# 順天堂大学医学部の物理

## 問題傾向と特徴

① 問題のレベルは易～標準レベルで煩雑な計算もなく、典型問題ばかりだが、難しい問題も何問か出題されている。

② 記述＆穴埋め形式。

③ 力学・電磁気・波動からは必ず出ている。

## 対策

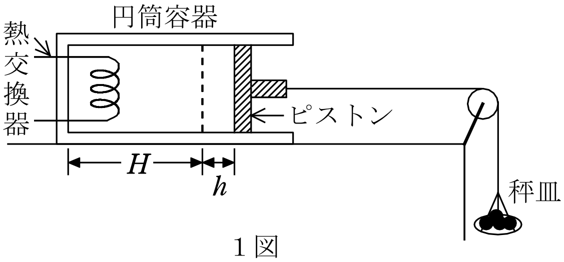
① 難易度の高い問題が数題出題されることがあるにしろ、基本問題や標準問題をしっかりと解けるようにしておくことが大事。難易度の高い問題よりも、むしろ、基本問題や標準問題を様々な角度から研究しておくことがそのまま高得点につながる。

② 見たことがあるような問題ばかりだが、問題の解き方を何となく覚えて、それを再現するような姿勢では他の受験生に差をつけることは難しい。難易度の高い問題にも手が出るようにしたいので、問題の解き方を根本的な部分から理解しておくことが重要。

# 1

次の文章を読んで，(1)〜(2) の空欄ア〜クを埋め ( ただし，カは語句)，(3)〜(4) に答えよ。

1 図のような，なめらかに動くピストンと熱交換器をもった円筒容器があって，断熱されている。容器内に大気と同じ圧力 $P_0$ の単原子分子の理想気体を閉じこめ ( 状態 A )，断熱容器を横向きにして机上に固定した。このとき，容器の底からピストンまでの距離は $H$ であった。次に，糸の一端をピストンにつなぎ，他端には，机の角にとりつけた滑車を通じて，質量の無視できる秤皿をつり下げた。この秤皿におもりを少しずつのせていくと，ピストンは容器内を移動するが，容器から抜け出ることはないものとする。ピストンの断面積を $S$，重力加速度の大きさを $g$ とする。また，ピストンは断熱材で作られており，熱交換器の断熱容器内の体積は無視できるものとする。



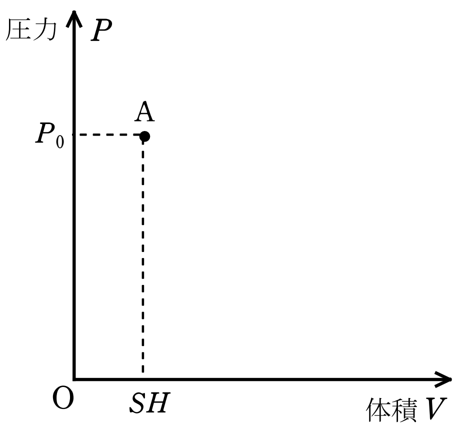

1 図

(1)　まず，熱交換器により，容器内の気体の温度を一定に保ちながら，おもりを質量 $M$ になるまで少しずつのせていったところ，ピストンは状態 A の位置からの移動距離が $h$ のところで静止した (状態 B)。このとき，容器内の気体の圧力は，力のつりあいの条件より $\boxed{\text{ア}}$ で与えられる。ボイルの法則からピストンの移動距離 $h$ は $h=\dfrac{H}{\boxed{\text{イ}}}-H$ で与えられる。このとき，容器内の気体がピストンになした仕事を $W$ とすると，容器内の気体が熱交換器より吸収した熱量は $\boxed{\text{ウ}}$ である。

(2)　次に，再び状態 A に戻し，熱交換器を止めて容器内の気体を断熱状態にする。この状態でおもりを質量 $M$ になるまで少しずつのせた。この場合には，ピストンは状態 A の位置からの移動距離が $h'$ のところで静止した ( 状態 C)。この断熱変化では （圧力 )×( 体積 )$^{\gamma}$＝一定 の関係式が成り立つことが知られている。ここで，$\gamma$ は比熱比とよばれ，単原子分子の理想気体では $\boxed{\text{エ}}$ という数値をとる。したがって，状態 A と状態 C の間に上の関係式を適用すると，ピストンの移動距離 $h'$ は，記号 $\gamma$ を用いて $h'=\dfrac{H}{\boxed{\text{オ}}}-H$ で与えられる。これは，断熱状態でのピストンの移動距離 $h'$ が，等温状態での移動距離 $h$ より $\boxed{\text{カ}}$ なることを示している。また引きつづいて，熱交換器により容器内の気体に熱量をゆっくりと与えて，状態 C より状態 B へ変化させる。このときに必要な熱量は，$h$，$h'$ を用いて表すと，気体がピストンにした仕事 $\boxed{\text{キ}}$ と，容器内の気体の内部エネルギーの増加分 $\boxed{\text{ク}}$ の和となる。

