

3 次の文を読み、以下の問いに答えよ。(配点比率 医： $\frac{1}{3}$ ，教・工・応生： $\frac{1}{4}$)

図に示すように、一辺 a [m]の正方形の金属板を極板とする平行板コンデンサーが起電力 V [V]の充電可能な電池に、スイッチ S を介して接続されている。極板間の距離は d [m]である。このコンデンサーに、厚さ d 、上下面が極板と同形である、誘電率 ε [F/m]の誘電体の板が、極板の辺に沿うように挿入されている。コンデンサーを充電した後、誘電体をコンデンサーから引き出すとき、どのような力がはたらくかを調べたい。

以下では、誘電体の位置を、極板の左端から誘電体の左端までの距離 x [m]で表すことにする。以下の問いに解答するとき、極板の端の効果、電池の内部抵抗、導線の抵抗、摩擦力は無視できるものとする。なお、コンデンサーは大気中におかれており、空気の誘電率は、真空の誘電率 ε_0 [F/m]に等しいとしてよい。

問 1 誘電体が $x = 0$ の位置にあるとき、スイッチ S を閉じ、回路が安定するまで十分に充電してから、スイッチ S を開いた。このとき、極板に帯電している電荷 Q_0 [C]はいくらか。

問 2 問 1 の操作の後、スイッチ S を開いたまま、誘電体を極板から距離 x 引き出した。このときの、コンデンサーの電気容量 C [F]と、蓄えられた静電エネルギー U [J]を求めよ。なお、答えは $a, d, \varepsilon, \varepsilon_0, x, V$ の中から適するものを用いて表すこと。

問 3 一般に、物体には位置のエネルギーが小さくなる向きに力がはたらく。この考えを用いて、位置 x において誘電体にはたらく力の向きはどうか、答えよ。どのように推論を進めたか簡潔に述べよ。

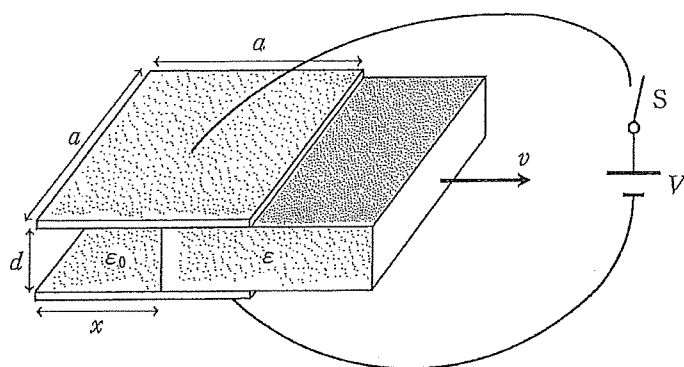
上記と同様のことを、スイッチ S を閉じたままで行うと、誘電体にはたらく力はどうかであろうか。位置 $x = 0$ で十分に充電した後、誘電体を一定の速さ v [m/s]で極板に沿って移動させた。

問 4 誘電体がある位置 x_1 [m]から、微小時間 Δt [s]の間に移動したとき、コンデンサーの電気容量の変化 ΔC [F]はいくらか。なお、答えは $a, d, \varepsilon, \varepsilon_0, v, V, \Delta t$ の中から適するものを用いて表すこと。

問 5 このとき、スイッチ S を流れる電流の大きさ I [A]と、その向きを答えよ。なお、電流 I は $a, d, \varepsilon, \varepsilon_0, v, V, \Delta t$ の中から適するものを用いて表すこと。

問 6 位置 x_1 における，外部から誘電体に加えている力の大きさを F [N] とする。時間 Δt の間のコンデンサーの静電エネルギーの変化量 ΔU_C [J] と，その間の電池の内部エネルギーの変化量 ΔU_B [J] と，力 F が誘電体にする仕事 ΔW [J] とを， I , v , V , F , Δt の中から適するものを用いて表せ。また，エネルギー保存則を用いて，力の大きさ F を求め， a , d , ϵ , ϵ_0 , v , V , Δt の中から適するものを用いて表せ。その向きも合わせて答えよ。

問 7 位置 x_1 における，誘電体にはたらく，極板からの力の大きさ f [N] と向きを答えよ。なお，力の大きさ f は a , d , ϵ , ϵ_0 , v , V , Δt の中から適するものを用いて表すこと。



図