所を線で結ぶと地形がわかりやすいです（等高線）。電位も同様に，同じ高さの場所を結んで表すと，各点での電位がわかりやすくなります。

電位が等しい点を結んでできた面を**等電位面**と呼びます。

例えば，正の点電荷では，点電荷からの距離rが同じ場所では電位が等しくなりますから，球状の等電位面ができます。

また，一様な電場では，電場を作っている金属板と平行な等電位面ができます。

一様な電場で，等電位面と電気力線を同じ図にかくとどうなるのでしょうか？

一様な電場において，等しい電位差の間隔で等電位面をかき，そこに電気力線を重ねると，右ページの真ん中の図のようになります。

電位は金属板と平行で，電場は正に帯電した金属板から負に帯電した金属板へと垂直に向かいます。

これらのことから，等電位面と電気力線には次の関係があることがわかっています。

① **電気力線は高電位から低電位の方向へ向いている。**

② **等電位面と電気力線は垂直に交わる。**

この等電位面を，平面上に表したものが**等電位線**です

等電位線と電気力線でも上の①，②は成り立っています。

点電荷でも考えましょう。例えば，電気量が$+Q$の点電荷による電位において，等しい電位差の間隔で等電位線をかきます。

そこに電気力線を重ねると，等電位線と電気力線は右ページの下の図のようになります。等電位線と電気力線が垂直に交わっていることがわかりますね。

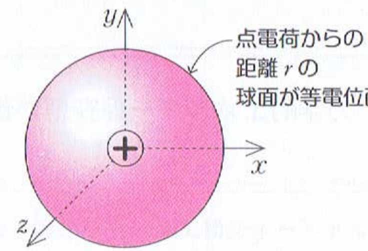
また，点電荷に近いところでは，等電位線の間隔がせまくなっています。

電位というのは高さですから，等電位線の間隔がせまいところは，坂の傾きが大きい（急である）ということです。

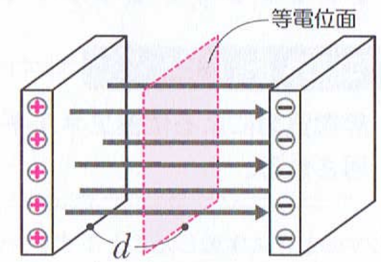
p.76で説明した通り，傾きが大きい（急な）ほど電場の大きさは大きいのでした。

つまり，**等電位線の間隔がせまいほど，その場所の電場は大きいということです。**

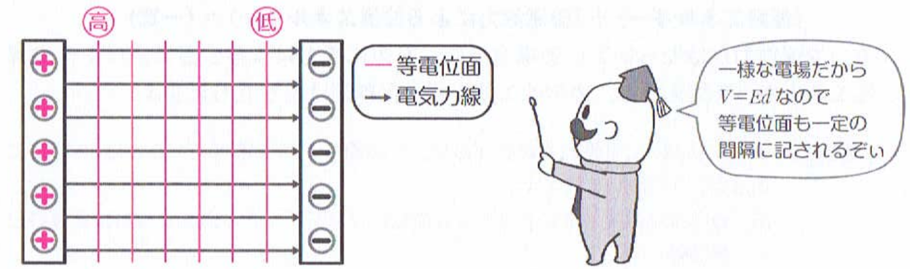
[点電荷による電位]



[一様な電場の電位]



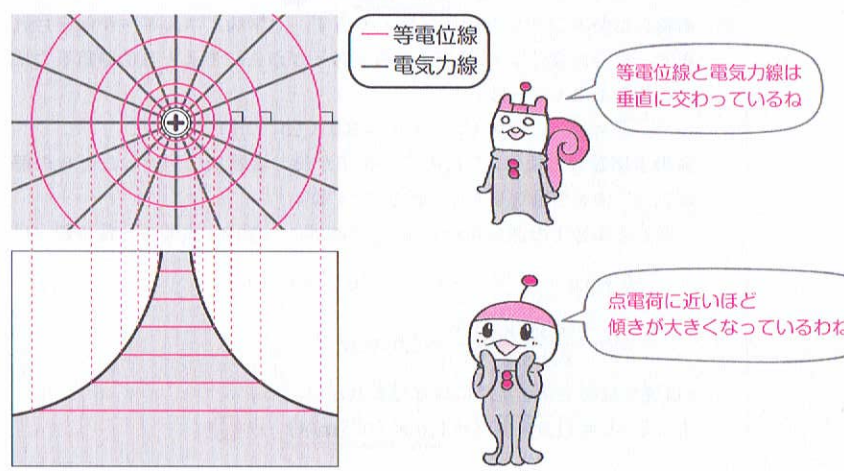
等電位面（等電位線）と電気力線



① 電気力線は高電位から低電位の方向へ向く。

② 等電位面（等電位線）と電気力線は垂直に交わる。

[点電荷による電位の等電位線]