(3)　状態 C の温度が，状態 A の温度に比べてどう変わるかを，その理由もあわせて 100 字程度で記せ。

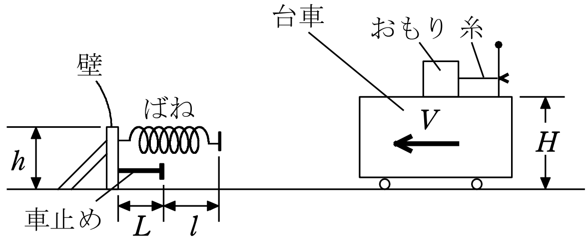
(4)　2 図をもとにして，(1) 等温過程 ( A ⟶ B) と(2)断熱過程 ( A ⟶ C ) の $P$ ( 圧力 ) $V$ ( 体積 ) グラフを，その違いがよくわかるようにかけ。また，(1) の等温変化で，容器内の気体がピストンになした仕事 $W$ に対応する部分を斜線で示せ。




2 図

## 2

質量$M$，高さ$H$の台車が速度$V$で水平な台上を等速運動しており，台車の上面にはピンと糸で質量$m$のおもりがつながっている。一方この台車の前方には高さ$h$の壁が立っており，壁の右側には長さ$L$の車止めと，長さ$(L+l)$，ばね定数$k$のばねからなる緩衝器が取り付けられている。糸の質量は無視でき，おもりと台車の間の摩擦もないものとして，以下の問いに答えよ。




(1)　台車が車止めに接触するためのばね定数$k$の上限値$k_u$を求めよ。ただし，台車の車輪は台から離れることはないものとする。

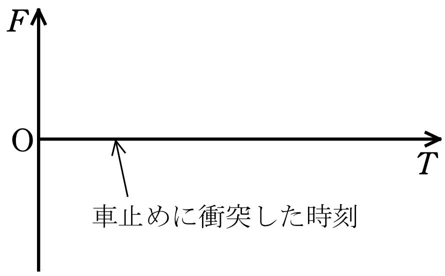
(2)　$k<k_u$のとき，台車が車止めに衝突する直前の速度$v$を求めよ。

(3)　(2)において，台車が車止めに衝突する直前の糸の張力$f_0$を求めたい。以下の文章はその解法を示す。文中の(ア)～(ウ)に当てはまる数式を記入せよ。ただし，紙面上の右から左に向かう方向(台車の進行方向)を力および加速度のベクトルの正方向として解答すること。

「台車がばねに衝突した後，ばねが長さ$x\,(0\leqq x\leqq l)$だけ縮んだ瞬間を考える。このときの台車の加速度を$\alpha(x)$，糸に作用する張力を$f(x)\ (>0)$とすると，台車はばねの反発力と糸の張力を同時に受けるから，台車に関する運動方程式は$\boxed{\text{ア}}$で表せる。同様にして，おもりに関する運動方程式は$\boxed{\text{イ}}$で表せる。これら2つの運動方程式と，台車が車止めに衝突する直前では$x=l$であることを考慮すると，$f_0=f(l)=\boxed{\text{ウ}}$を得る。」

(4)　(2)において，台車が車止めに衝突する直前に糸を切断すると，おもりは台車の上をすべり，ついには台車を離れ，その後重力加速度$g$のもとで自由落下する。おもりを質点とみなし，かつ壁の厚さを無視できるものとすると，おもりが壁を越えるためには，壁の高さ$h$はいくら未満でなければならないか。ただし，糸を切断するときはおもりに何らの力も及ぼさないものとする。

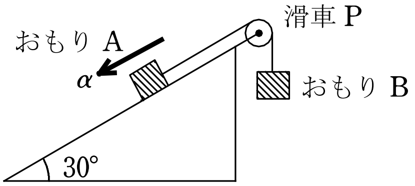
(5)　(4)において，車止めの先端には吸盤が付いており，台車が車止めに接触した後，台車は車止めから決して離れないものとする。このとき台車から車止めに作用する水平方向の力$F$は時間$T$とともにどのように変化するか。その変化の概略を右のグラフ上に記入せよ。



