

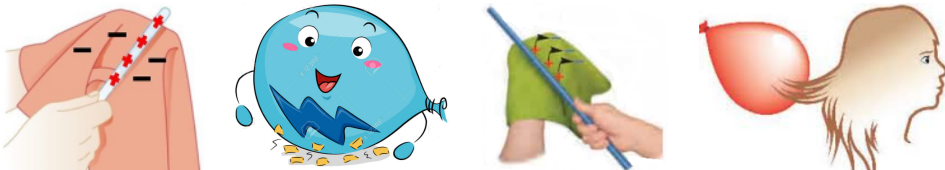
## КУЛОНЫ ХУУЛЬ COULOMB'S LAW

**Coulomb's Law**

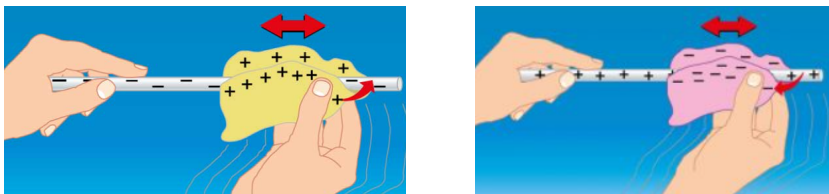
$$F_E = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

electric force constant  $k$   
 electric charge  $q_1, q_2$   
 electric force  $F_E$   
 distance between charges  $r^2$

Хув, шил зэргийг ноос, арьсаар зүлгэхэд жижиг биетийг өөртөө татах чадвартай болдгийг хүмүүс эрт дээр үеэс мэддэг байсан бөгөөд үүнийг бие цахилгаанжих гэж ярьдаг.



Цахилгаан соронзон харилцан үйлчлэлд биесийн оролцох чадварыг цахилгаан цэнэг гэдэг физик хэмжигдэхүүн тодорхойлно.



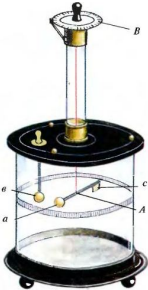
Биесийг бүрдүүлж байгаа эгэл бөөмс цэнэгтэй байдаг болохоос цахилгаан цэнэг гэж тусгай зүйл байдаггүй. Цэнэггүй бөөм байх боловч бөөмгүй цэнэг гэж байхгүй. Байгаль дээр эерэг, сөрөг хоёр төрлийн цахилгаан цэнэгтэй бөөмс байдаг. Электроны цэнэгийг сөрөг, протоны цэнэгийг эерэг гэж авдаг. Байгаль дээр оршдог бүхий л цахилгаан цэнэгийн дотроос

электрон ба протоны цэнэг хамгийн бага хэмжээтэй нь бөгөөд үүнийг эгэл цэнэг гэнэ. Эгэл цэнэгийн хэмжээ  $\pm 1.6 \cdot 10^{-19}$  Кл хэмжээтэй цахилгаан цэнэгтэй биес өөр хоорондоо харилцан үйлчлэлцэнэ. Энэ үйлчлэлийг цахилгаан харилцан үйлчлэл гэнэ. Ижил цэнэгтэй биес түлхэлцэж, эсрэг цэнэгтэй нь таталцана.



Цэнэгжсэн биес цахилгаан орноор дамжин харилцан үйлчлэлцдэг. Хэрэв цэнэгтэй хоёр биеийн хоорондох зай эдгээрийн шугаман хэмжээнээс олон дахин их байвал биеийн хэлбэр, хэмжээ эдгээрийн хоорондын цахилгаан соронзон харилцан үйлчлэлд төдий л нөлөөлөхгүй. Ийм биеийг цэгэн цэнэг гэж үзнэ. Цэнэгийн харилцан үйлчлэлийн хүчний хэмжээ 1775 онд Францын физикч Ш.Кулон (1736-1806) туршлагаар тогтоожээ.

