

物理学

物理学概論

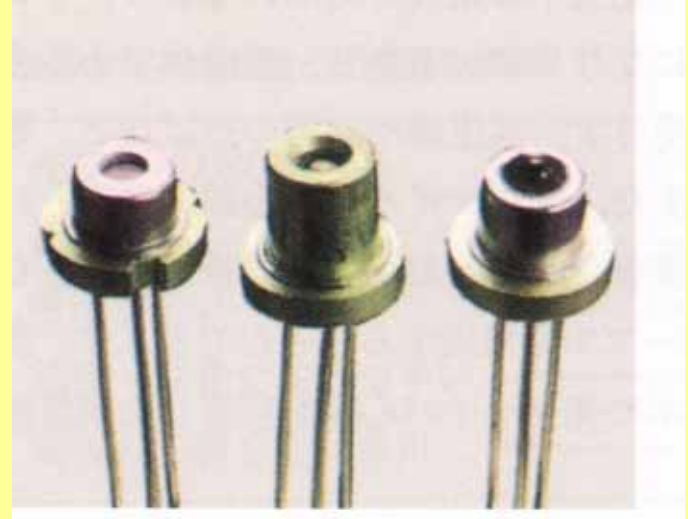
東海大学 理学部
物理学科



*Department of Physics School of Science
Tokai University*



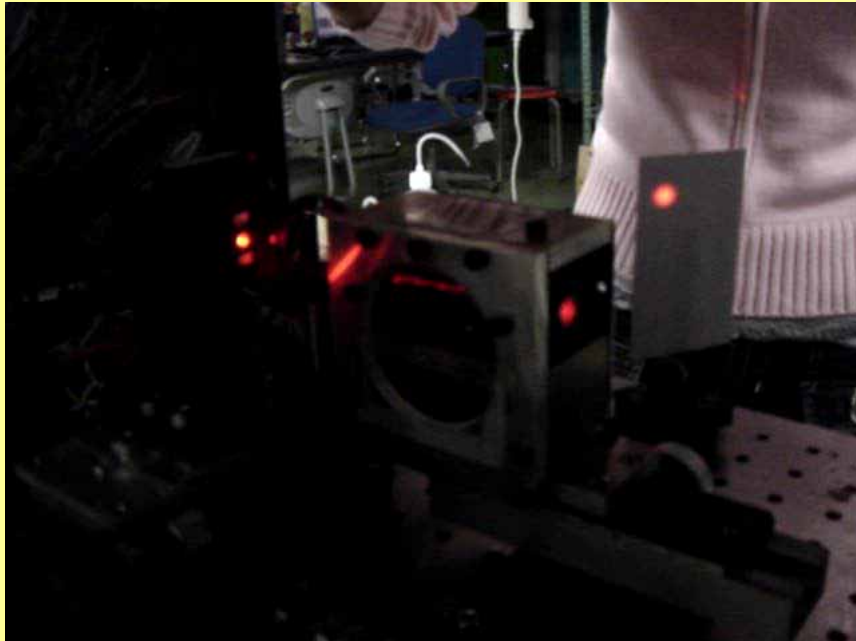
電磁波(光)による通信



- 時間多重(TDMA), 波長多重(WDMA)で
>1Tb/s幹線

強度の高いレーザーによる分子光散乱の観測 (麻酔ガス・呼気 の分析)

日本光電工業株式会社
(医療電子機器) ご提供



物理学科の
基礎研究

物理学で得られるより大事なこと (一生ものです！)

1. 当たり前だと思われることを
「式」という言語で説明する。

→ 誰にでも説明ができる共通語の修得

2. 「式」と「文章」を対応させる。

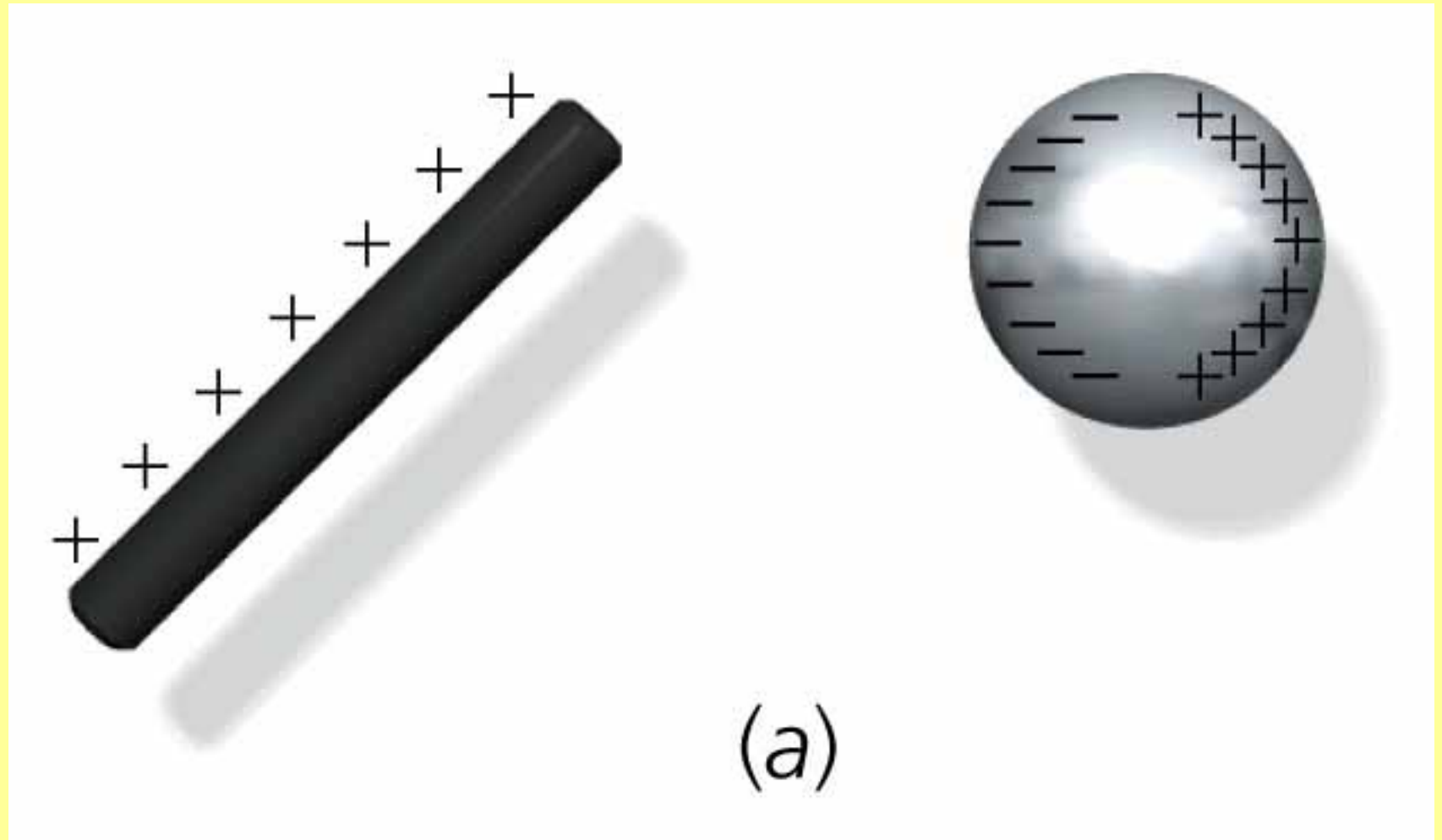
→ 言語力・論理性

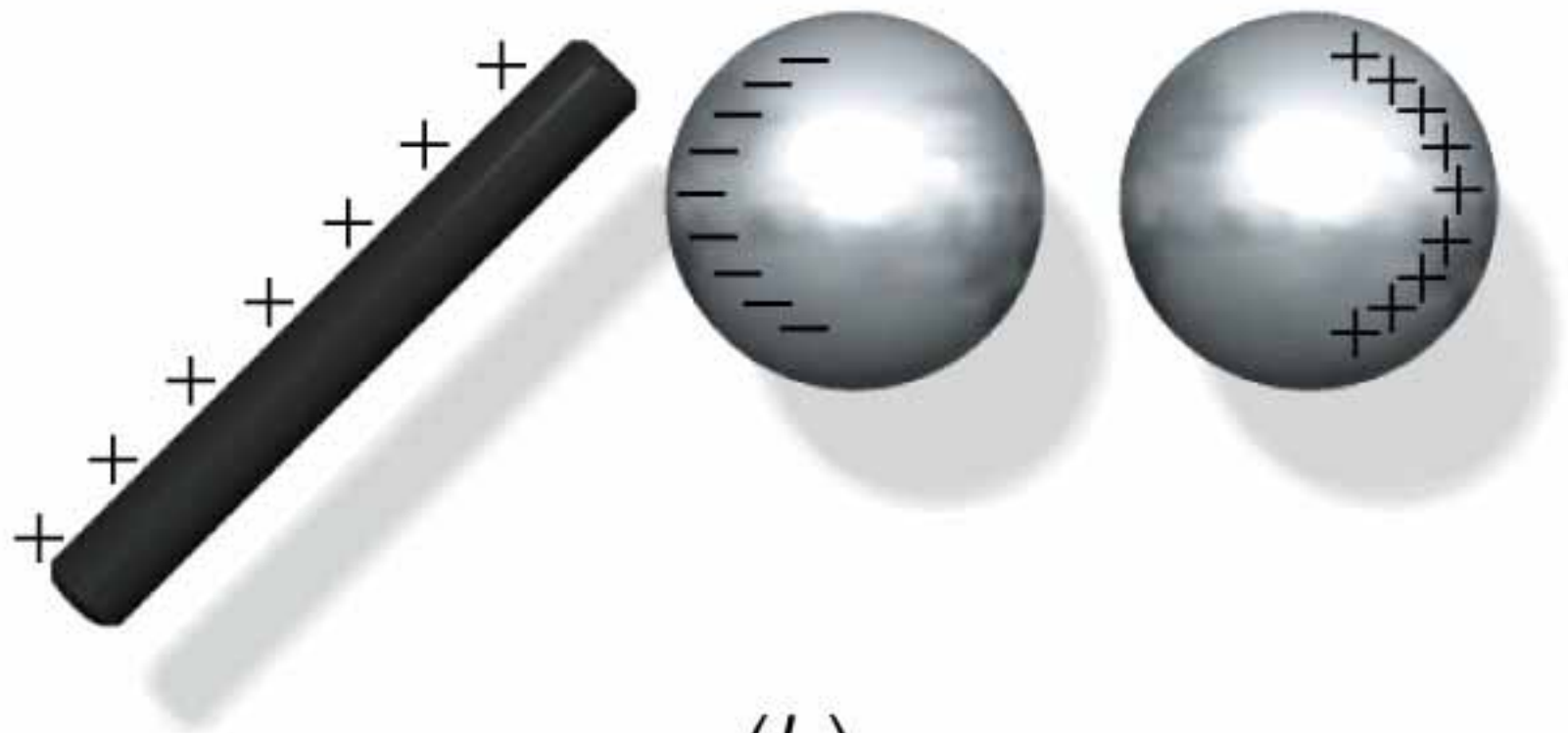
本日のメニュー

- 0. 摩擦と電気(15分)
- 1. 電荷と力、クーロンの法則、電場(電界)
(20分)
- 2. 電場と電気力線(20分)
- 3. ガウスの法則(20分)

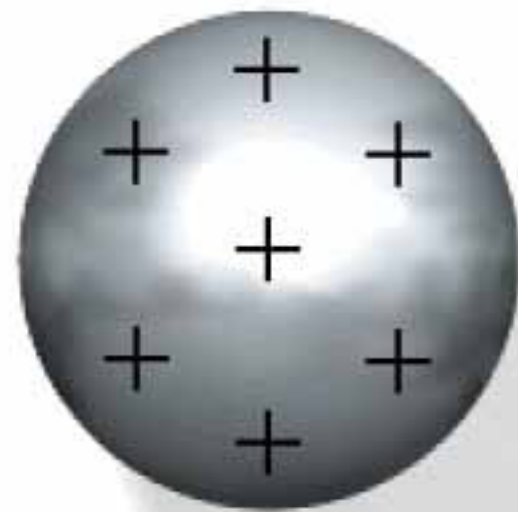
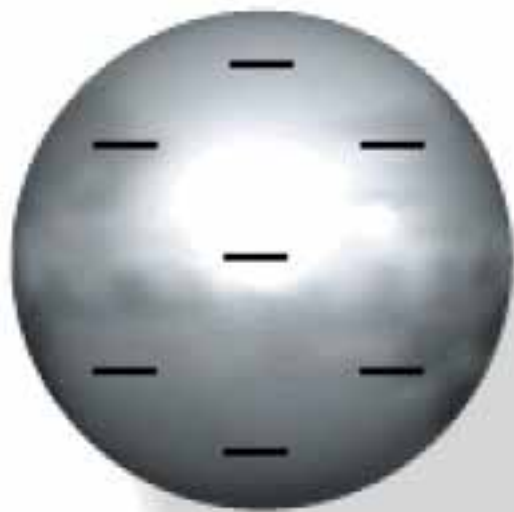
本日のポイント0

摩擦と電気



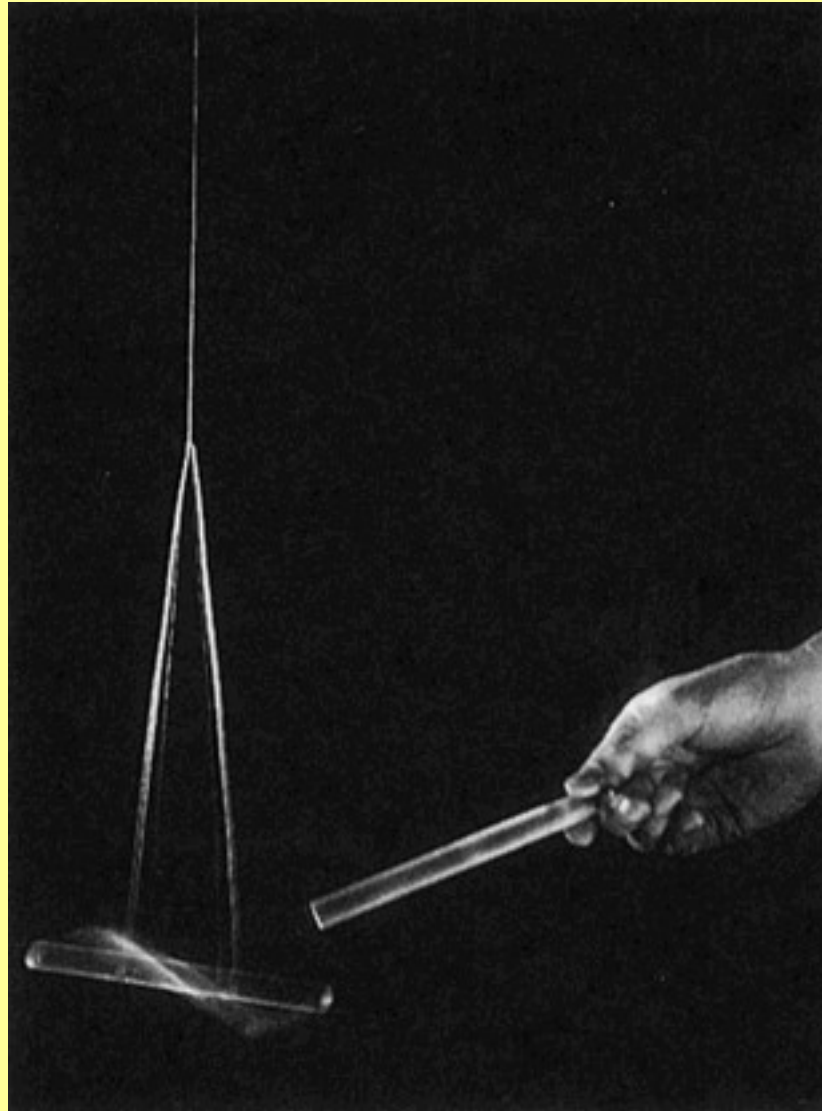


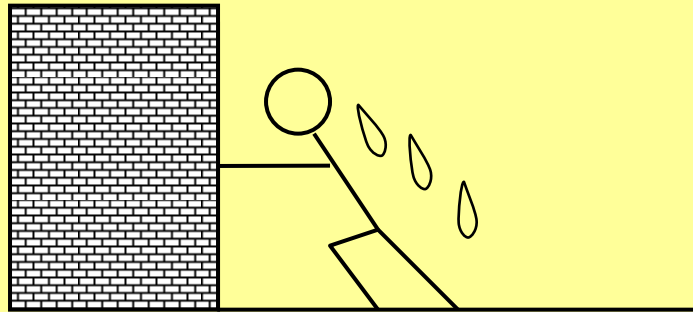
(b)



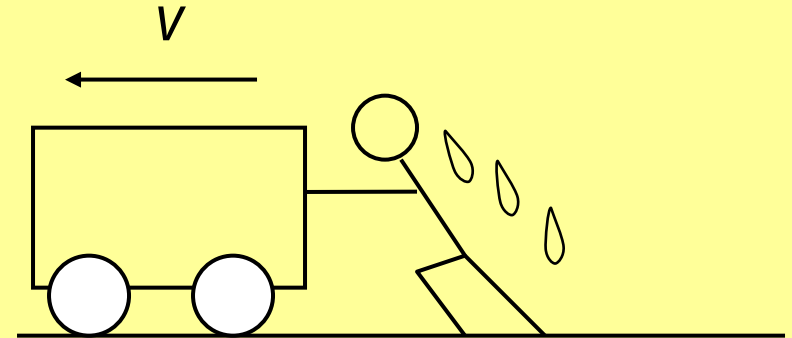
(c)