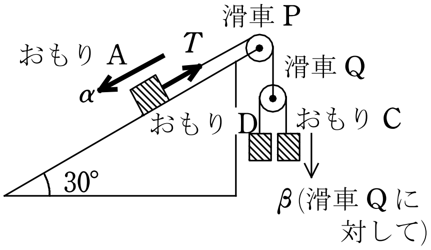
## 3

次の文中の$\boxed{\phantom{ア}}$の中にあてはまる数値を求め，$x\times10^{y}$ の形で表せ。

質量 $M$〔kg〕のおもり A を水平と傾き 30° をなすなめらかな斜面上に置き，糸でおもり B と結び，1 図のように，なめらかな滑車 P にかけた。滑車 P および糸の重さは無視できるものとする。また，計算にあたっては，重力加速度には，10 m/s$^2$ を用いよ。




1 図




2 図

(1) おもり A および B を固定した後，同時に静かにそれらの固定をはずすと，おもり A は斜面に沿ってすべり下り始め，2.0 秒後には斜面に沿ってすべり始めた点から測って 4.0 m の点を通過した。このとき，糸にはたらいている張力は$\boxed{\text{ア}}\times M$〔N〕である。なお，おもり A が，このように斜面をすべり下りるとすると，おもり A の質量は，おもり B の質量の$\boxed{\text{イ}}$倍である。

(2) 次に，おもり A を元の位置にもどし，おもり B をはずしその代わりに滑車 Q を糸で結んだ。そして，質量 $3m$〔kg〕のおもり C と質量 $m$〔kg〕のおもり D とを糸で結び，2 図のように，なめらかな滑車 Q にかけた。滑車 Q の重さは無視できるものとする。おもり C と D を同じ高さにし，おもり A, C, D を固定した後，同時に静かにそれらの固定をはずすと，2 図中に示した方向に，おもり A は斜面に沿って加速度 $\alpha$〔m/s$^2$〕で下り始め，同時におもり C, D は，滑車 Q に対する加速度 $\beta$〔m/s$^2$〕 で動き始めた。おもり A と滑車 Q とを結ぶ糸の張力を $T$〔N〕とする。おもり A がすべり下り始めた位置より斜面に沿って $l$〔m〕すべったとき，おもり C と D との高さの差は，次の式で表せる。

$$(\text{高さの差})=\boxed{\text{ウ}}\times\frac{\beta}{\alpha}\cdot l\ \text{〔m〕}$$

おもり A, C, D の運動方程式は，次の各式で表せる。おもり A について：$M\alpha+T+\boxed{\text{エ}}\times M=0$

おもり C について：$\boxed{\text{オ}}\times m\alpha+3m\beta+\boxed{\text{カ}}\times T+\boxed{\text{キ}}\times m=0$

おもり D について：$\boxed{\text{ク}}\times m\alpha+m\beta+\boxed{\text{ケ}}\times T+\boxed{\text{コ}}\times m=0$

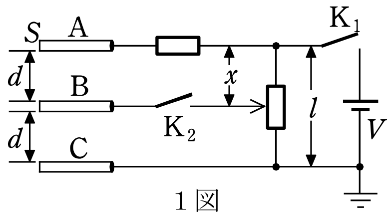
2 図のように，おもり A が斜面をすべり下りるためには，$M$ と $m$ との間で，次の関係が成り立っている。

$$M>\boxed{\text{サ}}\times m$$

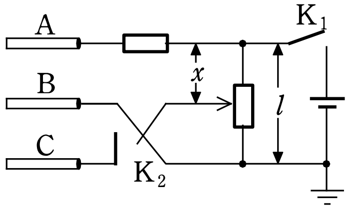
# 4

面積 $S$ をもつ3つの極板A，B，Cが間隔 $d$ で並んでいる平行板コンデンサーを用いて1図のような回路をつくる。極板の間の空間は真空とし，真空の誘電率を $\varepsilon_0$ とする。ただし，$\varepsilon_0$ は真空中でのクーロンの法則の比例定数 $k_0$ と，

$\varepsilon_0=\dfrac{1}{4\pi k_0}$ の関係がある。電池(内部抵抗は無視できる)は起電力 $V$，すべり抵抗器は全長 $l$ の一様な抵抗線で，その一部分の長さを $x$ とする。最初，スイッチ $K_1$，$K_2$ は開いており，極板には電荷がたくわえられていないものとする。