3-6 力学的エネルギー保存則

ココをおさえよう！

静電気力による位置エネルギーも，力学的エネルギー保存則が適用される。

力学のときに学習したことですが，運動エネルギーと位置エネルギーの和を**力学的エネルギー**といいます。静電気力による位置エネルギーも位置エネルギーの1つなので，力学的エネルギーです。

静電気力だけがはたらいている場合，次の力学的エネルギー保存則が成立します。

（運動エネルギー）＋（静電気力による位置エネルギー）＝（一定）

重力や弾性力がはたらいている場合でも，左辺に重力による位置エネルギーや弾性エネルギーを加えれば，力学的エネルギー保存則は成り立ちますよ。

問3-5 正負に帯電した2枚の金属板があり，その間の一様な電場の大きさは20 V/mであった。次の問いに答えよ。

(1) 負の金属板を基準にすると点Aの電位は10Vだった。点Aと負の金属板の距離は何mか。

(2) 点Aに質量6.0×10^{-27} kgで$+3.0\times10^{-18}$ Cの荷電粒子を置いたところ，粒子は電場から力を受け移動した。負の金属板に到達したときの粒子の速さを求めよ。

解きかた

(1) 点Aと負の金属板の距離をd〔m〕とすると，点Aの電位は$V=Ed$より

$10=20d$　　$d=$ **0.50〔m〕** …答

(2) 電荷には静電気力しかはたらいておらず，力学的エネルギーが保存されます。点Aの電位は10 Vですから，粒子が点Aにあるときの静電気力による位置エネルギーは

$U=qV=3.0\times10^{-18}\times10=3.0\times10^{-17}$〔J〕

負の金属板の電位は0 Vなので，粒子が負の金属板に到達したときの静電気力による位置エネルギーは0 Jですね。

このときの粒子の速さをv〔m/s〕とすれば，力学的エネルギー保存則より

$$0+3.0\times10^{-17}=\frac{1}{2}\times6.0\times10^{-27}\times v^2+0$$

$$v^2=\frac{2\times3.0\times10^{-17}}{6.0\times10^{-27}}=1.0\times10^{10}$$

vは速さなのでマイナスにはなりませんね。

よって　$v=\sqrt{1.0\times10^{10}}=$ **1.0×10^5〔m/s〕** …答

3

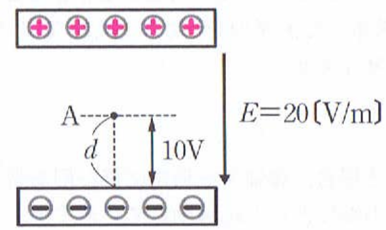
力学的エネルギー保存則

（運動エネルギー）＋（位置エネルギー）＝（一定）

静電気力のみが物体にはたらくとき

（運動エネルギー）＋（静電気力による位置エネルギー）＝（一定）

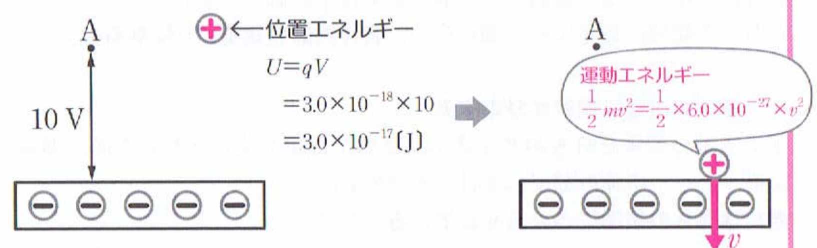
問3-5



(1)　$V=Ed$より　$10=20\times d$

$d=$ **0.50〔m〕** …答

(2)



力学的エネルギー保存則より

$$\underbrace{0}_{\text{運動エネルギー}}+\underbrace{3.0\times10^{-17}}_{\text{位置エネルギー}}=\underbrace{\frac{1}{2}\times6.0\times10^{-27}\times v^2}_{\text{運動エネルギー}}+\underbrace{0}_{\text{位置エネルギー}}$$