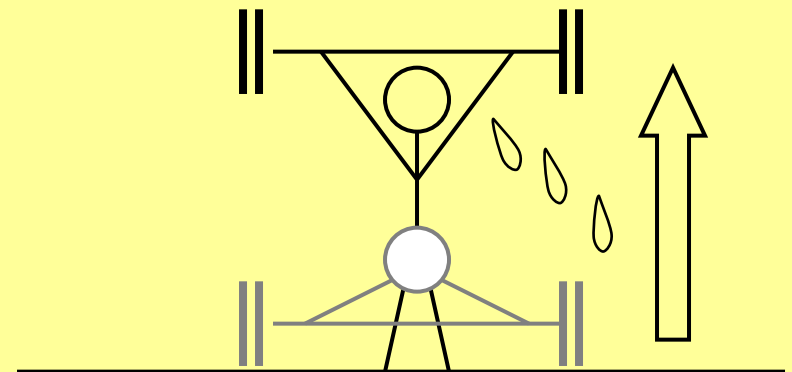




仕事をしていない

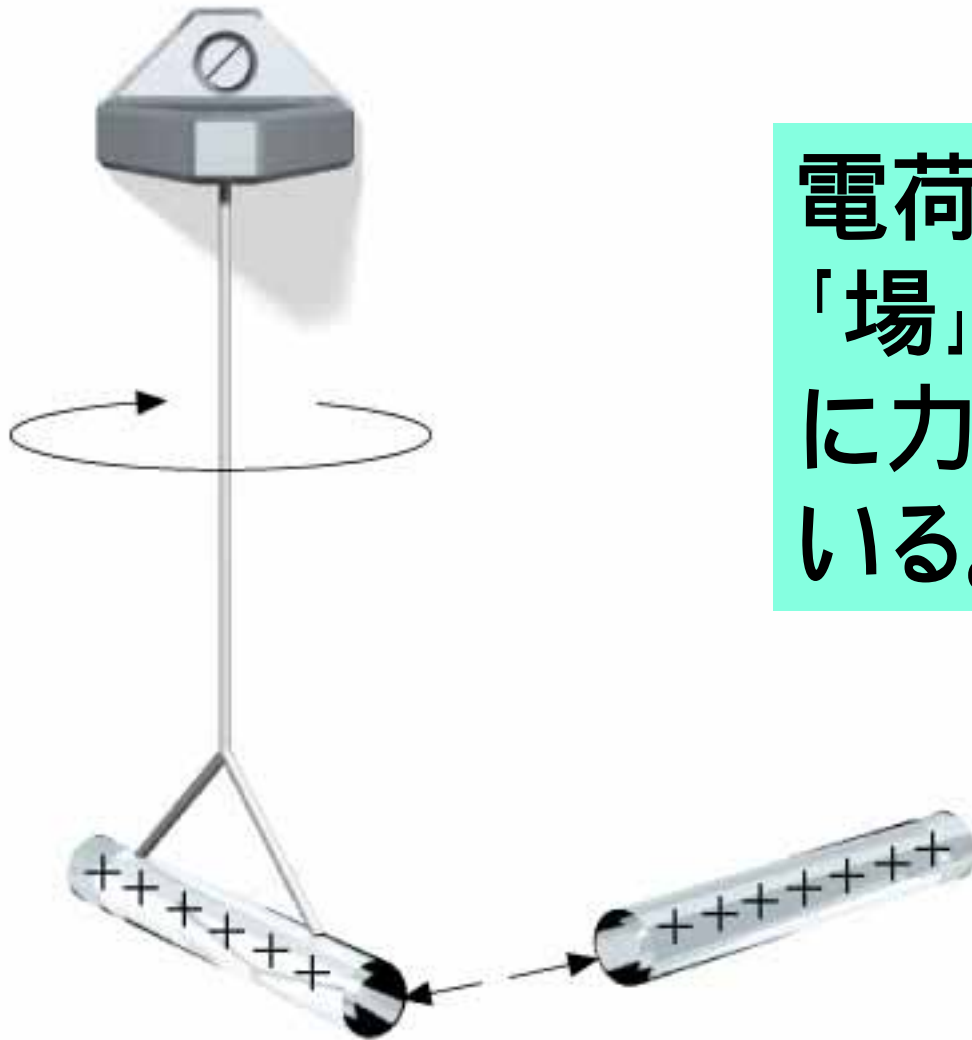


仕事をする

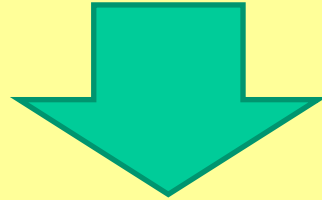




電荷が空間に
「場」を作り互い
に力を及ぼして
いる。



・電子が奪われやすいもののほど
プラスに帯電(電子を捕獲しやすい
ほどマイナスに帯電)



・電荷が空間に「場」を作り互いに力を及ぼしている。
→ 結構強い力である。

本日のポイント1

- ・電荷と力、クーロンの法則、電場(電界)

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$$F = Q \cdot E$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\mathbf{F} = Q \cdot \mathbf{E}$$

$$\mathbf{F}[\text{N}]$$

$$Q[\text{C}]$$

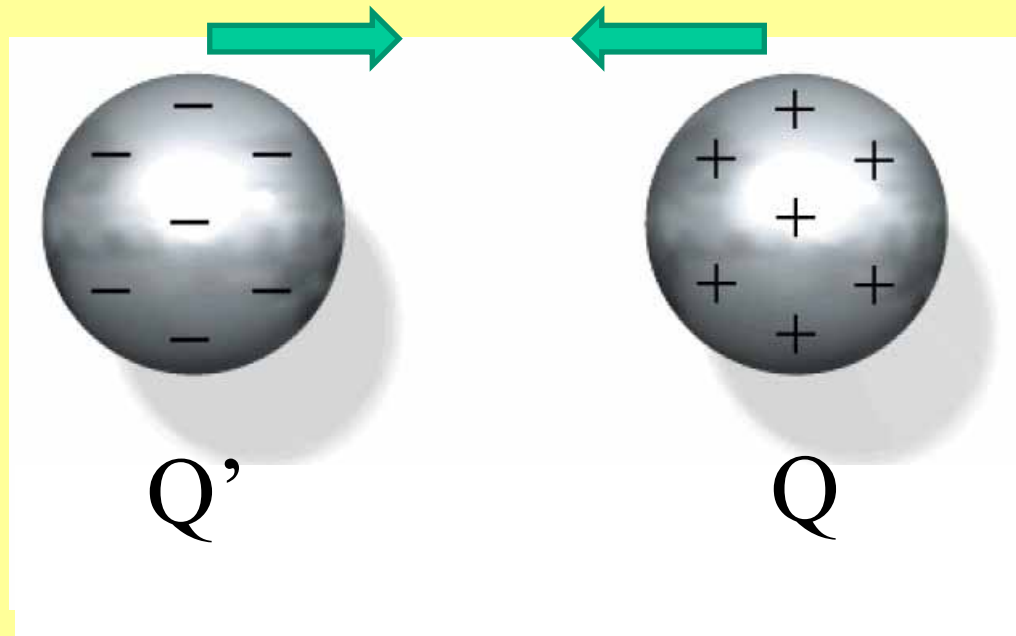
定数
(係数)

$$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \approx 9 \times 10^9$$

電場 E

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q \cdot Q'}{r^2} = Q \cdot E$$



電 場 E

$$F = \frac{1 \cdot \cancel{Q} \cdot Q'}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \cancel{Q} \cdot E$$

$$E = ?$$

電 場 E

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\cancel{Q} \cdot Q'}{r^2} = \cancel{Q} \cdot E$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q'}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

電 場 E

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\cancel{Q} \cdot Q'}{r^2} = \cancel{Q} \cdot E$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\cdot Q'}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

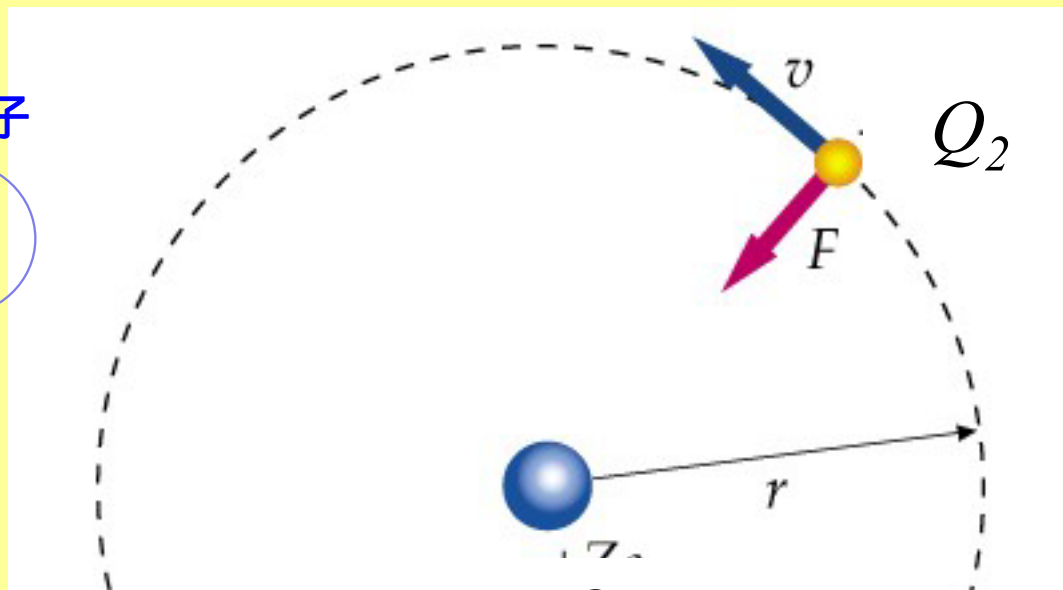
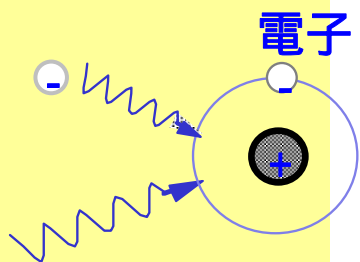
$$E = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{\cdot Q'}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{Q'}{\epsilon_0}$$

[N/C]

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad (\text{C}^2/\text{Nm}^2)$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \times 10^9 \text{ (Nm}^2/\text{C}^2)$$



$$E = 5.8 \times 10^{11} \text{ (N / C)}$$

この電場は、雷の10億倍程度

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$$\epsilon = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad (\text{C}^2/\text{Nm}^2)$$

電気力

$$F = 9.1 \times 10^{-8} \text{ N}$$

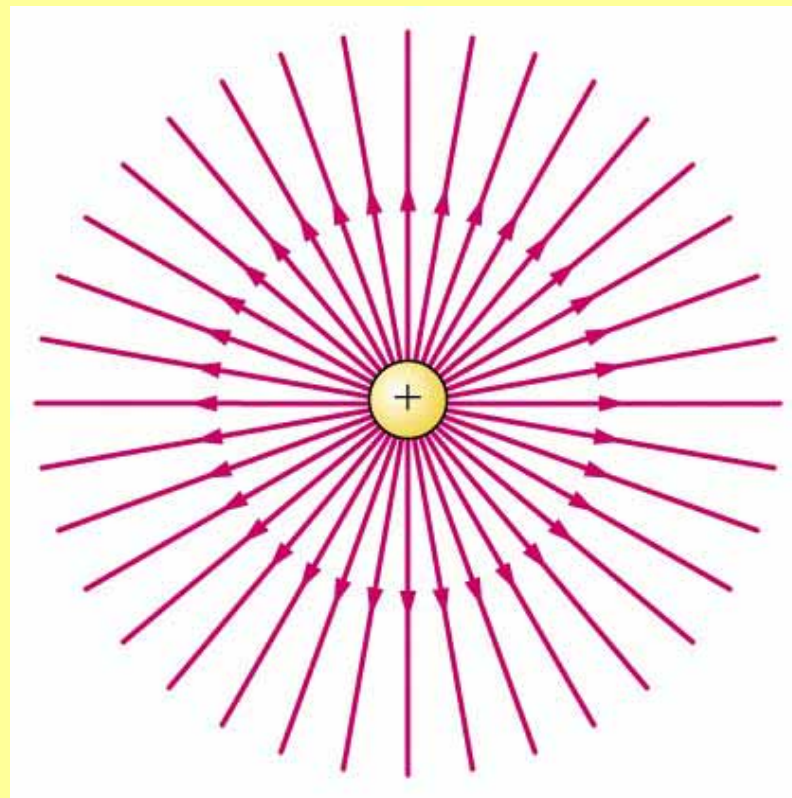
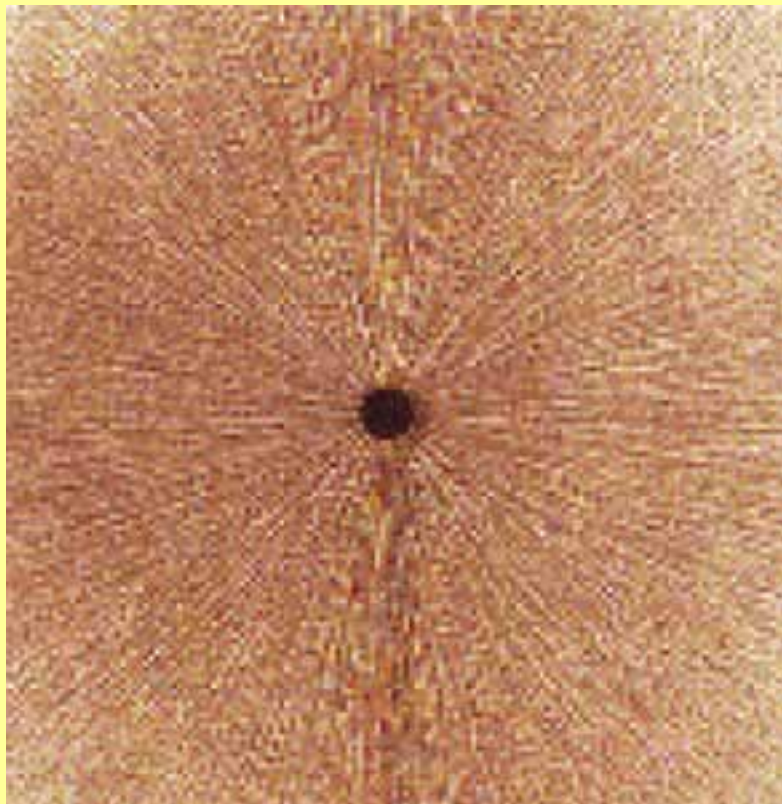
重力

$$F = 9 \times 10^{-29} \text{ N}$$

本日のポイント2

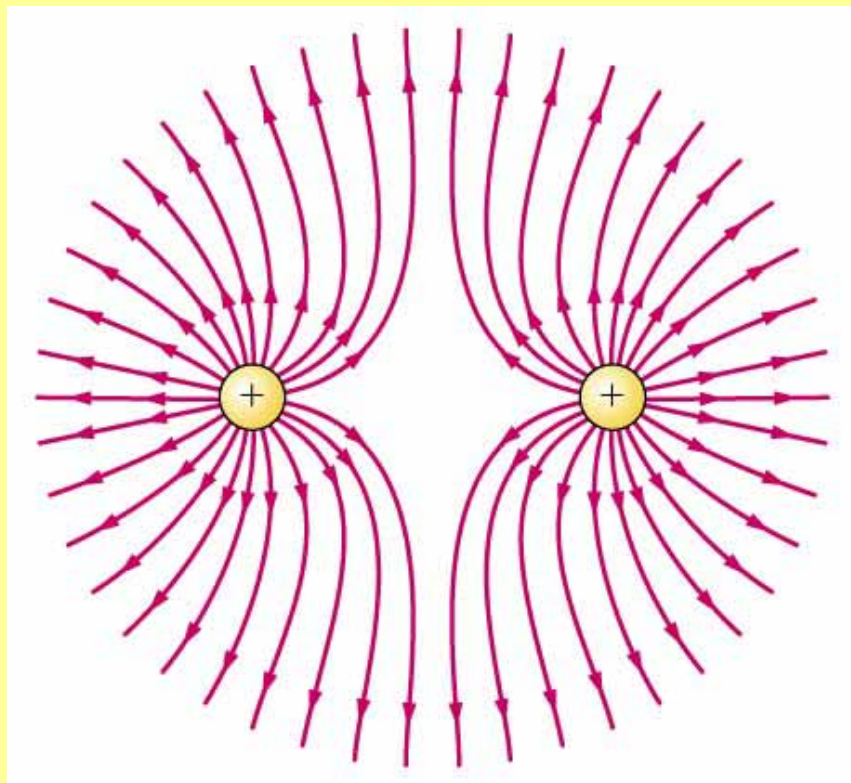
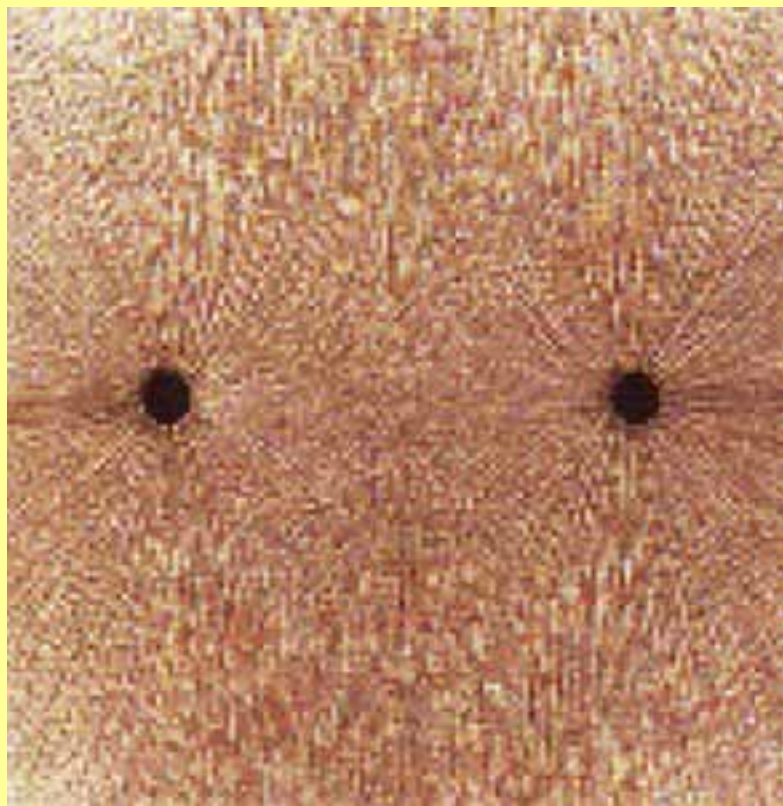
電場と電気力線