1図




2図

スイッチ $K_1$ を閉じて十分に時間がたった。AC間の静電容量は $\boxed{\ 1\ }$ であり，Aにたくわえられる電荷 $Q$ は $Q=\boxed{\ 2\ }$，Bにたくわえられる電荷は $\boxed{\ 3\ }$ である。Aでの単位面積あたりの電荷 $\sigma$ は $\sigma=\boxed{\ 4\ }$，AB間の空間における電界(電場)の強さ $E$ は $E=\boxed{\ 5\ }$ であり，$\sigma$ と $E$ との関係は $\sigma=\boxed{\ 6\ }$ となる。さらにスイッチ $K_2$ も閉じて十分に時間がたった。AB間の空間における電界の強さは $\boxed{\ 7\ }\cdot E$，BC間の空間における電界の強さは $\boxed{\ 8\ }\cdot E$ である。Aにたくわえられた電荷は $\boxed{\ 9\ }\cdot Q$，Cにたくわえられた電荷は $\boxed{\ 10\ }\cdot Q$ であり，$K_2$ を通じてBに流れ込んだ電荷は $\boxed{\ 11\ }\cdot Q$ である。次に1図の回路のBとCの接続を入れかえ，2図のような回路にする。スイッチ $K_1$，$K_2$ を閉じて十分に時間がたった。AB間の空間における電界は $\boxed{\ 12\ }$ 向きで強さは $\boxed{\ 13\ }\cdot E$，BC間の空間における電界は $\boxed{\ 14\ }$ 向きで強さは $\boxed{\ 15\ }\cdot E$ である。このときBにたくわえられる電荷は $\boxed{\ 16\ }\cdot Q$ である。

# 1

解説

(1) (ア) $P=\boldsymbol{P_0-\dfrac{Mg}{S}}$

(イ) $P_0SH=\left(P_0-\dfrac{Mg}{S}\right)S(H+h)$　　ゆえに　$h=\boldsymbol{\dfrac{H}{1-\dfrac{Mg}{P_0S}}-H}$

(ウ) 等温変化であるから，$\boldsymbol{W}$

(2) (エ) $\gamma=\dfrac{C_P}{C_V}=\dfrac{\dfrac{5}{2}R}{\dfrac{3}{2}R}=\boldsymbol{1.7}$

(オ) $P_0(SH)^\gamma=\left(P_0-\dfrac{Mg}{S}\right)\{S(H+h')\}^\gamma$

$(H+h')^\gamma=\dfrac{P_0SH^\gamma}{P_0S-Mg}=\dfrac{H^\gamma}{1-\dfrac{Mg}{P_0S}}$　　ゆえに　$h'=\boldsymbol{\dfrac{H}{\sqrt[\gamma]{1-\dfrac{Mg}{P_0S}}}-H}$

(カ) $1-\dfrac{Mg}{P_0S}<1$　より　$1-\dfrac{Mg}{P_0S}<\sqrt[\gamma]{1-\dfrac{Mg}{P_0S}}$　　ゆえに　$h'<h$

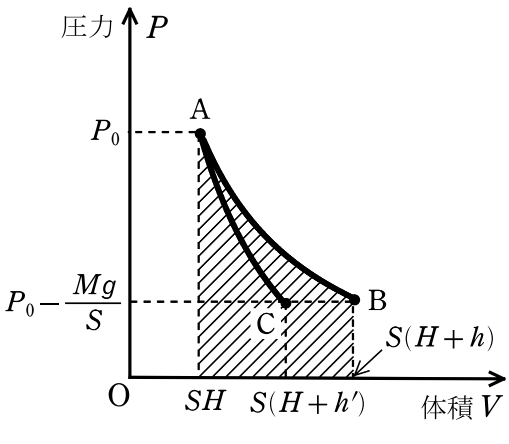
(キ) $W=\left(P_0-\dfrac{Mg}{S}\right)\{S(H+h)-S(H+h')\}=(\boldsymbol{P_0S-Mg})(\boldsymbol{h-h'})$

(ク) $\Delta U=\dfrac{3}{2}nR(T_{\mathrm{B}}-T_{\mathrm{C}})=\dfrac{3}{2}nR\left(\dfrac{P_{\mathrm{B}}V_{\mathrm{B}}}{nR}-\dfrac{P_{\mathrm{C}}V_{\mathrm{C}}}{nR}\right)=\dfrac{3}{2}P_{\mathrm{B}}(V_{\mathrm{B}}-V_{\mathrm{C}})$