Туршлагын бүдүүвч нь:

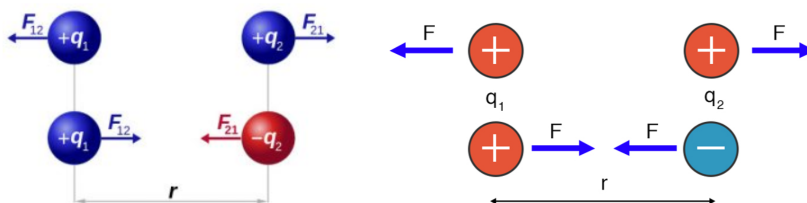


Агаарыг нь сайтар соруулсан шилэн цилиндр дотор цахилгааныг үл дамжуулах *A* савааны үзүүрт металл үрэл бэхлээд нөгөө үзүүрт нь ачаа дүүжилж тэнцүүлнэ. Савааг нарийхан кварц утсаар дүүжлэн эргэлдэх *B* дугуйд бэхэлжээ. *B* дугуй эргэлтийн өнцгийг заах хуваарьтай.

Цилиндр савны таглаанаас дүүжилсэн өөр нэг үрлийг *A* савааны үзүүрт бэхэлсэн үрлийн ойролцоо дүүжилжээ. Дараа нь хоёр үрлийг зэрэг цэнэглэхэд үйлчлэлцэж *A* саваа эргэлдэхийг *B* дугуй дээр хичнээн өнцгөөр эргэсэн нь хэмжигдэнэ. Энэ нь хүчний хэмжээнд пропорционал байна. Цэнэгийг өөрчлөхгүйгээр үрлүүдийг холдуулж, ойртуулах замаар хүчээ тодорхойлжээ. Хүчний хэмжээ нь зайн квадратад урвуу пропорционал болохыг тогтоожээ.

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

Зайгаа тогтмол байлгаж хоёр үрлийн цэнэгийн хэмжээг өөрчлөн хүчийг хэмжихэд  $F \sim q_1 q_2$  байжээ. Цэгэн цэнэгүүдийн харилцан үйлчлэлийн хүч нь цэнэгүүдийн үржвэрт шууд, тэдгээрийн хоорондох зайн квадратад урвуу пропорционал хамааралтай байна. Үүнийг Кулоны хууль гэнэ.

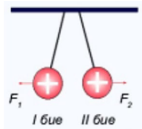


$$F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$k$ -пропорционалын коэффициент. Нэгжийн СИ системд

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad \text{бөгөөд} \quad \frac{H \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

Жишээ: Агаарт байгаа 100г масстай адил хоёр үрлийг тус бүрийг 2м урттай нарийхан торгон утсанд бөөрөөр нь нийлүүлэн дүүжилжээ. Үрлүүдэд  $+10^{-6}\text{Кл}$  цэнэг өгсөн бол тэд ямар зайд



холдох вэ?

**БОДОЛТ:** Өгсөн  $q$  цэнэг үрлүүдэд адил хэмжээгээр хуримтлагдах тул тус бүр  $q_1 = \frac{q}{2}$  цэнэгтэй болно. Ижил цэнэгтэй үрлүүд Кулоны  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$  буюу  $F_q = k \frac{q_1^2}{r^2}$  хүчээр түлхэлцэж холдсны дараа тэнцвэрт орох учир үрлийн хүндийн хүч  $P = mg$ , утасны татах хүч  $T$  хоёрын тэнцүү үйлчлэгч  $F$  хүч нь хэмжээгээрээ  $F_q$ -тэй тэнцэнэ.

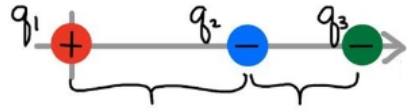
$$F = F_q = Ptg\alpha = mgtg\alpha$$

$\alpha$  өнцөг бага учир  $tg\alpha \approx \sin\alpha = \frac{r}{2\ell}$  болж

$$F = \frac{mgr}{2\ell} = k \frac{q_1^2}{r^2}$$

Эндээс  $r = 0.33\text{м}$

Жишээ: Тус бүр 10нКл, 90нКл цэнэгүүд 4см зайд оршино. Эдгээрийн ойролцоо 3 дахь цэнэгийг байрлуулсан бол энэ цэнэг



хаана байрлахад тайван байх вэ?