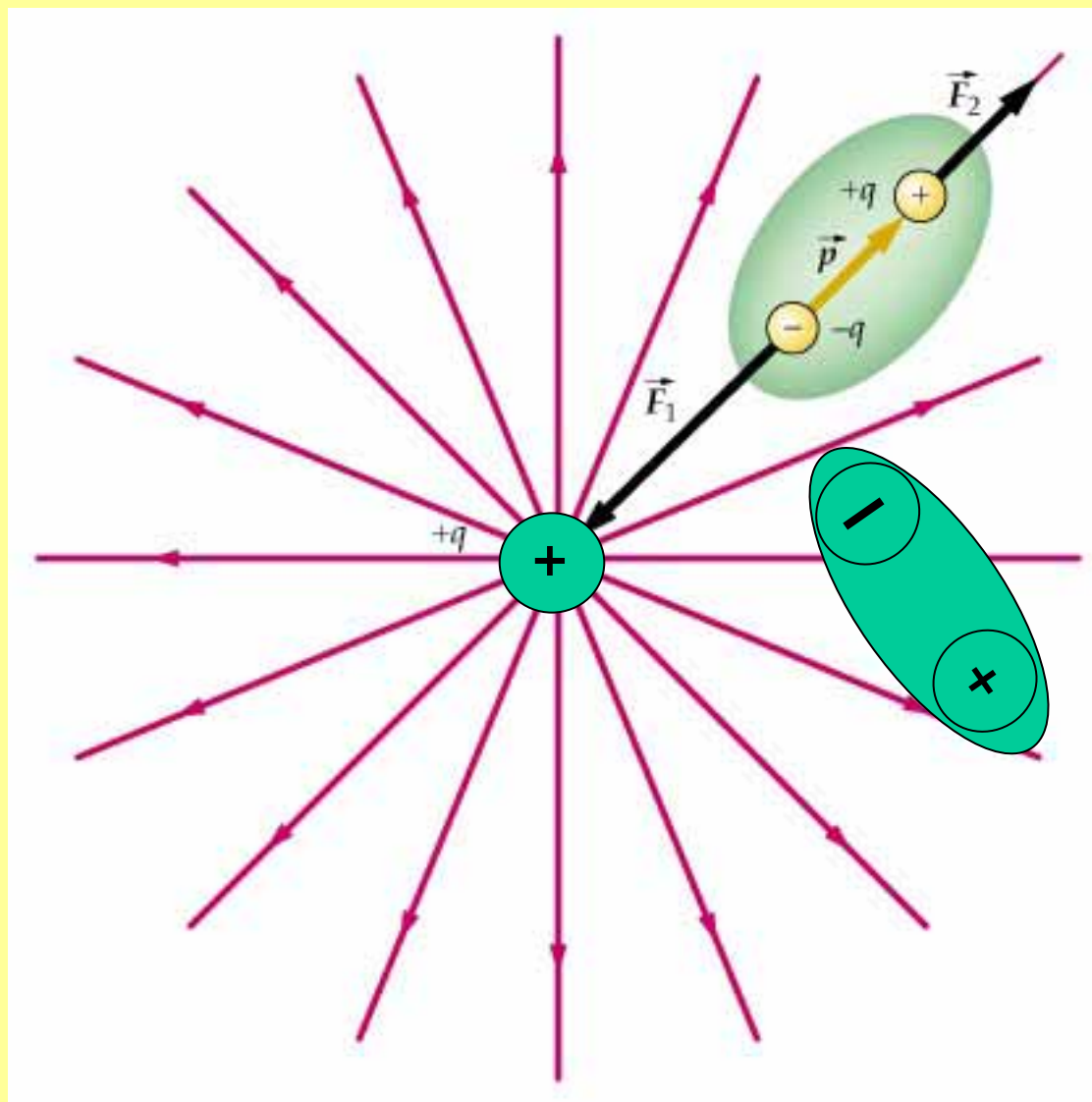
電場の方向を表す電気力線

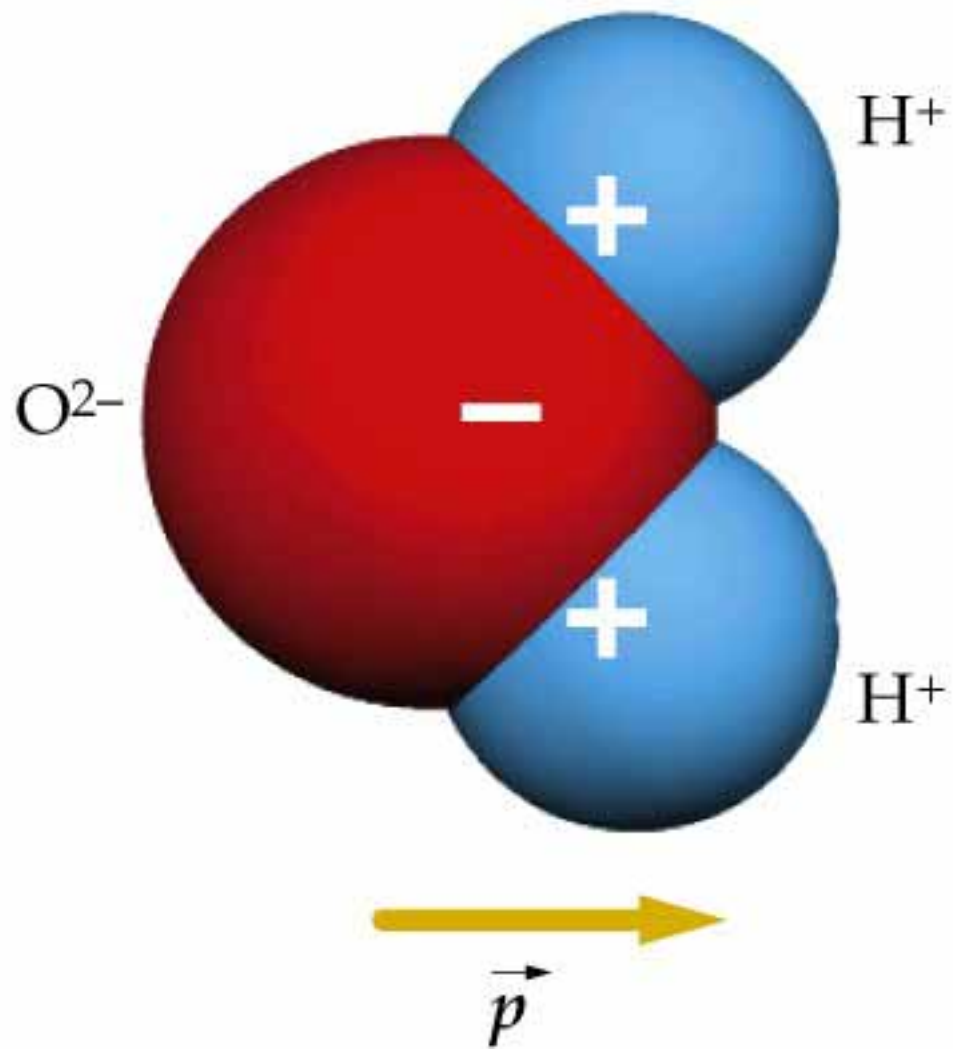


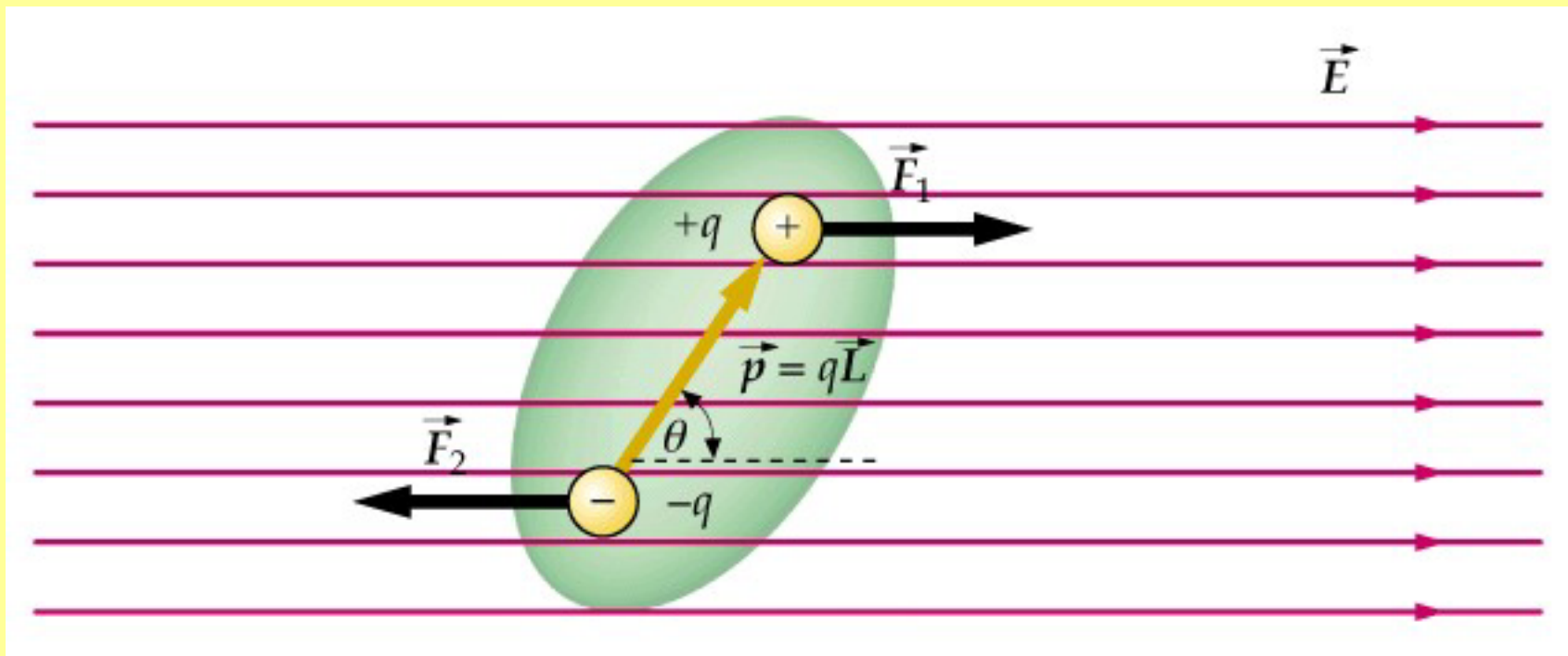
電気力線を引く時のルール

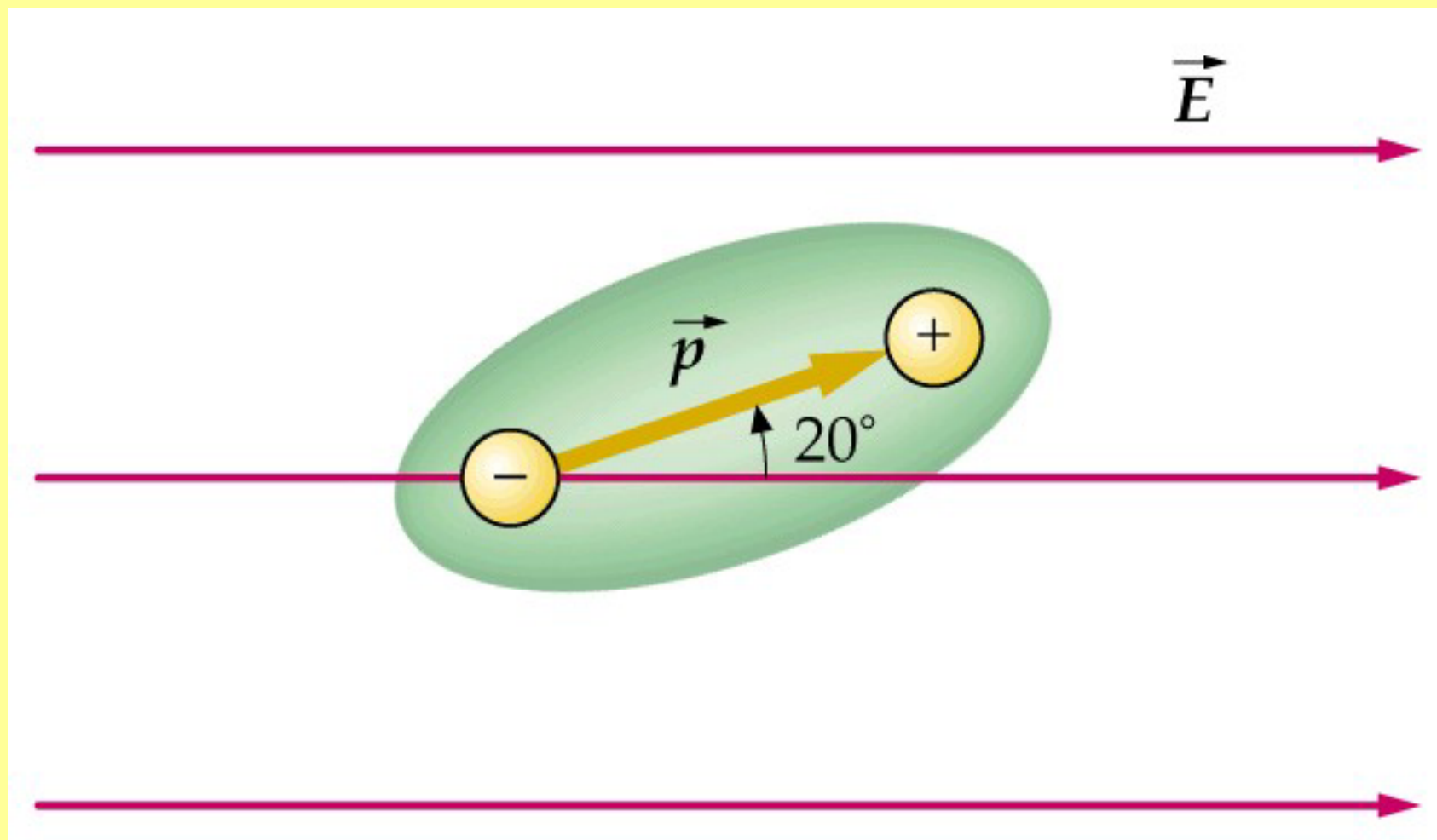
- 電場の方向に沿うこと
(プラス電荷とマイナス電荷は、個々に存在する。)
- プラスから放射(出る)、
マイナスに吸引(引き込む)
- 電気力線の密度は電場の強さに比例
電場Eでは E 本 / m^2 の密度で電気力線が存在する。
- 2本の電気力線は交わることがない。











電気力線を引く時のルール

- 電場の方向に沿うこと
(プラス電荷とマイナス電荷は、個々に存在する。)
- プラスから放射(出る)、
マイナスに吸引(引き込む)
- 電気力線の密度は電場の強さに比例
電場Eでは E 本 / m^2 の密度で電気力線が存在する。
- 2本の電気力線は交わることがない。

本日のポイント3

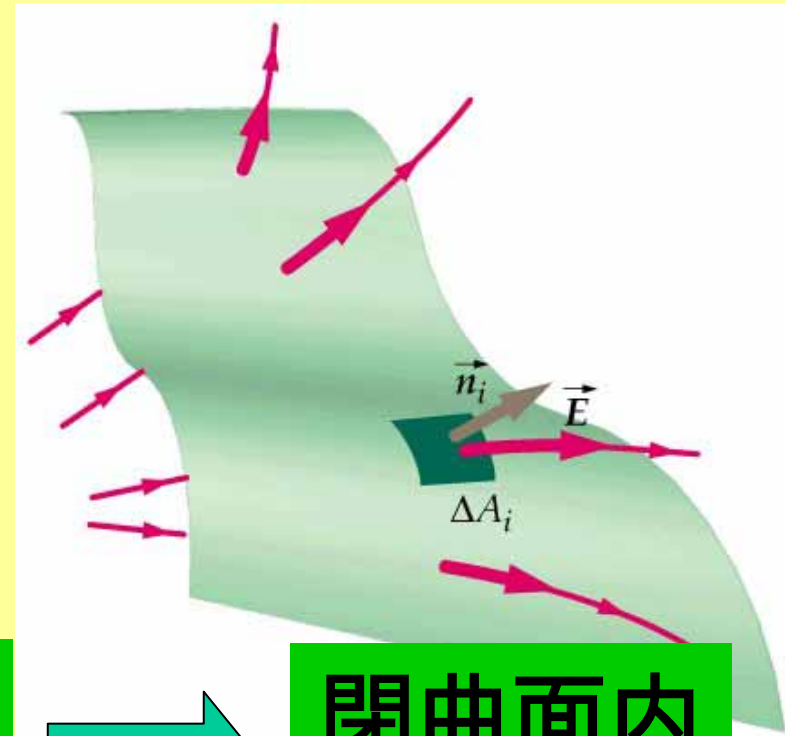
ガウスの法則
(電場を予測する場合に便利)

電場 E (1m^2 辺りの E 本の電気力線数) がある面を垂直に貫いて湧き出している。

$$\varepsilon \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = Q$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \frac{Q}{\varepsilon}$$

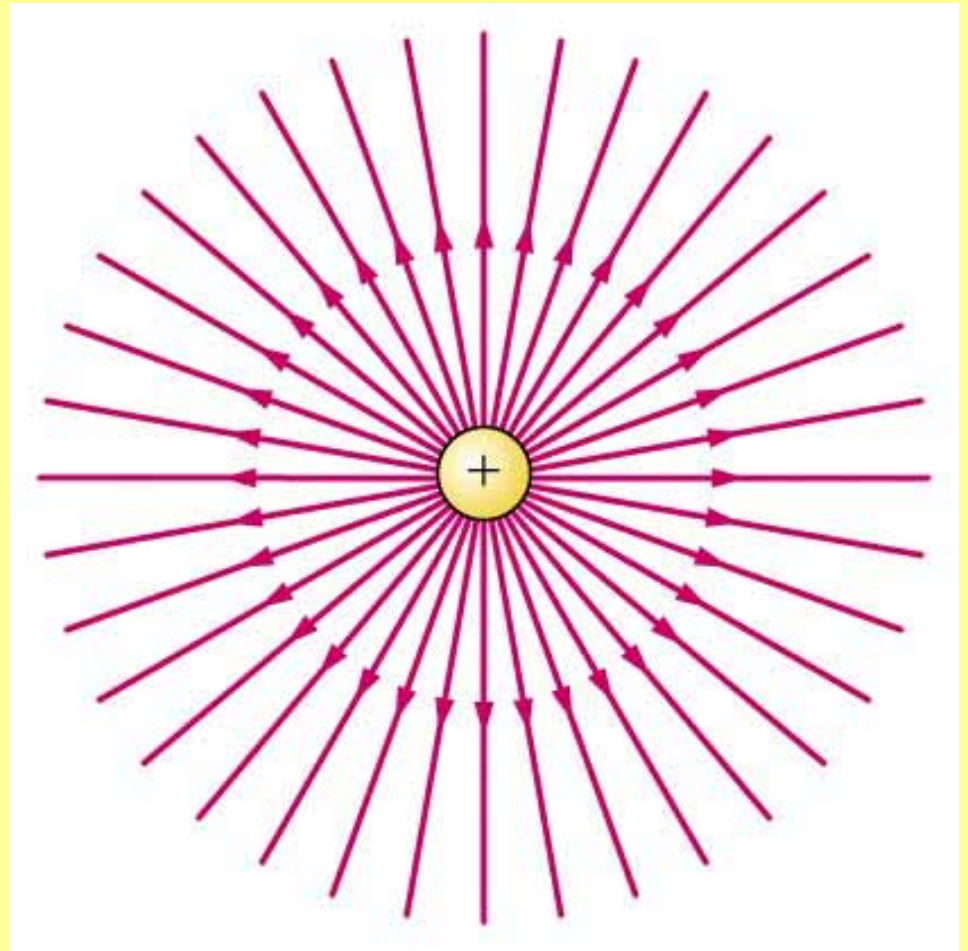
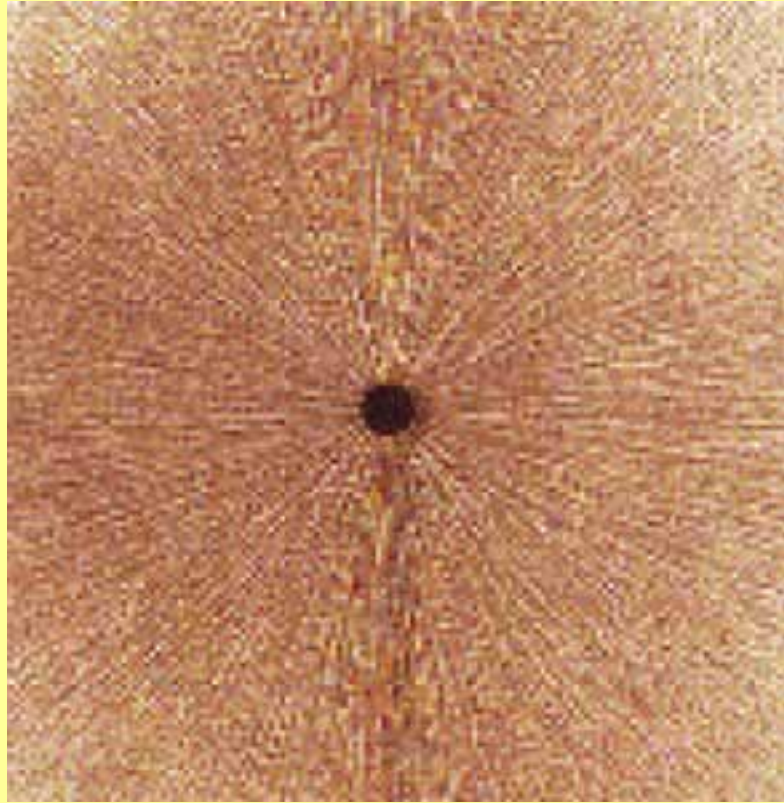
電場の力線が有効に閉曲面を貫く総本数