$=\dfrac{3}{2}\left(P_0-\dfrac{Mg}{S}\right)S(h-h')=\boldsymbol{\dfrac{3}{2}(P_0S-Mg)(h-h')}$

(3) 断熱膨張であるから，熱力学第一法則より，気体が外にした仕事分だけ気体の内部エネルギーが減少する。内部エネルギーは絶対温度に比例するから，状態Cのほうが状態Aより温度が下がる。

(4) 右図の通り。




# 2

解説

(1) ばね定数が $k_u$ のとき，ばねの縮みが $l$ となる。

$\dfrac{1}{2}(M+m)V^2=\dfrac{1}{2}k_ul^2$　　ゆえに　$k_u=\boldsymbol{\dfrac{(M+m)V^2}{l^2}}$

(2) $\dfrac{1}{2}(M+m)V^2=\dfrac{1}{2}(M+m)v^2+\dfrac{1}{2}kl^2$　　ゆえに　$\boldsymbol{v=\sqrt{V^2-\dfrac{kl^2}{M+m}}}$

(3) (ア)　$\boldsymbol{M\alpha(x)=f(x)-kx}$

(イ)　$\boldsymbol{m\alpha(x)=-f(x)}$

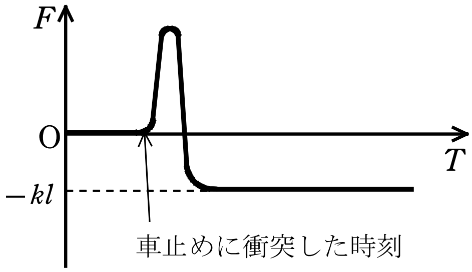
(ウ)　$f(x)=\dfrac{mkx}{M+m}$　　$x=l$ とおくと　$f_0=\boldsymbol{\dfrac{mkl}{M+m}}$

(4)　おもりは速さ $v$ で水平投射され，水平距離 $L$ を進む時間 $t$ の間の落下距離が $H-h$ より小さければよい。

$L=vt$　　ゆえに　$t=\dfrac{L}{v}$

$\dfrac{1}{2}gt^2<H-h$　　ゆえに　$h<H-\dfrac{1}{2}gt^2=\boldsymbol{H-\dfrac{gL^2(M+m)}{2\{(M+m)V^2-kl^2\}}}$

(5)　台車が車止めに接触する前は $F=0$ である。接触後静止するまでの微小時間 $\Delta t$ の間は平均の力 $\dfrac{-Mv}{\Delta t}$，その後台車は静止を続けるので，車止めから左向きに大きさ $kl$ の力を受けるから，車止めは台車から右向きに大きさ $kl$ の力を受ける。右図。




# 3

(解説)

(1)　加速度の大きさを $a$ [m/s²]，糸の張力の大きさを $T$ [N]，おもり B の質量を $m$ [kg] とすると，A と B の運動方程式は

$Ma=Mg\sin 30°-T$，$ma=T-mg$

ゆえに　$a=\dfrac{M-2m}{2(M+m)}g$，$T=\dfrac{3Mmg}{2(M+m)}$

$4.0=\dfrac{1}{2}a\times 2.0^2$　　ゆえに　$a=2.0=\dfrac{M-2m}{2(M+m)}\times 10$　　よって　$m=\dfrac{M}{4}$

(ア)　$T=\dfrac{3M\times\dfrac{M}{4}\times 10}{2\times\left(M+\dfrac{M}{4}\right)}=\boldsymbol{3.0\times 10^0}\times M$ [N]

(イ)　$\dfrac{M}{m}=4=\boldsymbol{4.0\times 10^0}$ (倍)

(2) (ウ)　A が $l$ [m] すべるのに要した時間を $t$ [s] とすると　$l=\dfrac{1}{2}\alpha t^2$　　ゆえに　$t=\sqrt{\dfrac{2l}{\alpha}}$ [s]

この時間で，C と D の高さの差が $x$ になったとすると

$\dfrac{x}{2}=\dfrac{1}{2}\beta t^2=\dfrac{\beta l}{\alpha}$　　ゆえに　$x=\boldsymbol{2.0\times 10^0}\times\dfrac{\beta}{\alpha}\,l$ [m]