**БОДОЛТ:** Тайван байхын тулд нийлбэр хүч нь тэг байх ёстой.

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$$

$$\text{Эндээс } F_1 = F_2$$

$$F_1 = k \frac{qq_1}{r_1^2}; \quad F_2 = k \frac{qq_2}{r_2^2}$$

Эдгээрийг тэнцүүлбэл:

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{q_1}{q_2}}$$

$d = r_1 + r_2$  Эндээс  $r_2 = d - r_1$  ба үүнийг орлуулбал:

$$\frac{r_1}{d - r_1} = \sqrt{\frac{q_1}{q_2}} \quad \text{Эндээс}$$

$$r_1 = \frac{d}{1 + \sqrt{\frac{q_1}{q_2}}} = 3\text{см}; \quad r_2 = 1\text{см}$$

Жишээ: Хоёр цэнэгийн харилцан үйлчлэлийг хэвээр үлдээж нэг цэнэгийг нь 4 дахин ихэсгэхэд хоорондох зай нь хэд дахин өөрчлөгдөх вэ?

**БОДОЛТ:**

$$\text{Эхлээд } F_1 = k \frac{q_1 q_2}{r_1^2}$$

$$\text{дараа нь } F_2 = k \frac{q_1 4q_2}{r_2^2}$$

хэлбэртэй Кулоны хууль бичигдэнэ.

Нөхцөл ёсоор:  $F_1 = F_2$  тул эндээс

$$\frac{q_1 q_2}{r_1^2} = \frac{q_1 q_2}{r_2^2}$$

Эндээс  $r_2 = 2r_1$  болж хоорондох зай нь 2 дахин ихэснэ.

### ДАСГАЛ БОДЛОГО

- Биеийг үрж эерэг цэнэгтэй болгосон бол энэ биеэс нөгөө биед ямар бөөм шилжсэн бэ?
  - Электрон
  - Протон
  - Нейтрон
  - Цөм
  - Фотон
- $q_1 = 12\text{нКл}$ ,  $q_2 = 20\text{нКл}$  цэнэгүүд хоорондоо 9см зайд оршино.  $q_1$  цэнэгээс 4см,  $q_2$  цэнэгээс 5см зайд орших 5нКл цэнэгт ямар хүчээр үйлчлэх вэ?
- Ваакум дотор нэг нь нөгөөгөөсөө 20см зайд орших  $4 \cdot 10^{-9}\text{Кл}$ ,  $5 \cdot 10^{-8}\text{Кл}$  цэнэг бүхий нэгэн цэнэгүүд ямар хүчээр харилцан үйлчлэлцэх вэ?
- Керосин дотор хоорондоо 3мм зайд орших хоёр дусал ямар хүчээр харилцан үйлчлэх вэ? Хоёр дуслын цэнэг тус бүр  $7 \cdot 10^{-9}\text{Кл}$ ,  $2 \cdot 10^{-9}\text{Кл}$  болно.
- Агаарт байрлах  $q_1 = 4\text{мкКл}$ ,  $q_2 = 3\text{мкКл}$  цэнэгүүд хоорондоо 4H хүчээр харилцан үйлчлэлцэж байв. Эдгээрийг керосинд оруулж дээрх хүчээр харилцан үйлчлүүлвэл хоорондох зай нь хэрхэн өөрчлөгдөх вэ?
- Хэрэв үрэлтээр биеийг сөрөг цэнэгтэй болгосон бол энэ биеэс нөгөө биед ямар бөөм шилжсэн бэ?
  - Электрон
  - Протон