閉曲面内の電荷

$$\varepsilon \iiint \boldsymbol{E} \cdot \boldsymbol{ds} = Q$$

$$\varepsilon \oint \mathbf{E} \cdot \mathbf{ds} = Q$$

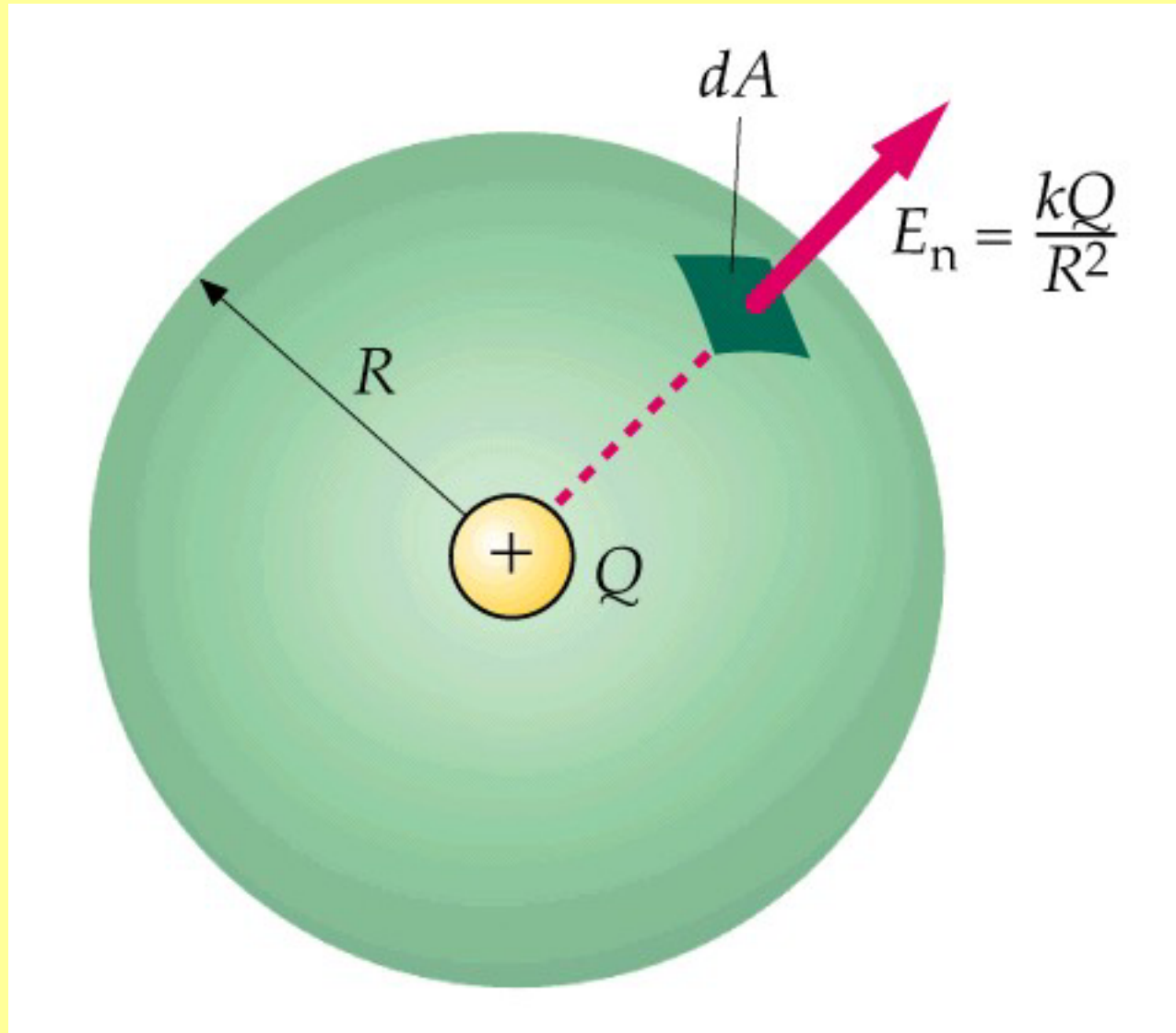


電 場 E

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\cdot Q'}{r^2}$$

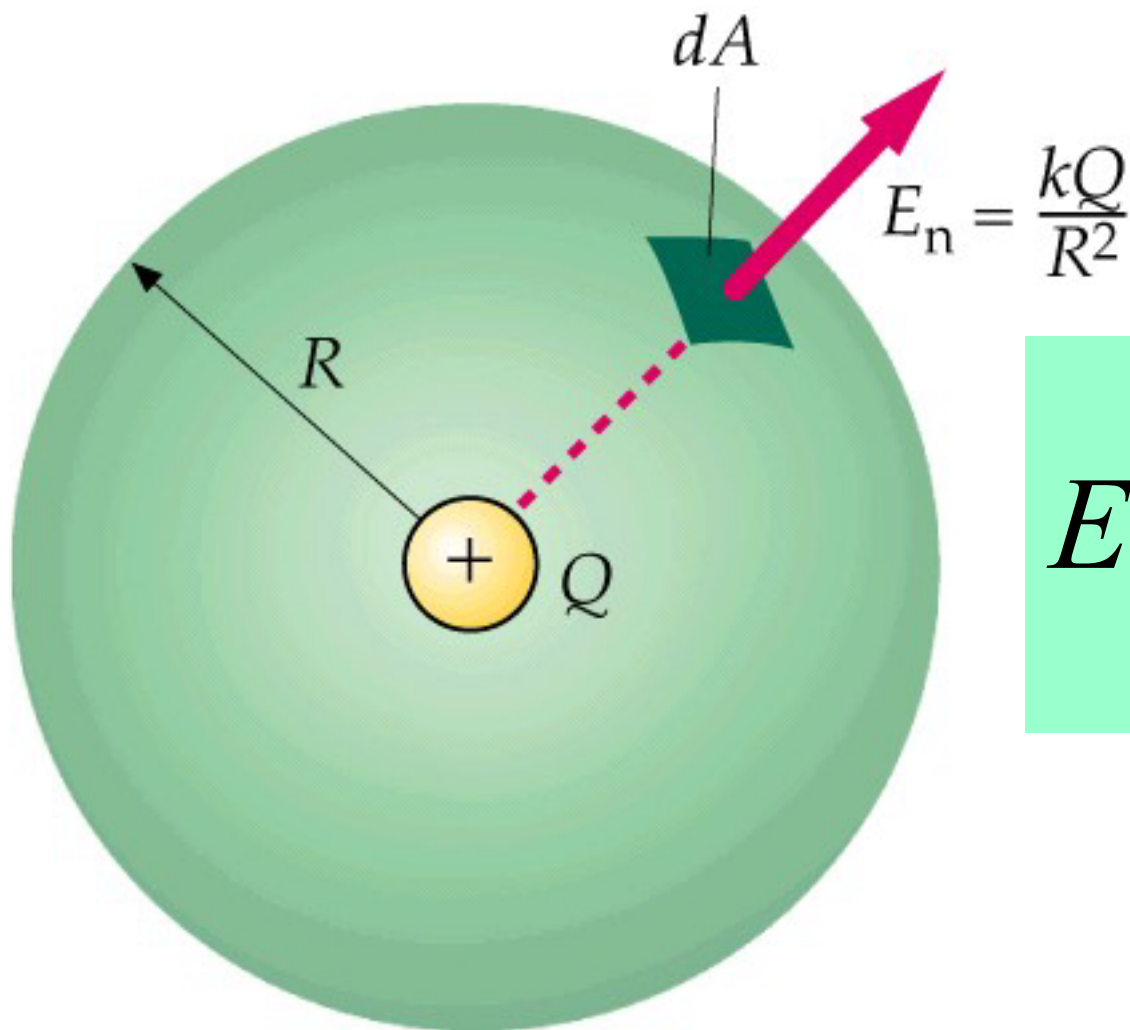
$$E = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{\cdot Q'}{\epsilon_0}$$

電荷 Q からの距離 r での電 場 E



電荷Qからの距離rでの電 場 E

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$



$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

球全体では力線数は
どれだけか？

電荷Qからの距離rでの電 場 E

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

球を貫く力線の数 N

$N = (\text{電場の大きさ}) \times (\text{球の表面積})$

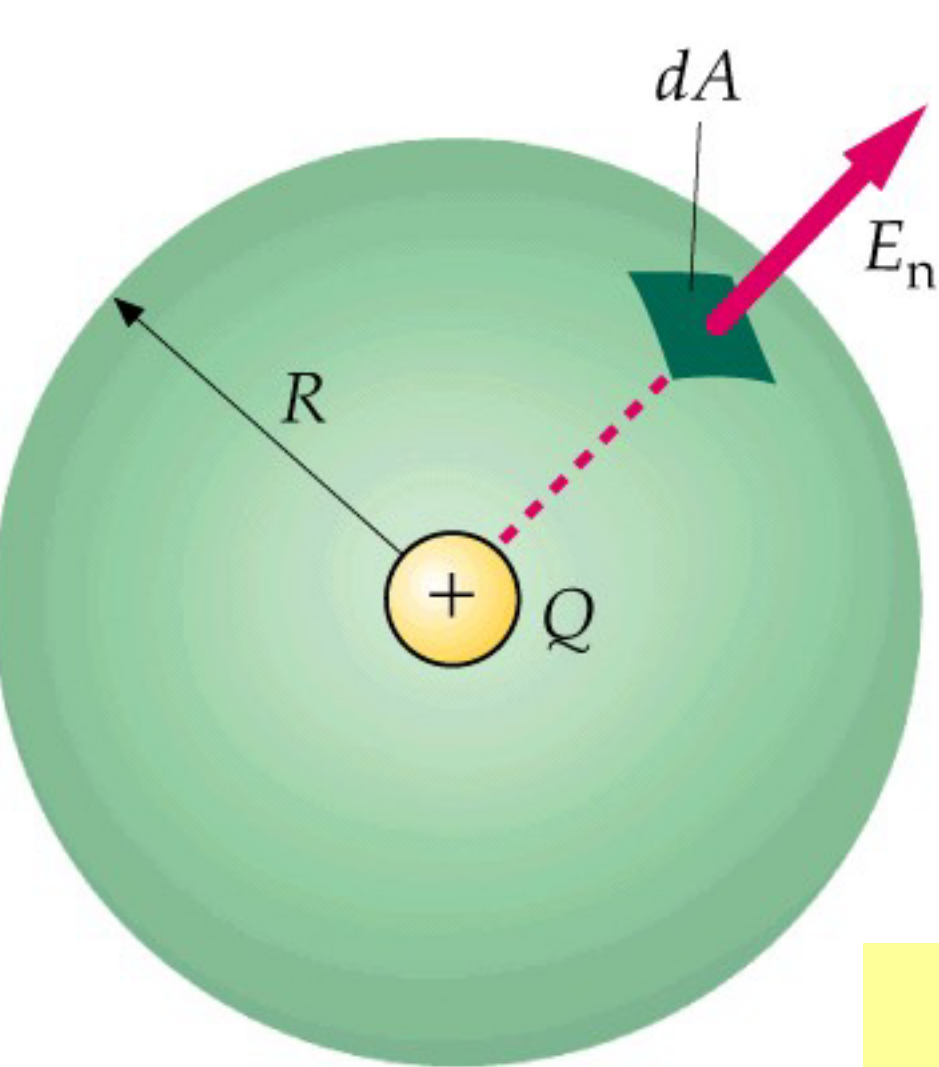
$$N = \left(\frac{1}{4\pi r^2} \cdot \frac{Q}{\epsilon_0} \right) \times 4\pi r^2$$

球を貫く力線の数N

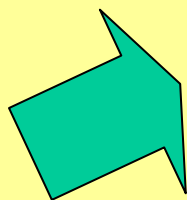
$$N = \left(\frac{1}{4\pi r^2} \cdot \frac{Q}{\varepsilon_0} \right) \times 4\pi r^2$$

$$N = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

$$\varepsilon \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = Q$$



球の表面積

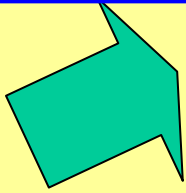


$$\underline{4\pi r^2} |\mathbf{E}| = \frac{Q}{\epsilon}$$

ガウスの法則

$$\frac{4\pi r^2 |\mathbf{E}|}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

球の表面積

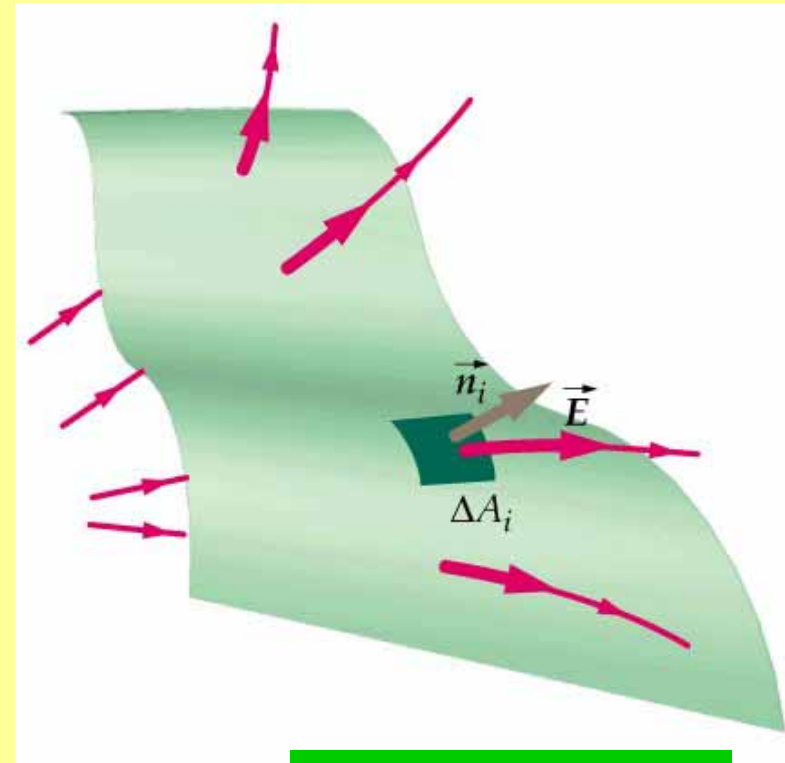


クーロンの法則

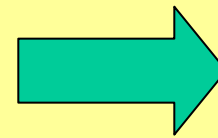
$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