$v=$ **1.0×10^5〔m/s〕** …答

ここまでやったら
別冊 P. 11へ

3-7 電場中の導体の性質

ココをおさえよう！

電場中の導体の性質
① 導体内部の電場は0。
② 導体の表面に電荷が分布する（内部には分布しない）。
③ 導体内部は等電位。

このChapterの最後に，金属の導体を電場に差し込んだときの性質を学びましょう。
$+Q$〔C〕に帯電した金属板と$-Q$〔C〕に帯電した金属板を向かい合わせてできた一様な電場中に，導体を差し込んだ場合を考えます。

① 導体内部の電場は0

右ページの図のように導体が電場中にある場合，導体中を自由に飛び回る電子は，電場とは逆向きの静電気力を受け，導体の端にどんどん移動していきます。
電子が移動すると，導体内で「左側が負，右側が正」と，電荷の偏りが生じますね。
その電荷の偏りによって，導体内には，外部の電場とは逆向きの電場が生じます。
導体内部の電場は，外部の電場とは逆向きなので，導体内部の電場と外部の電場は互いに打ち消し合っています。
導体内では，外部の電場を打ち消すまで電子が偏ります。
これらの電場は完全に打ち消し合い，**導体内部の電場は0になる**のです。

② 導体の表面に電荷が分布する

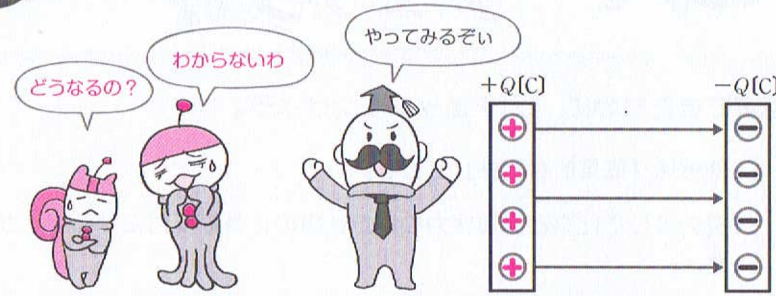
①で外部の電場を打ち消すために導体内に電場を生じさせたため，導体の表面に電荷があり，導体内部には電荷がありません。
電荷は導体の表面にのみ分布しているのです。

③ 導体内部は等電位

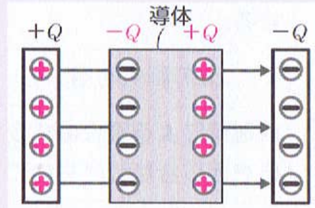
導体内部の電場が0ということは，導体内部には坂がないということです。
つまり高低差がないということなので，導体内に電位差はありません。
よって，**電場中の導体内部は等電位**となります。

これで電位についての学習は終了です。
電位はここから先のChapterでも登場するので，しっかり理解しましょう。

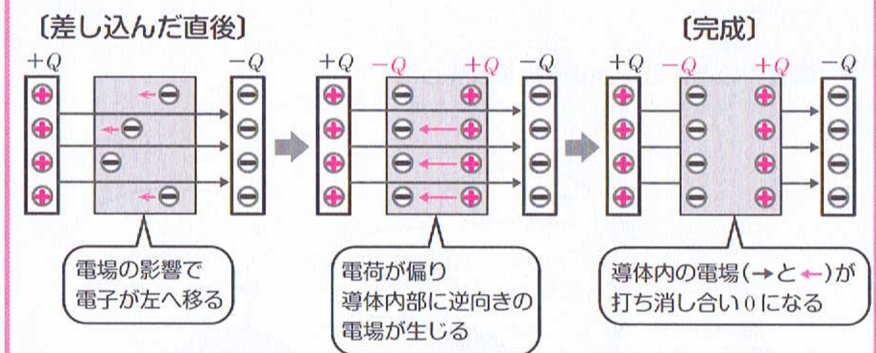
質問 電場中に導体を差し込むとどうなる？

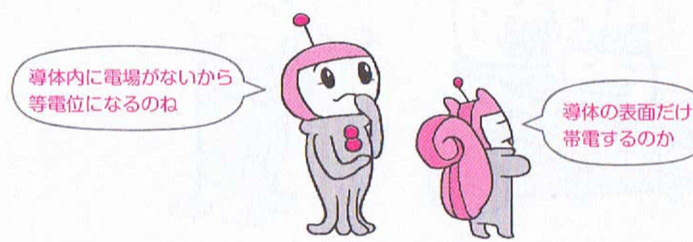


答え
① 導体内部の電場は0。
② 導体の表面に電荷が分布。
（内部には分布しない）
③ 導体内部は等電位。



【理由】





ここまでやったら
別冊 P. 12へ