(エ)　$M\alpha=Mg\sin 30°-T$　　ゆえに　$M\alpha+T-\boldsymbol{5.0\times 10^0}\times M=0$

(オ),(カ),(キ)　C には下向きの重力 $3mg$ [N] と慣性力 $3m\alpha$ [N]，上向きの糸の張力 $\dfrac{T}{2}$ [N] がはたらくので　$3m\beta=3mg+3m\alpha-\dfrac{T}{2}$

ゆえに　$\boldsymbol{-3.0\times 10^0}\times m\alpha+3m\beta+\boldsymbol{5.0\times 10^{-1}}\times T-\boldsymbol{3.0\times 10^1}\times m=0$

(ク), (ケ), (コ)　$m\beta = \frac{T}{2} - mg - m\alpha$

ゆえに　$1.0\times10^{0}\times m\alpha + m\beta - 5.0\times10^{-1}T + 1.0\times10^{1}\times m = 0$

(サ)　3つの運動方程式から $\alpha$, $\beta$ を消去して $T$ を求めると $T = \frac{45Mm}{M+3m}$ [N]

A がすべり下りるためには，$Mg\sin 30°$ が $T$ より大きければよい

$5M > \frac{45Mm}{M+3m}$　　ゆえに　$M > 6.0\times10^{0}\times m$

# 4

解説

(1)　$C_{AC} = \varepsilon_0 \frac{S}{2d}$

(2)　$Q = C_{AC}V = \frac{\varepsilon_0 SV}{2d}$

(3)　B の上面には $-Q$，下面には $+Q$ が現れるから合計 0 となる。

(4)　$\sigma = \frac{Q}{S} = \frac{\varepsilon_0 SV}{2d}\cdot\frac{1}{S} = \frac{\varepsilon_0 V}{2d}$

(5)　AB 間，BC 間の電場の強さは同じで　$E = \frac{V}{2d}$

(6)　(4) と (5) から　$\sigma = \varepsilon_0 E$

(7)　$V_{AB} = \frac{x}{l}V$,　$E_{AB} = \frac{V_{AB}}{d} = \frac{1}{d}\cdot\frac{x}{l}V = \frac{2x}{l}\cdot\frac{V}{2d} = \frac{2x}{l}E$

(8)　$V_{BC} = \frac{l-x}{l}V$,　$E_{BC} = \frac{V_{BC}}{d} = \frac{1}{d}\cdot\frac{l-x}{l}V = \frac{2(l-x)}{l}\cdot\frac{V}{2d} = \frac{2(l-x)}{l}E$

(9)　$Q_A = C_A V_{AB} = \varepsilon_0 \frac{S}{d}\cdot\frac{x}{l}V = \frac{2x}{l}\cdot\frac{\varepsilon_0 SV}{2d} = \frac{2x}{l}Q$

(10)　$-Q_C = -C_{BC}V_{BC} = -\varepsilon_0\frac{S}{d}\cdot\frac{l-x}{l}V = -\frac{2(l-x)}{l}\cdot\frac{\varepsilon_0 SV}{2d} = -\frac{2(l-x)}{l}Q$

(11)　$Q_B = -Q_A + Q_C = -\frac{2x}{l}Q + \frac{2(l-x)}{l}Q = \frac{2(l-2x)}{l}Q$

(12) 下

(13) $E_{\mathrm{AB}}{}' = \dfrac{V}{d} = 2 \cdot \dfrac{V}{2d} = \boldsymbol{2E}$

(14) 上

(15) $E_{\mathrm{BC}}{}' = \dfrac{\dfrac{l-x}{l}V}{d} = \dfrac{2(l-x)}{l} \cdot \dfrac{V}{2d} = \dfrac{\boldsymbol{2(l-x)}}{\boldsymbol{l}}E$

(16) $Q_{\mathrm{B}}{}' = -C_{\mathrm{AB}}V - C_{\mathrm{BC}} \cdot \dfrac{l-x}{l}V = -\varepsilon_0\dfrac{S}{d} \cdot V - \varepsilon_0\dfrac{S}{d} \cdot \dfrac{l-x}{l}V$

$= -\left(1 + \dfrac{l-x}{l}\right)\varepsilon_0\dfrac{SV}{d} = -\dfrac{2(2l-x)}{l} \cdot \dfrac{\varepsilon_0 SV}{2d} = \boldsymbol{-\dfrac{2(2l-x)}{l}}Q$