$$\epsilon \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = Q$$

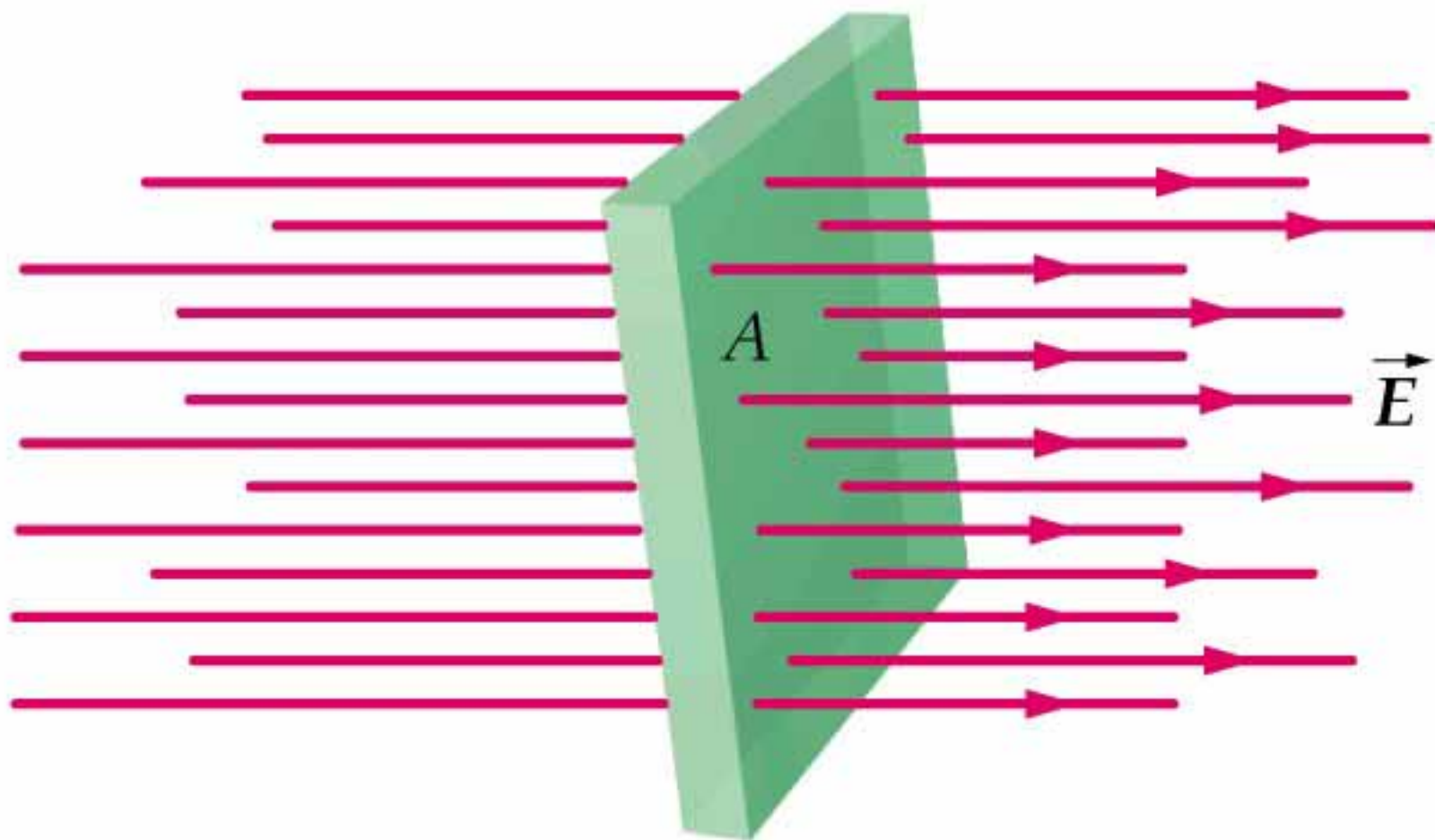
電界がある面を
垂直に貫いて湧
き出している

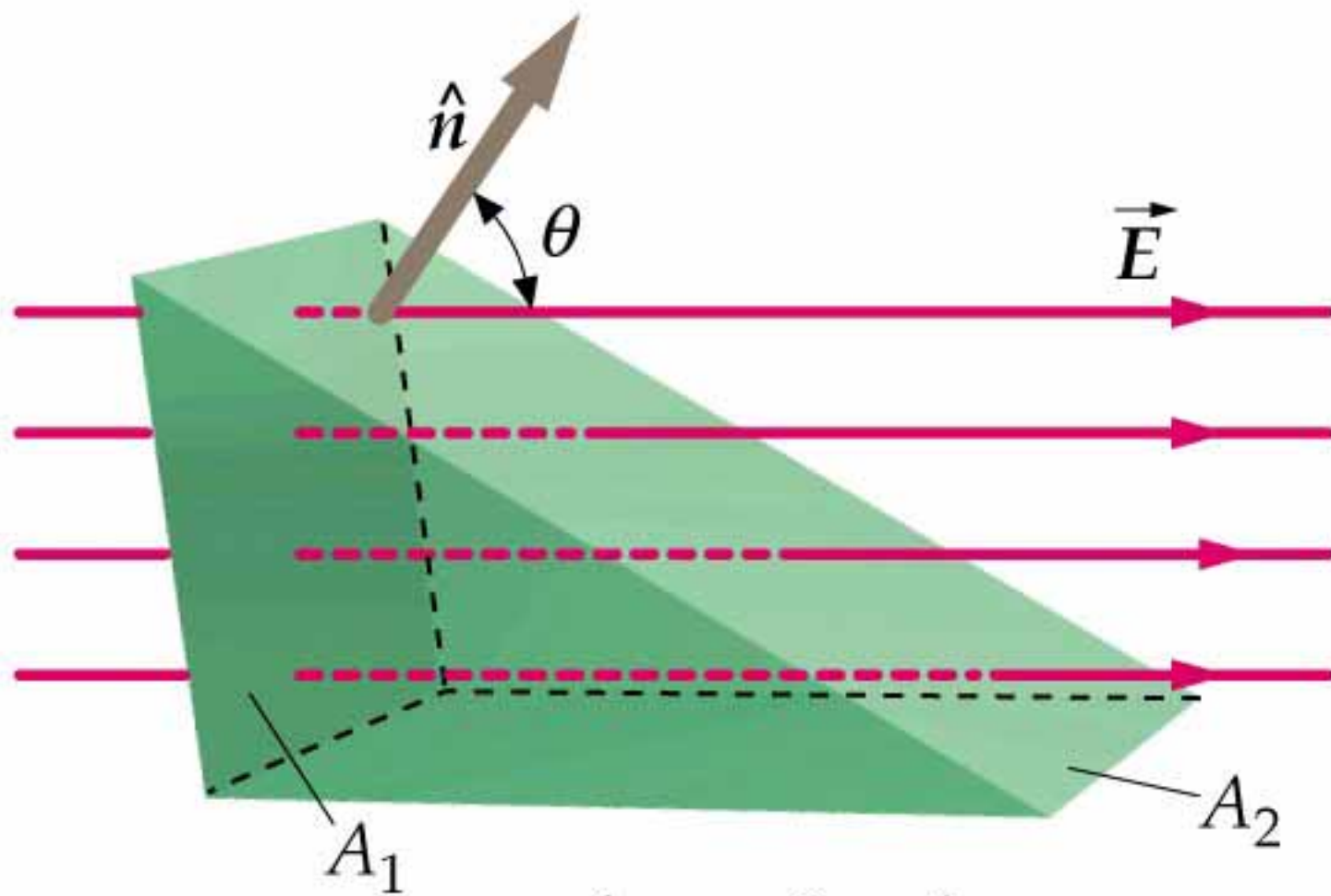


電界の力線が有効に閉
局面を貫く総本数

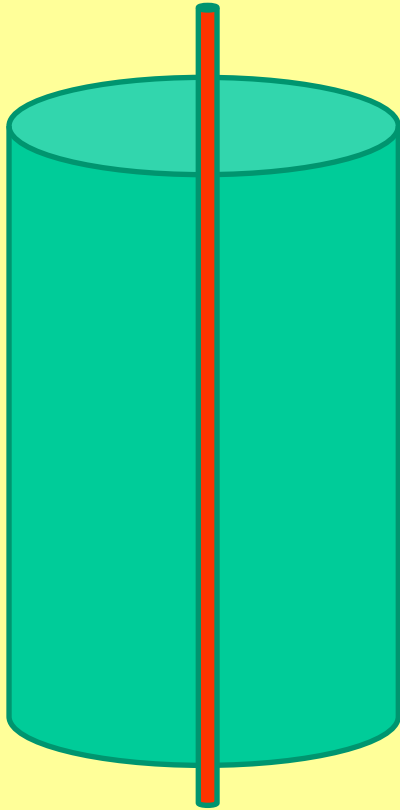


閉局面内
の電荷

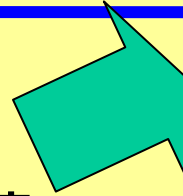




$$A_2 \cos \theta = A_1$$



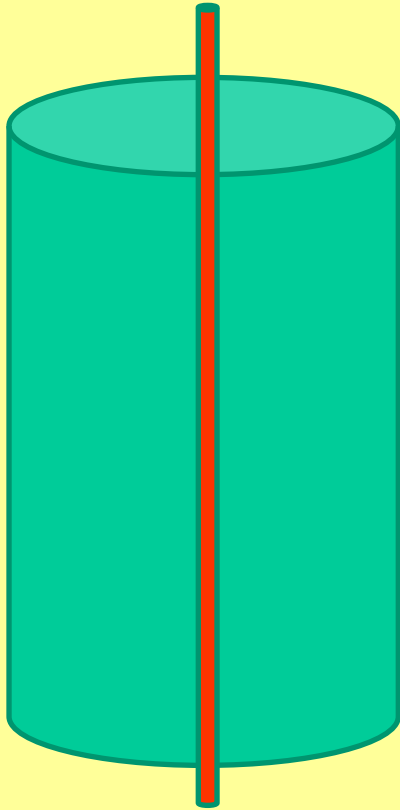
$$\underline{2\pi r \cdot \ell} \cdot |E| = \frac{Q}{\epsilon}$$



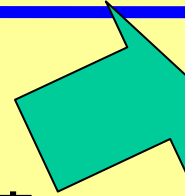
円筒の表面積

単位長さ当たり
の電荷量

$$\lambda = \frac{Q}{\ell}$$



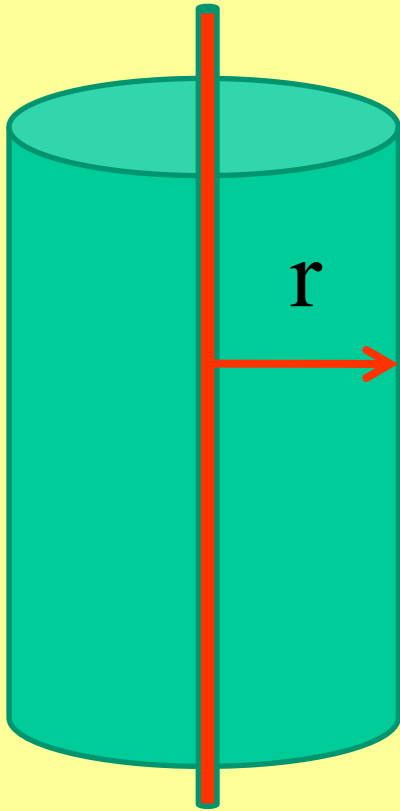
$$\underline{2\pi r \cdot \ell} \cdot |E| = \frac{Q}{\epsilon}$$



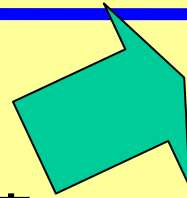
円筒の表面積

単位長さ当たり
の電荷量

$$\lambda = \frac{Q}{\ell}$$



$$\underline{2\pi r \cdot \ell} |E| = \frac{Q}{\epsilon}$$

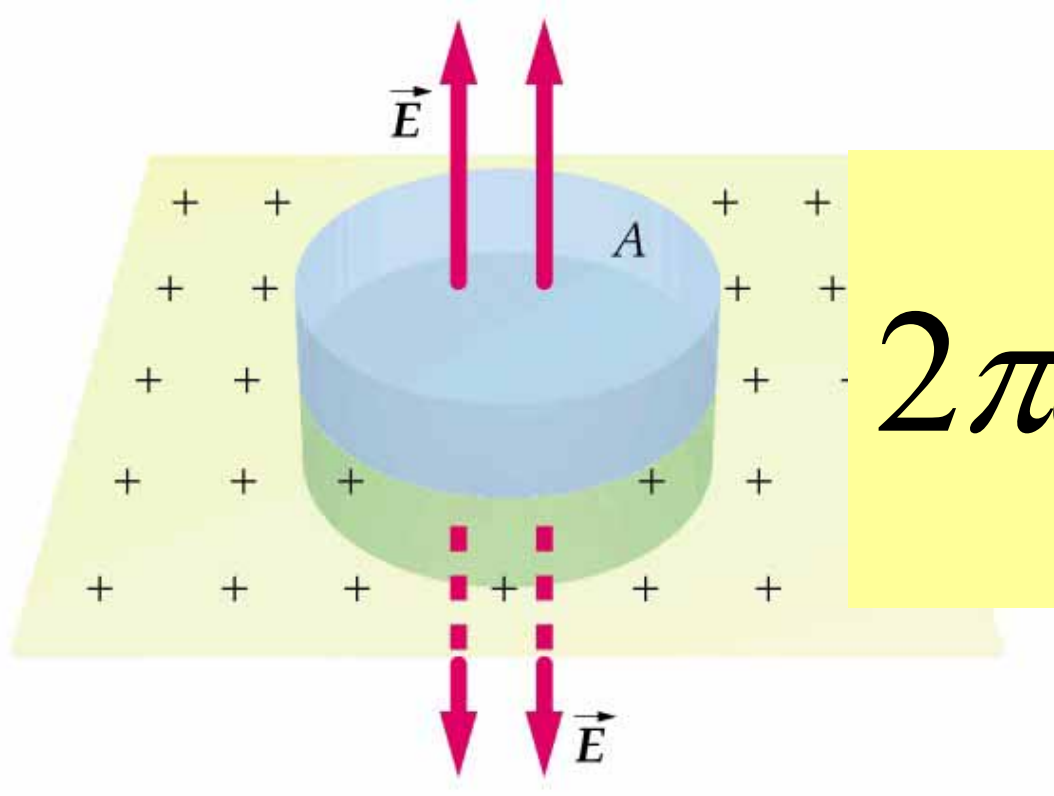


円筒の表面積

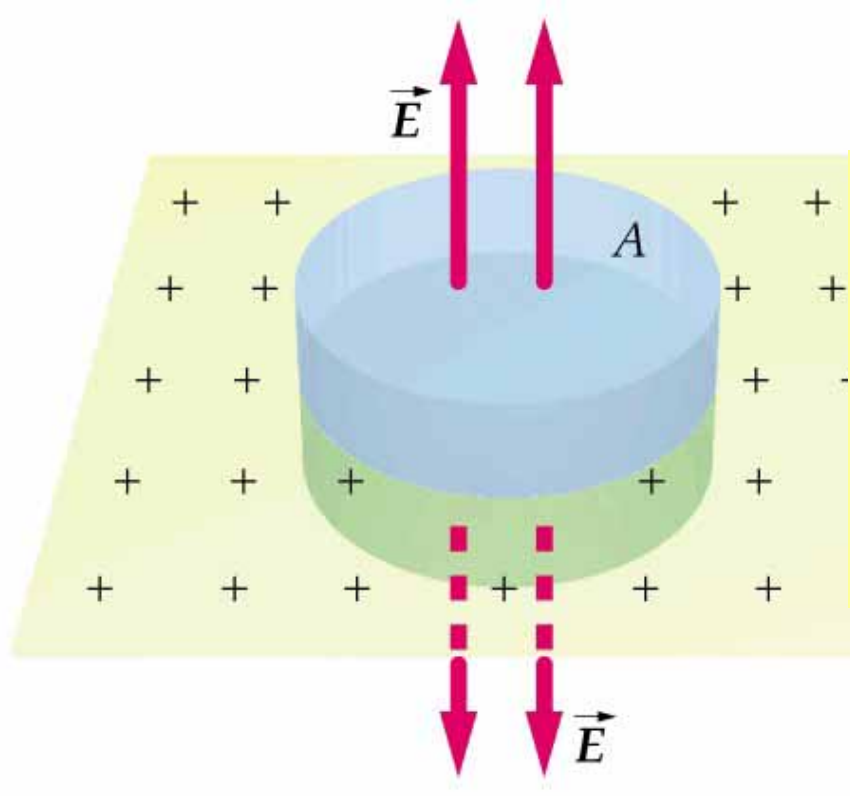
単位長さ当たり
の電荷量

$$\lambda = \frac{Q}{\ell}$$

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$



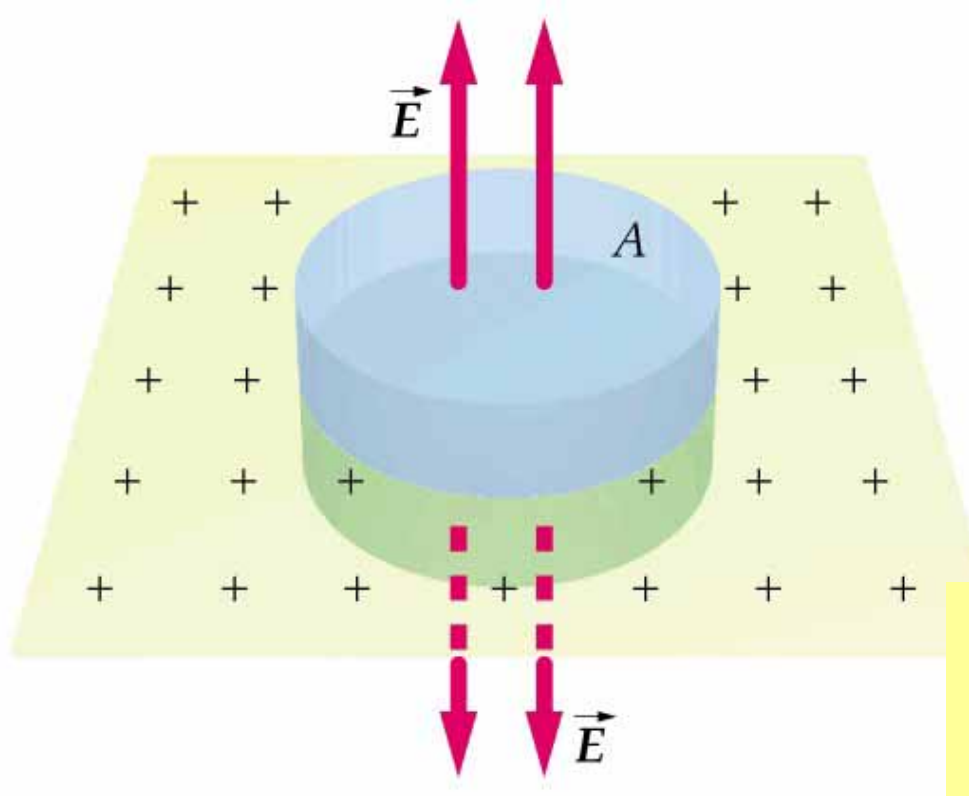
$$2\pi a^2 |\mathbf{E}| = \frac{Q}{\epsilon}$$



単位面積当たりの
電荷量

$$2\pi a^2 |\mathbf{E}| = \frac{Q}{\epsilon}$$

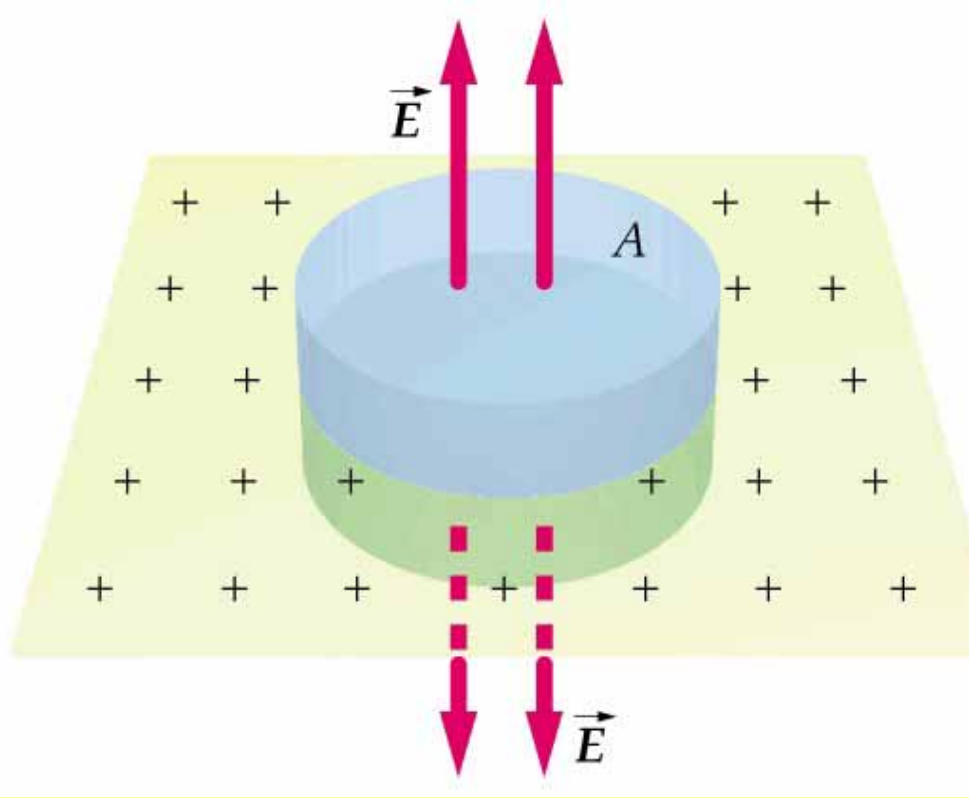
$$\sigma = \frac{Q}{\pi a^2}$$



$$2\pi a^2 |\mathbf{E}| = \frac{Q}{\epsilon}$$

$$\sigma = \frac{Q}{\pi a^2}$$

$$2\pi a^2 |\mathbf{E}| = \frac{\sigma a^2}{\epsilon}$$



$$2\pi a^2 |\mathbf{E}| = \frac{Q}{\epsilon}$$

$$\sigma = \frac{Q}{\pi a^2}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon}$$

ガウスの法則まとめ

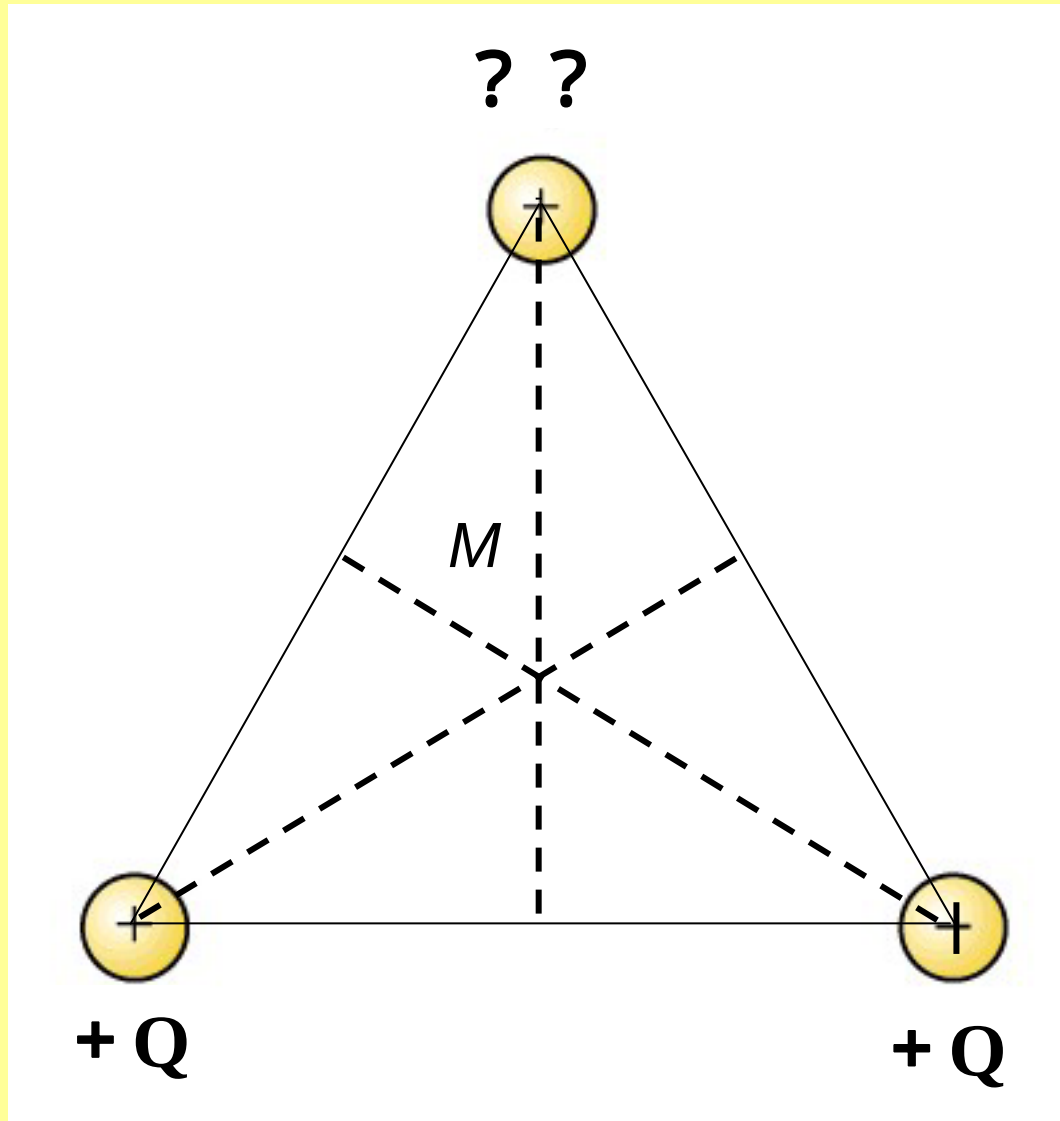
電 荷	球状	線状	平面状
閉曲面	球	円筒	箱形
電 場	$\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$	$\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$	$\frac{\sigma}{2\epsilon}$
距離に対する変化	2乗に反比例	反比例	変化なし

ガウスの法則番外編

「ガウスの法則」を問われたら

→ 天井の蛍光灯の形と配置
を思い出そう。

何Cの電荷をおけば重心で電界が0になるでしょう？

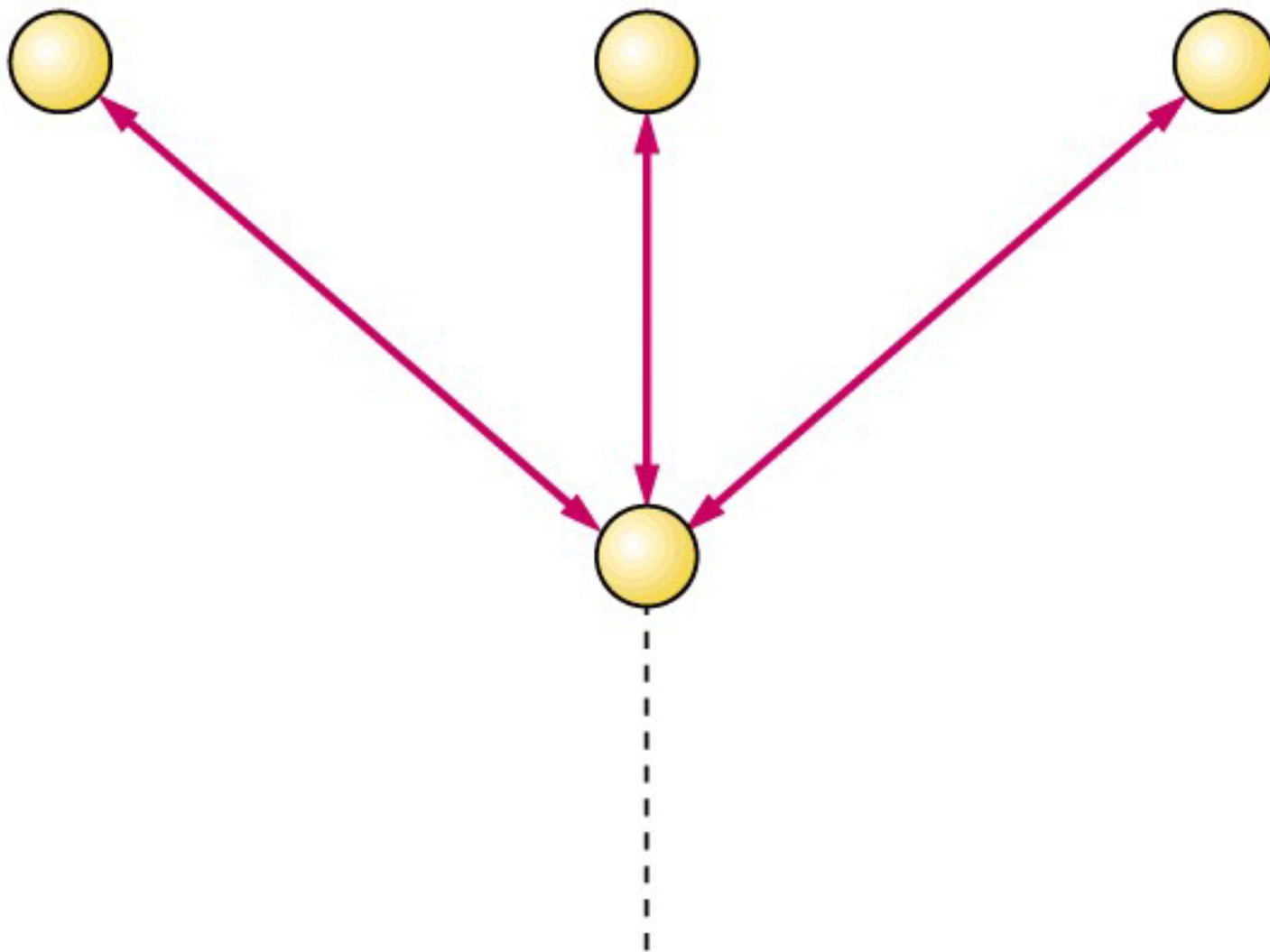


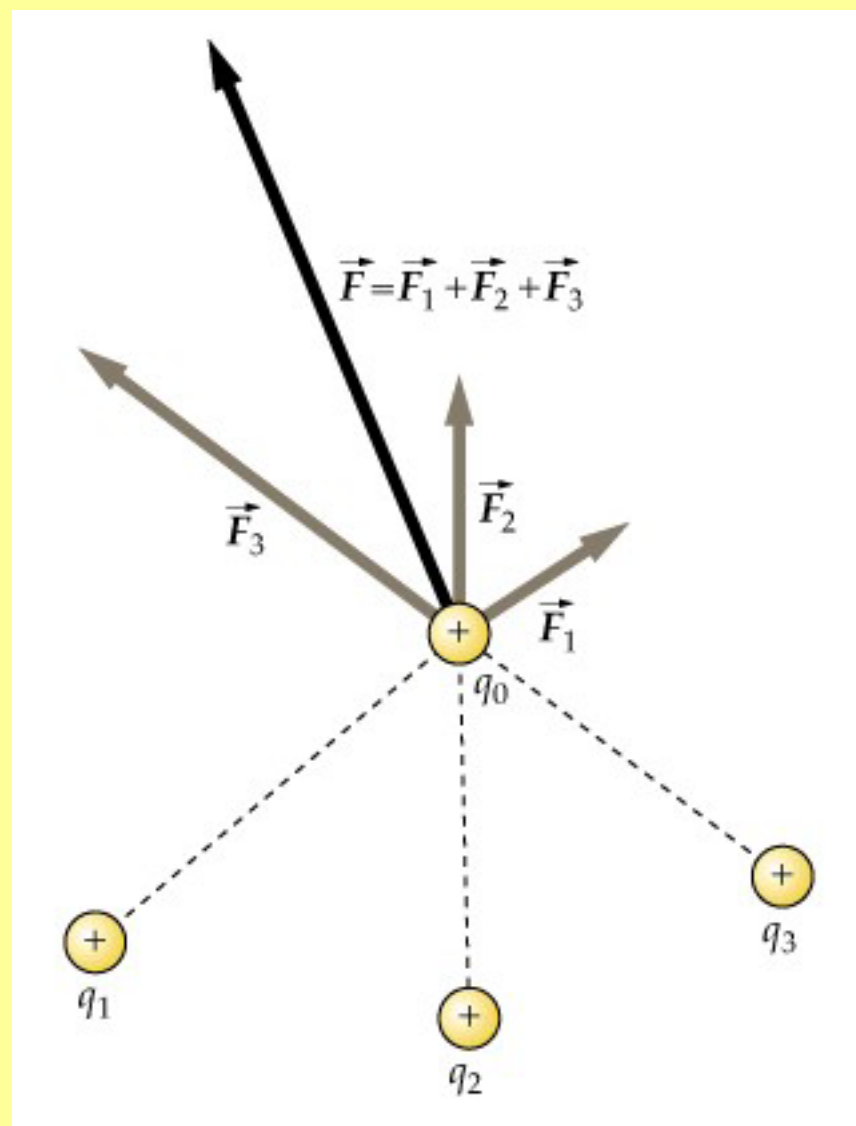
Q

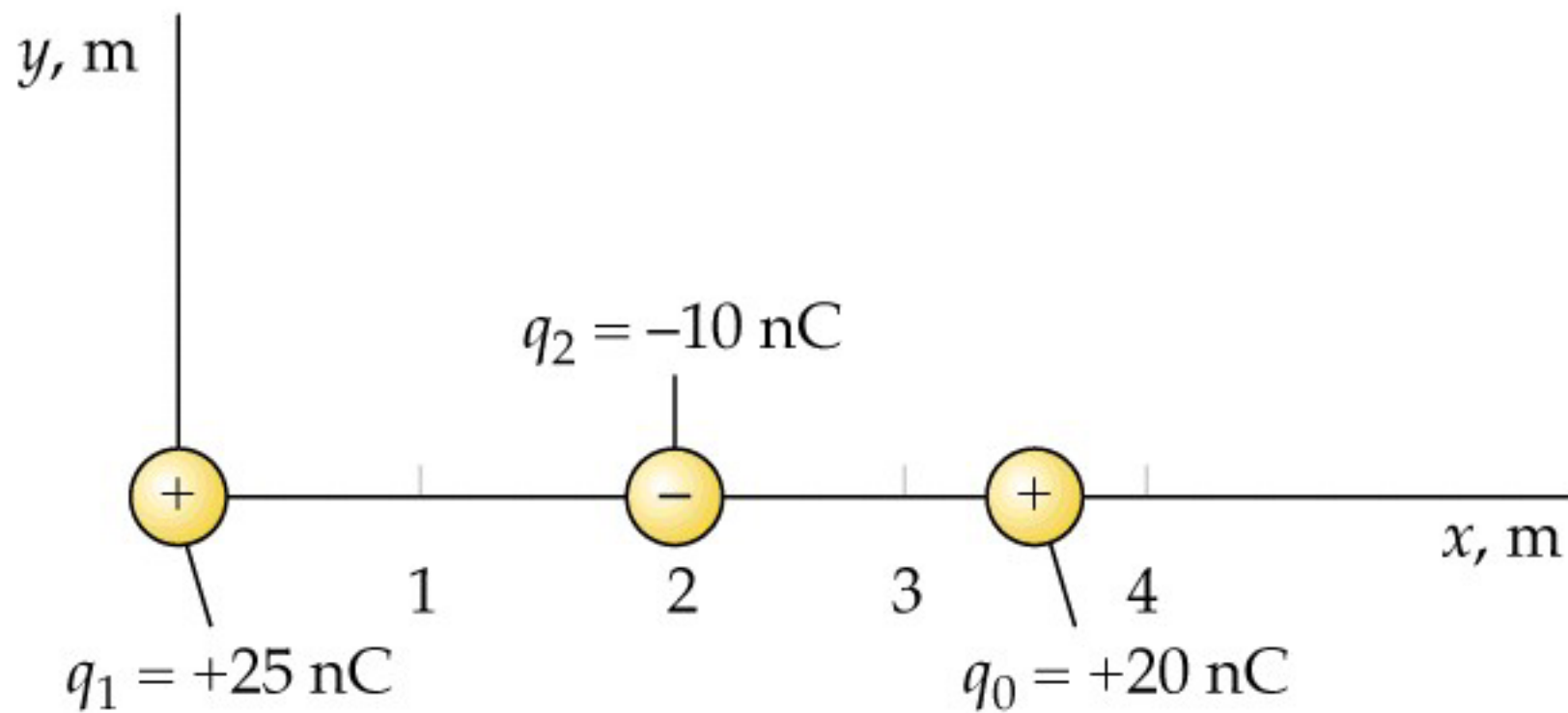
$2Q$

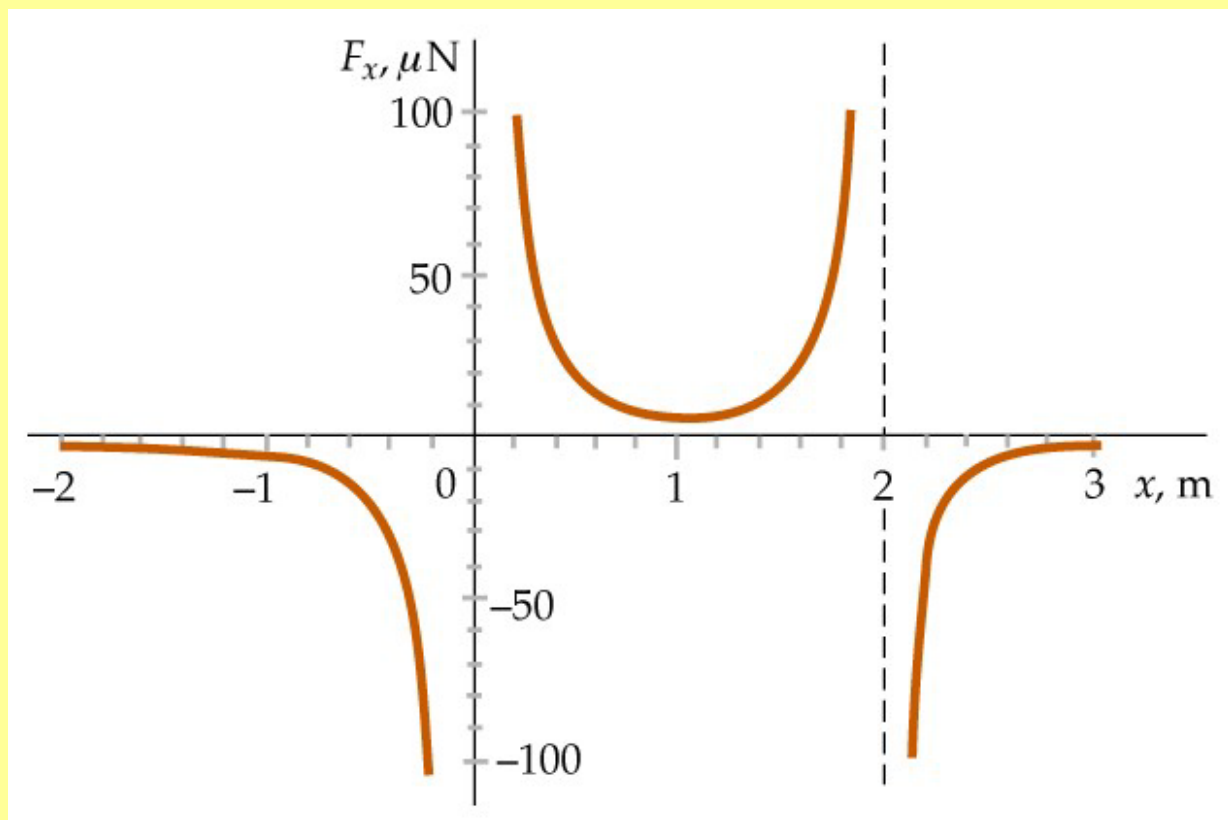
$-Q$

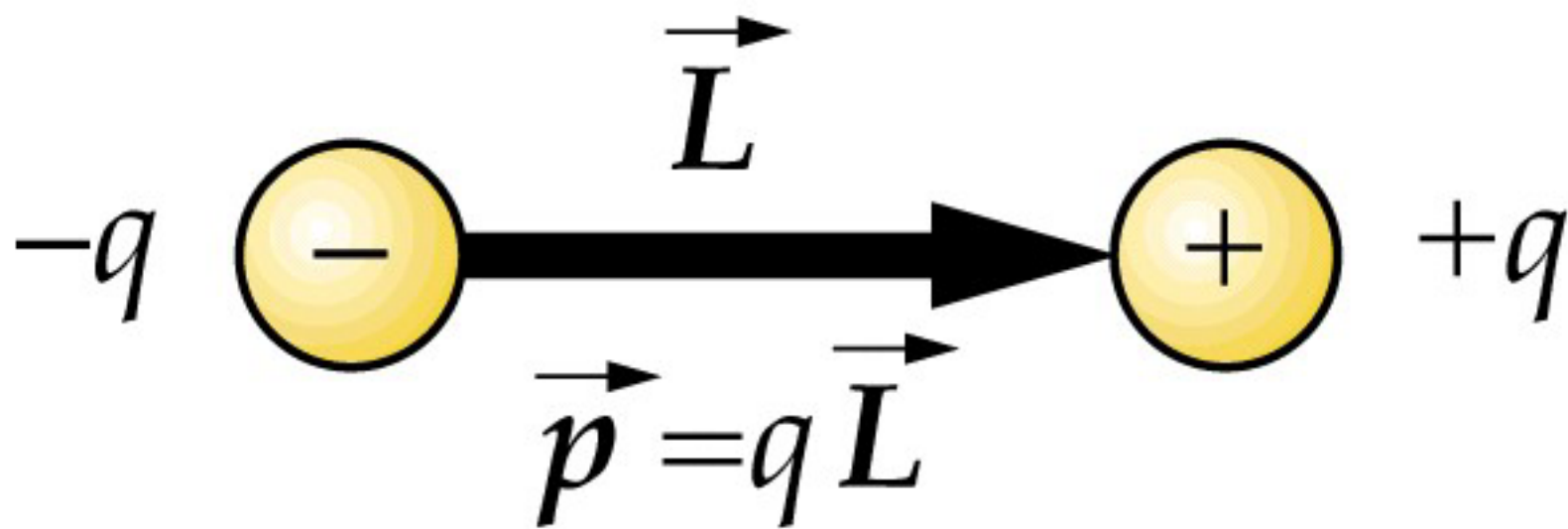
$-2Q$

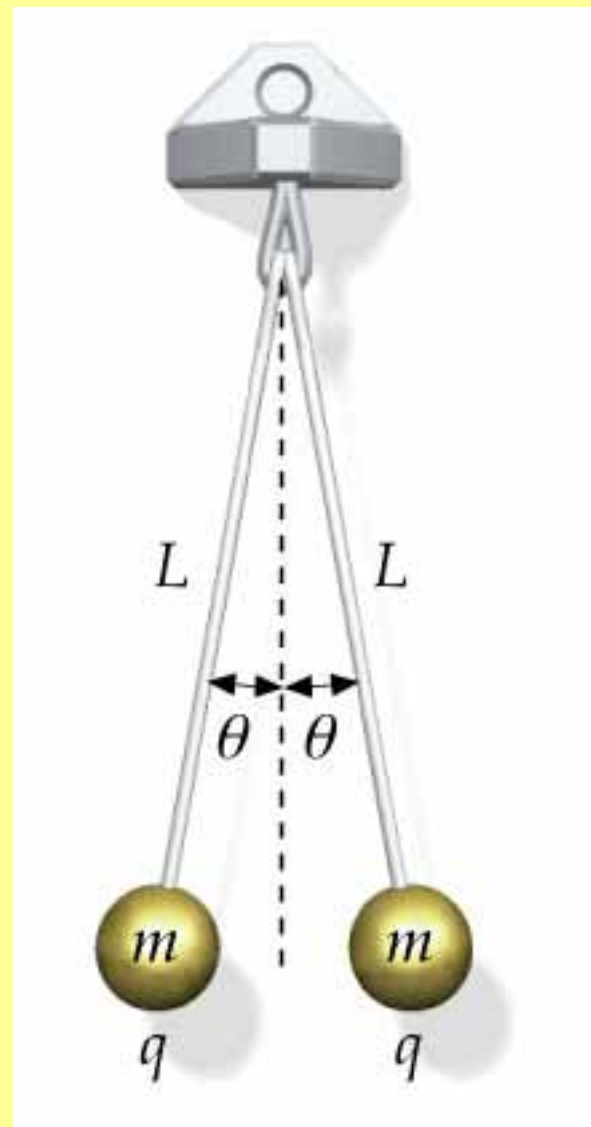




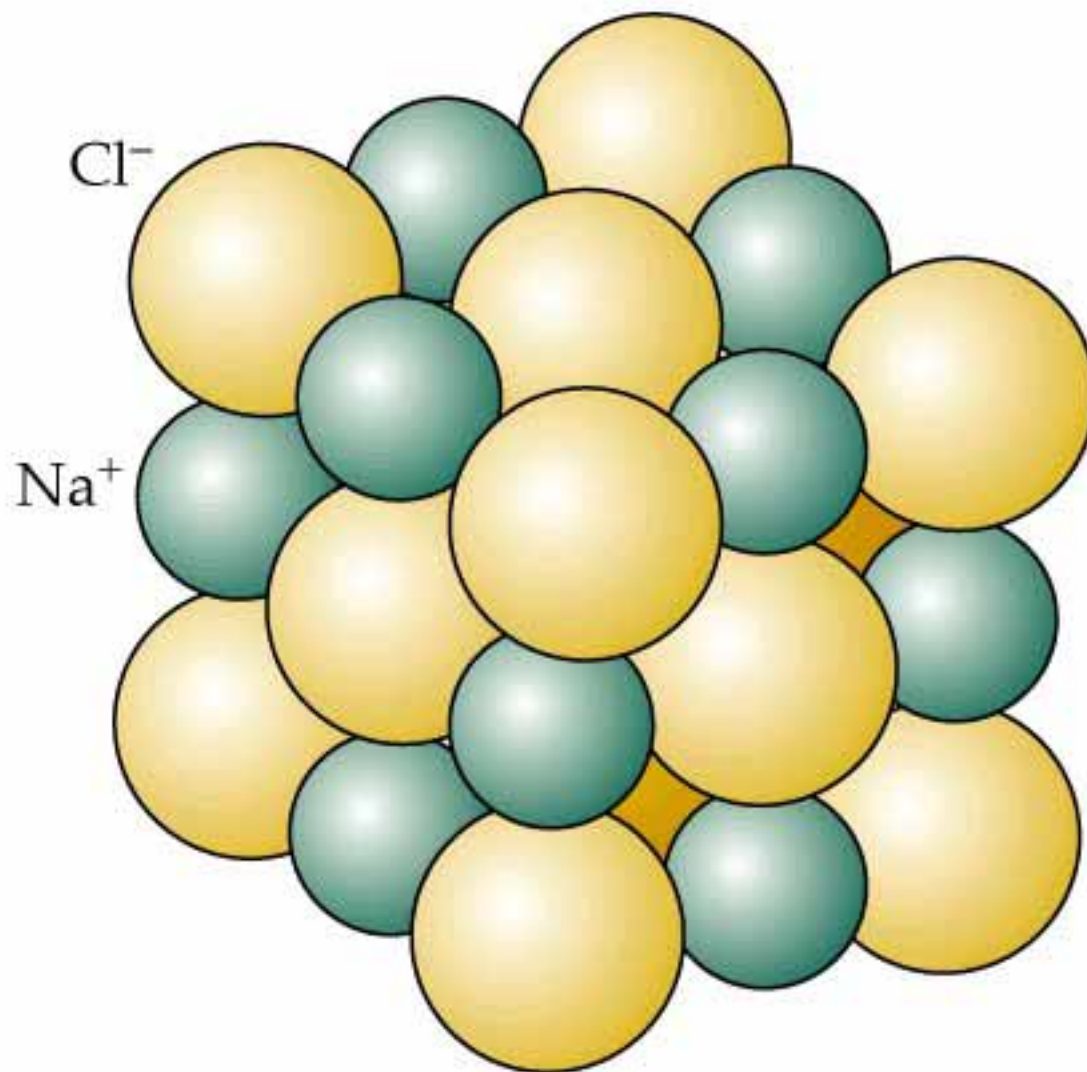


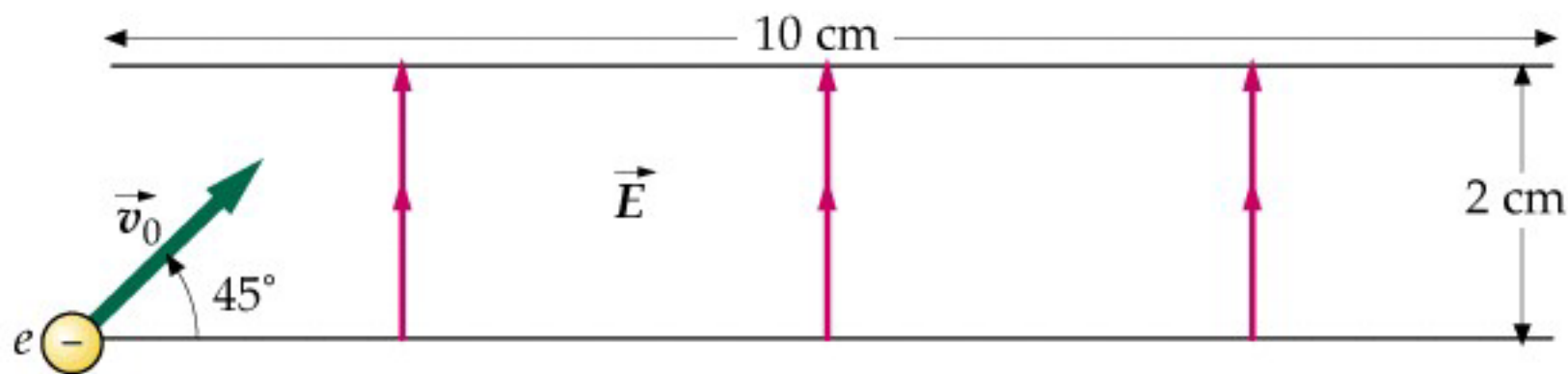


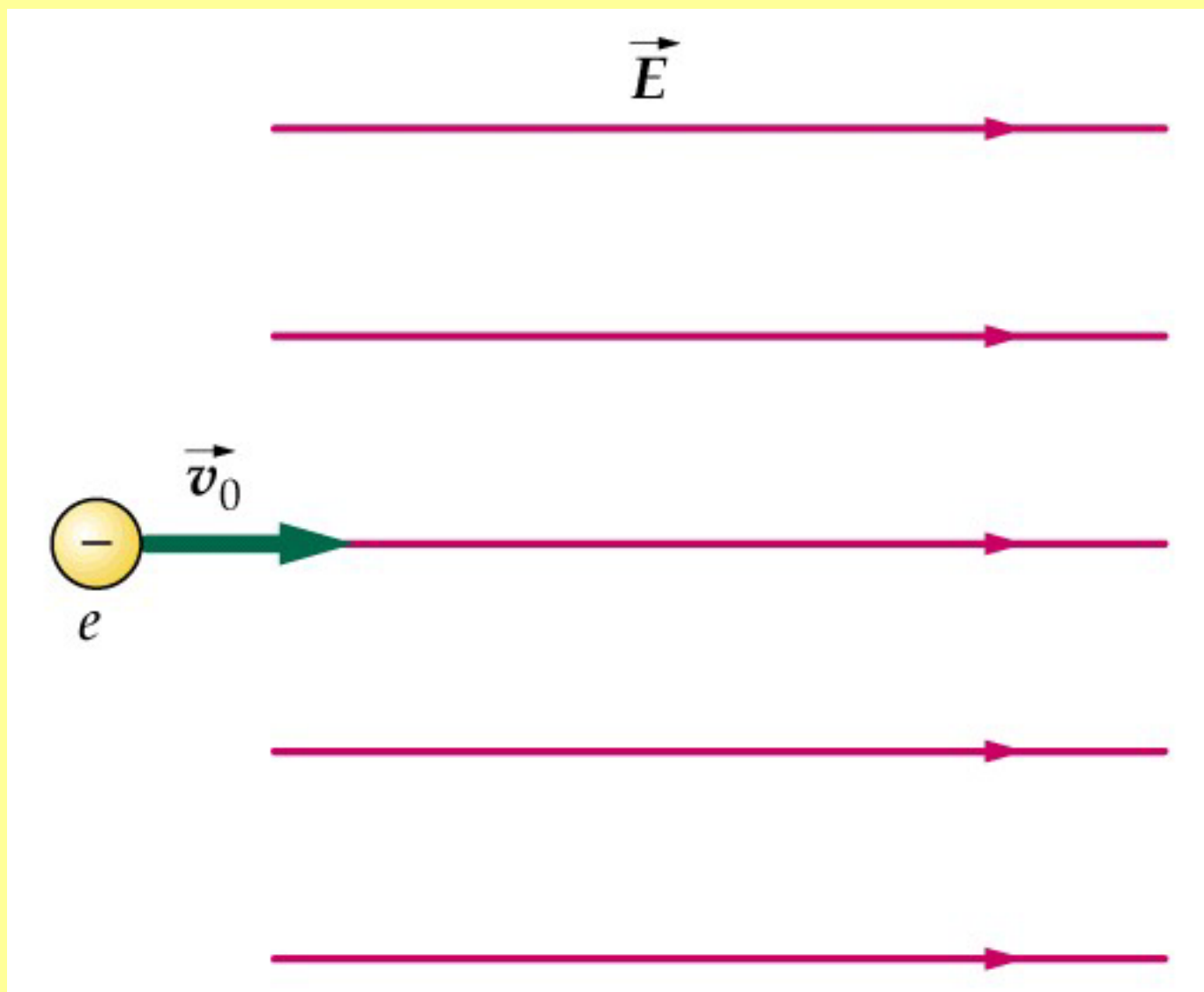


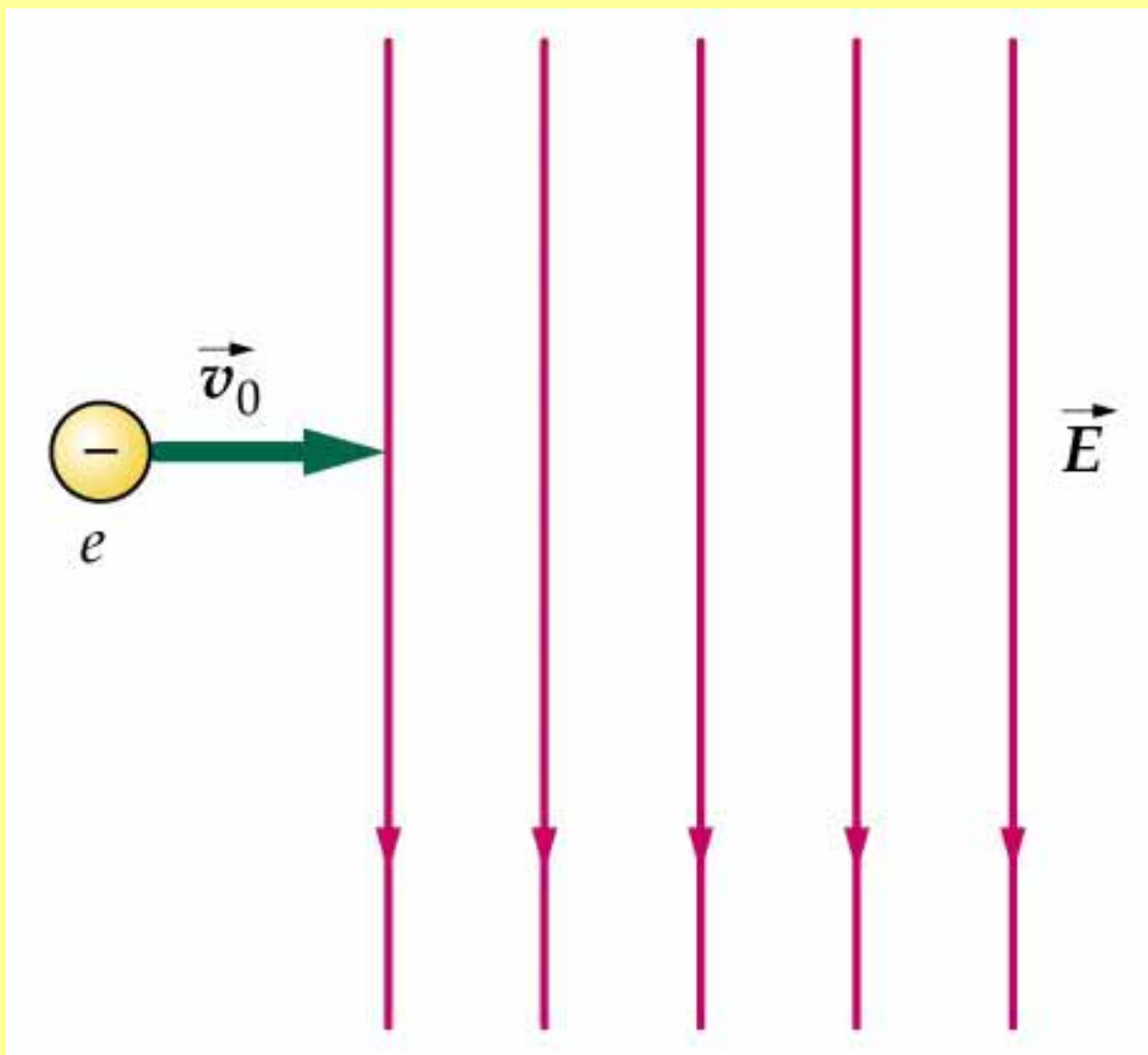


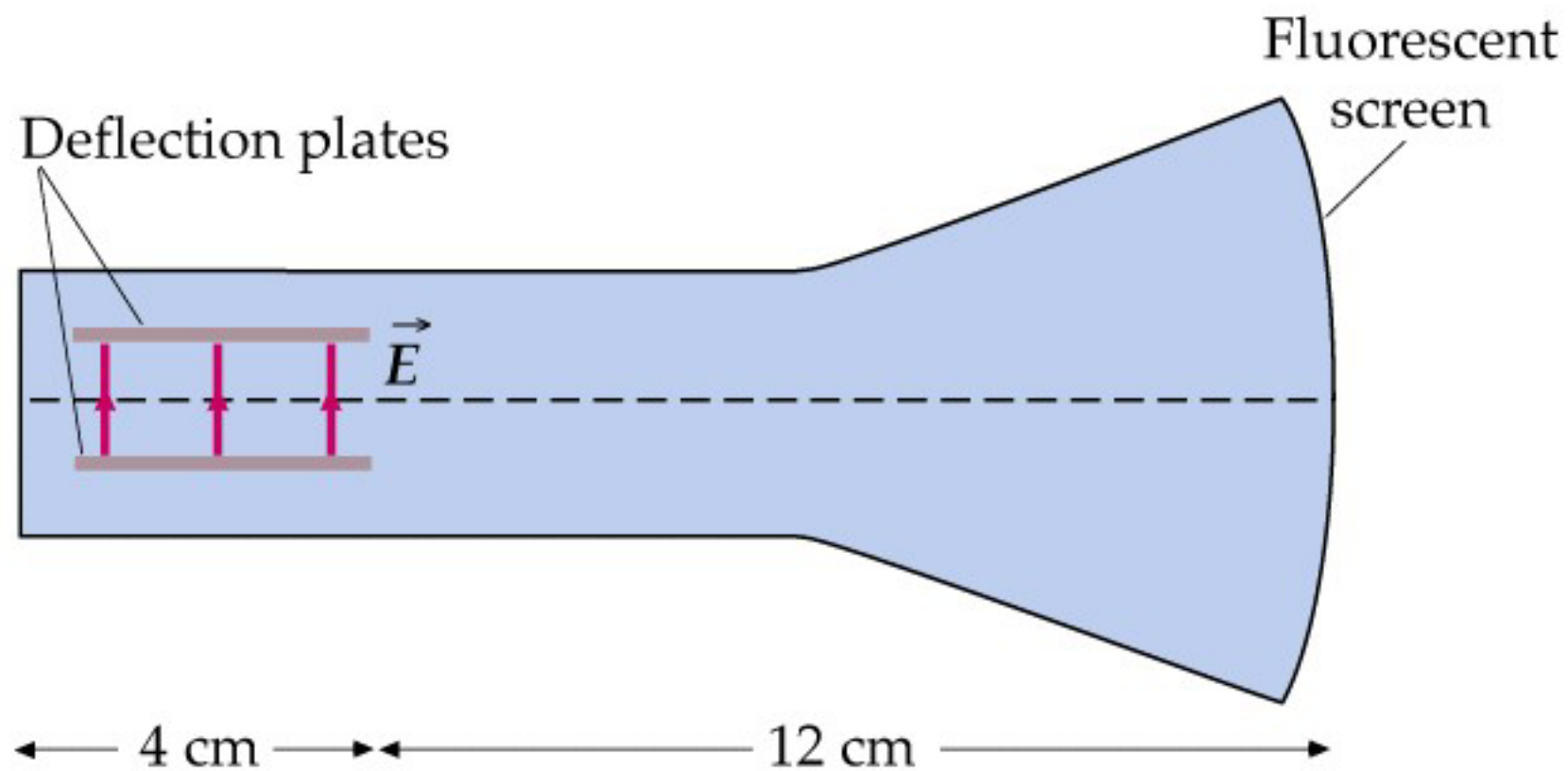
NaCl

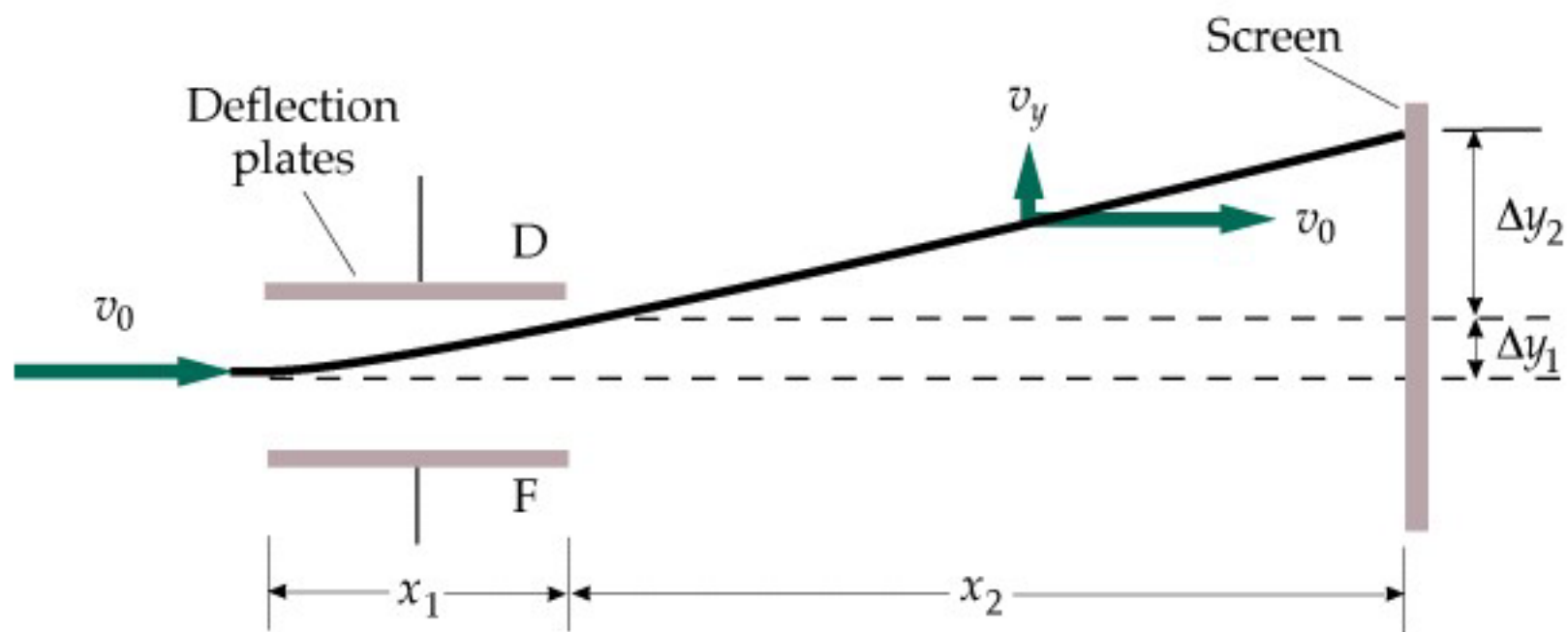


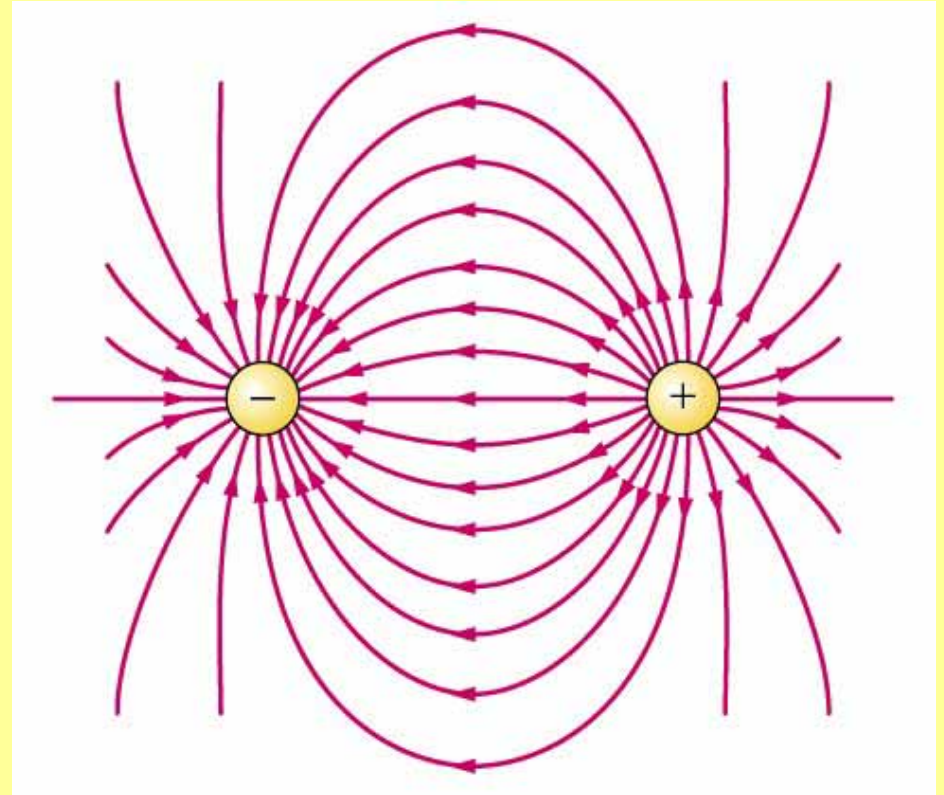
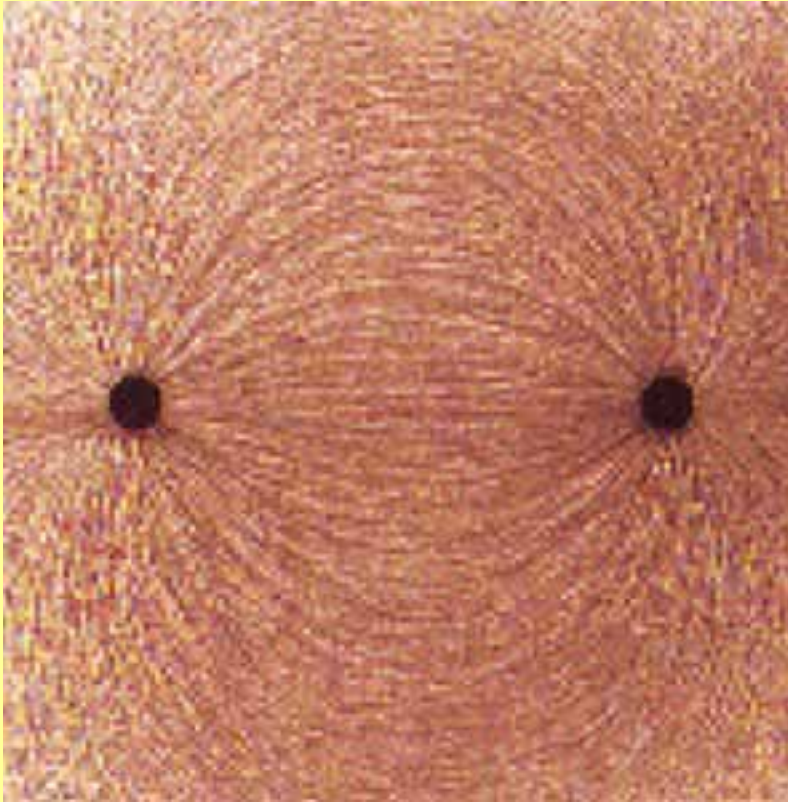


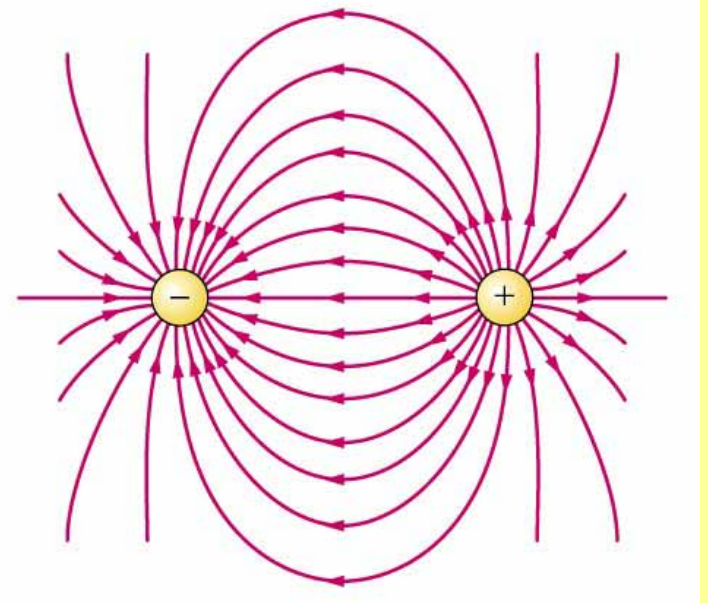
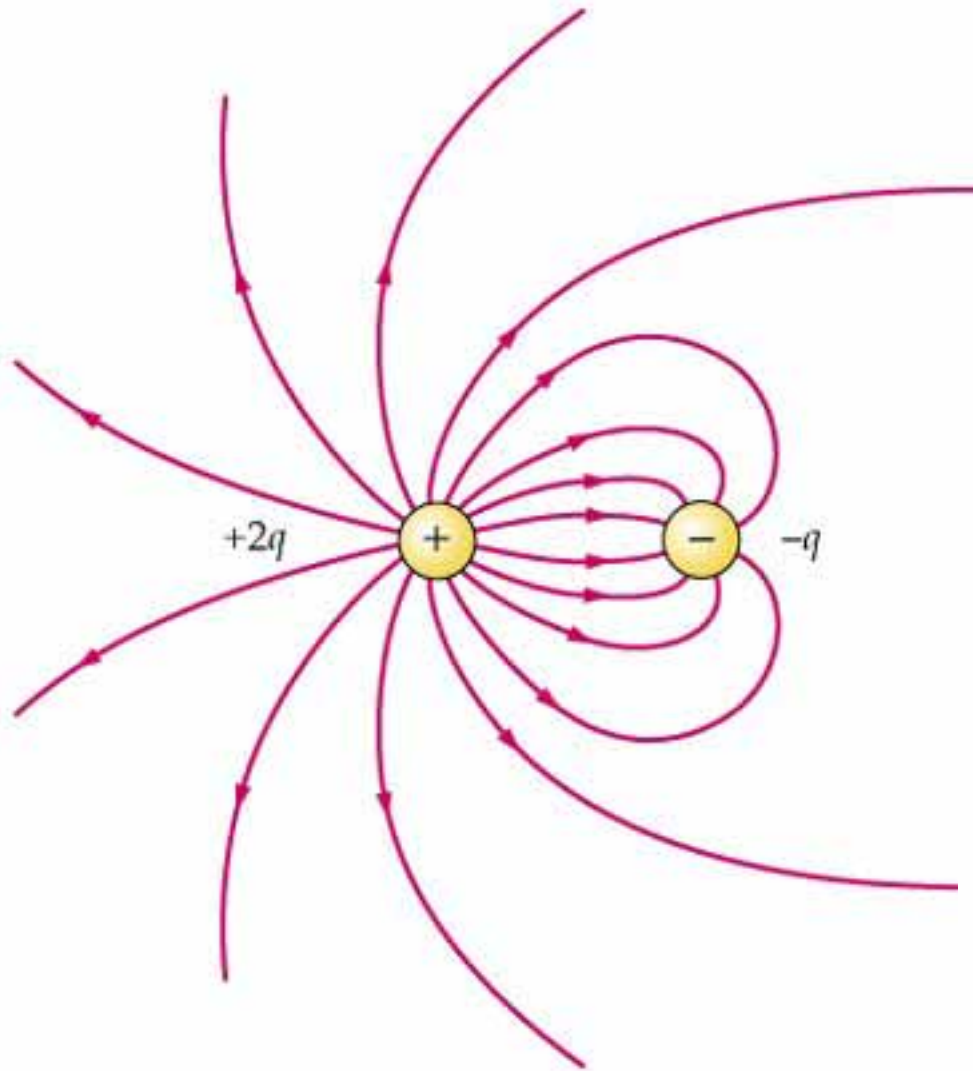


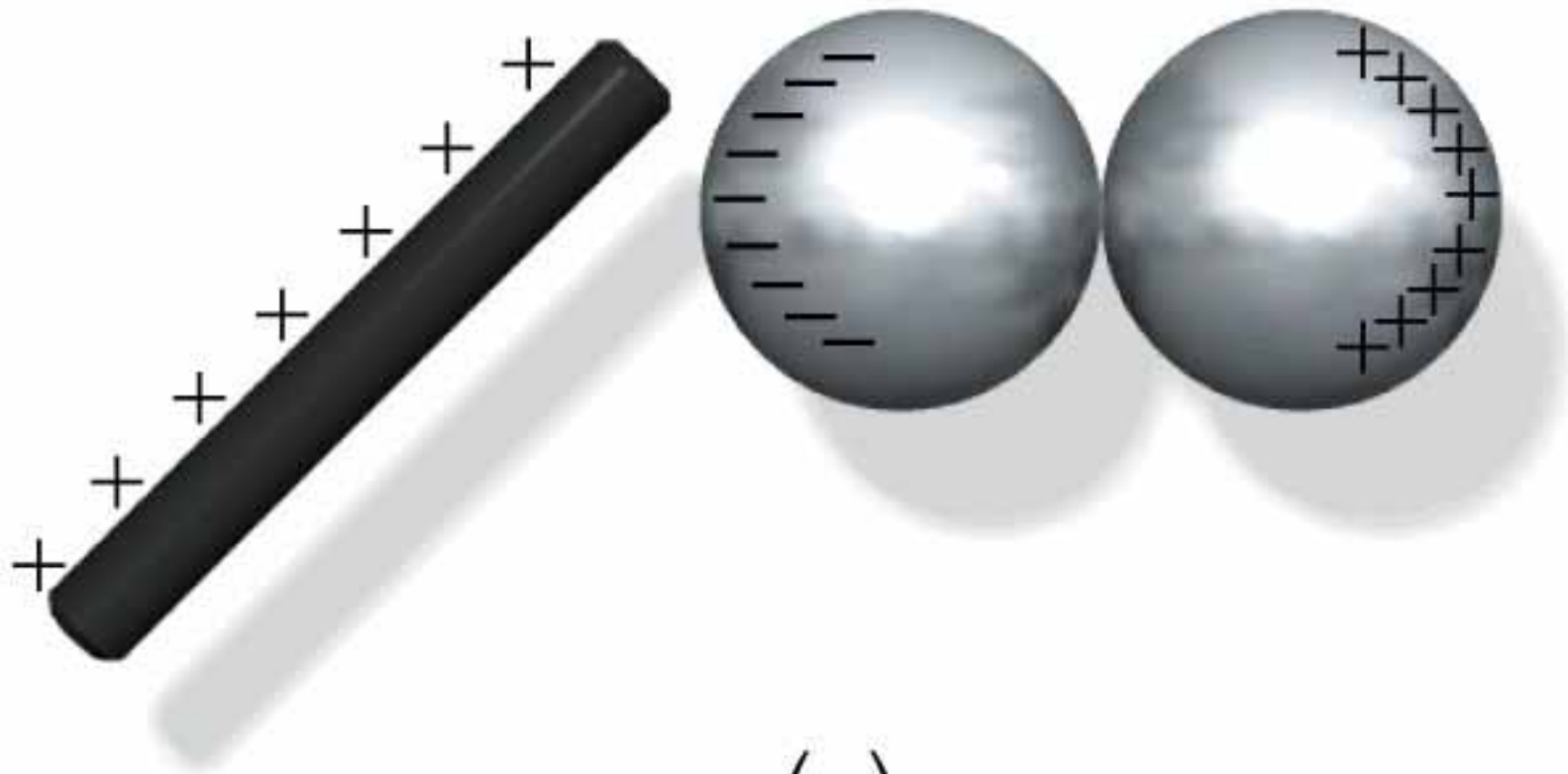




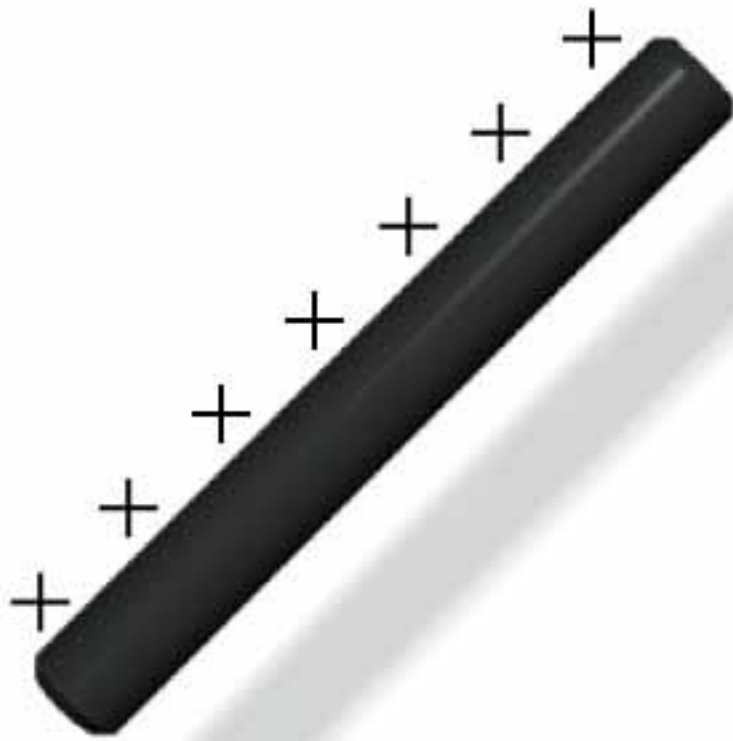




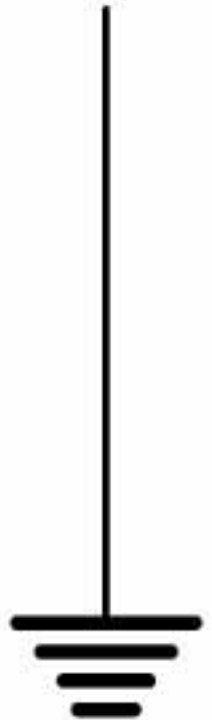


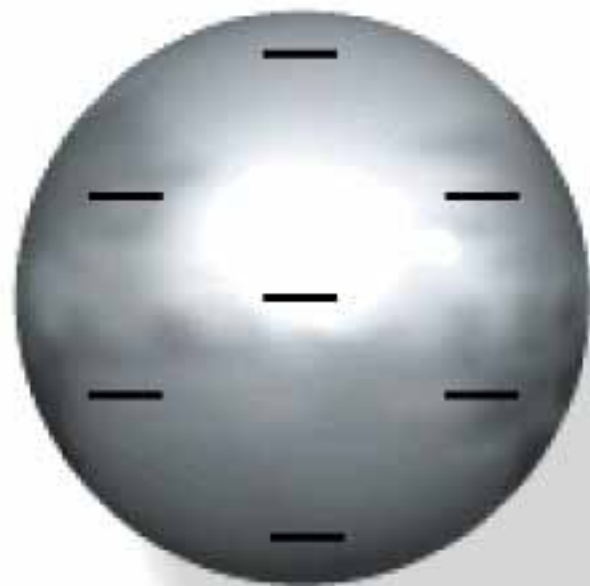


(a)



(c)





(d)



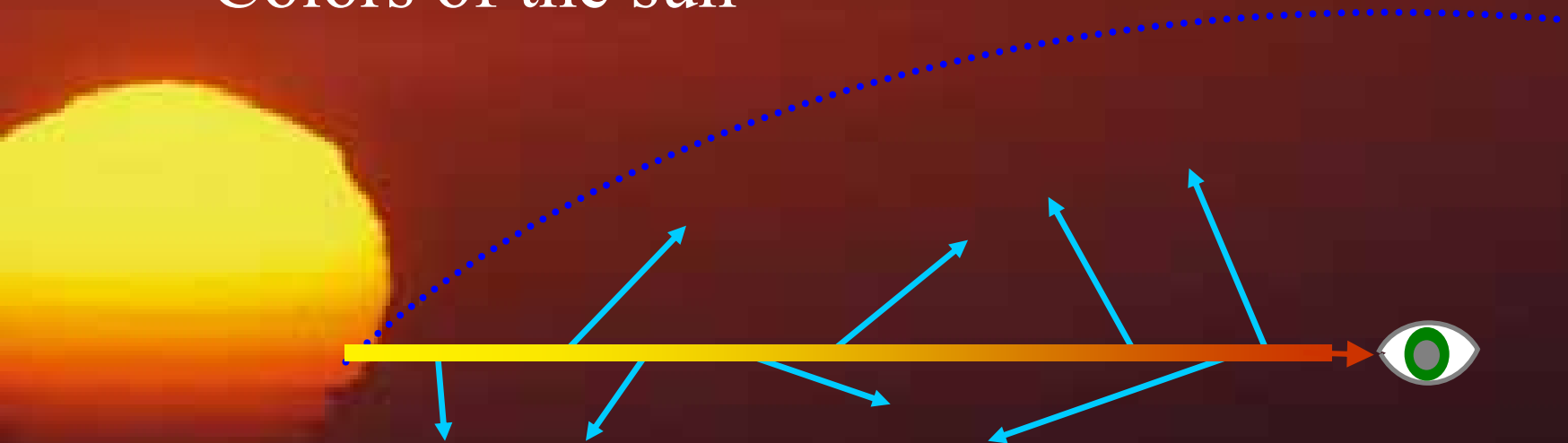
(b)



Symbol for
ground

Atmospheric light

- Colors of the sun



Maxwellの方程式と電磁波

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{rot } \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{i} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \mathbf{i}=0, \text{div } \mathbf{E} = 0 \\ \text{空間電流と電荷分布がな} \\ \text{いものとする。} \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{rot } \mathbf{E} = - \mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \\ \text{rot } \mathbf{H} = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \end{array} \right.$$

$$\text{rot rot } \mathbf{E} = - \mu \text{rot } \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = - \mu \frac{\partial}{\partial t} \text{rot } \mathbf{H}$$

面積分の意味

$$\iint \underline{E} \cdot \underline{n} \, dS \quad \left(\iint E \cdot dS \right) \quad \left(\oint E \cdot dS \right)$$

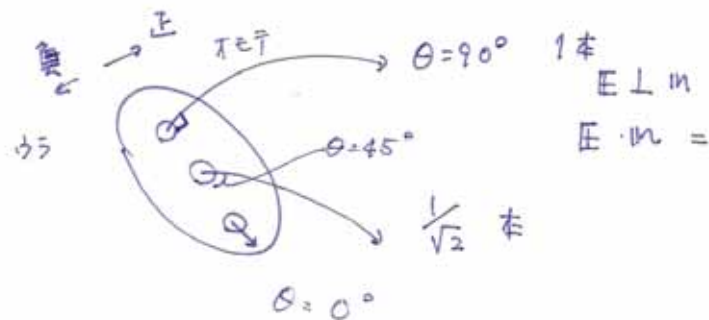
積分すべき場の
ベクトル

法線ベクトル

微小面積

面と交わる 力線の密度

面積分: 面を通り抜ける力線の総数



注 $\iint \Rightarrow$ 2重に積分するのでない

