

# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

делится на 3 раздела:

- электростатику;
- электрический ток (постоянный и переменный);
- магнитное поле.

# Электростатика

изучает статические (неподвижные) заряды и связанные с ними электрические поля.

# 1. Электрический заряд

Заряды  $q$  бывают 2-х знаков «+» и «-».

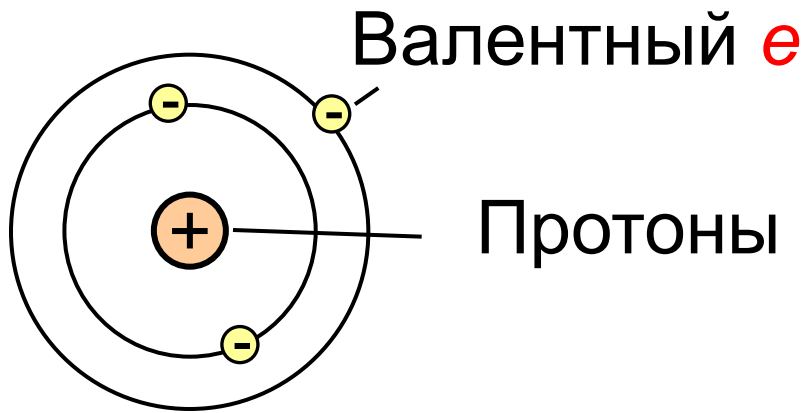
Опыт:  $q$  одного знака - отталкиваются,  
разноименные - притягиваются.

Милликен, 1909 г. установил:

величина заряда  $q$  любого тела кратна  $e$ :

где  $e$  - заряд электрона,

$q = n e$  - целое число.



$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Носители **элементарного** заряда:

- электрон ( $q = -e$ ),
- протон ( $q = +e$ ).

Атом электр. нейтрален.

Валентные  $e$  слабо связаны с атомом и может быть **сравнительно легко** (трением) оторваны и перемещены на другое тело .

Тела с избытком  $e$  заряжены  
(-), с недостатком  $e$  — (+).

## 2. Закон сохранения зарядов

При электризации трением оба тела заряж-ся равными по величине, но разноименными зарядами  $+q$  и  $-q$ .

При соприкосновении тел их заряды исчезают.

При этом суммарный  $q$  на телах не изменяется - происходит их перераспределение.

В замкнутой системе алгебр. сумма эл. зарядов остается постоянной.

$$\sum q_i = const$$

Закон сохранения  
зарядов

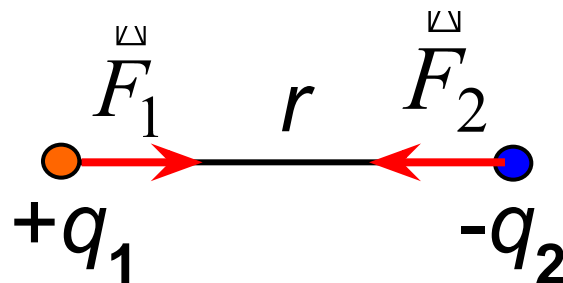
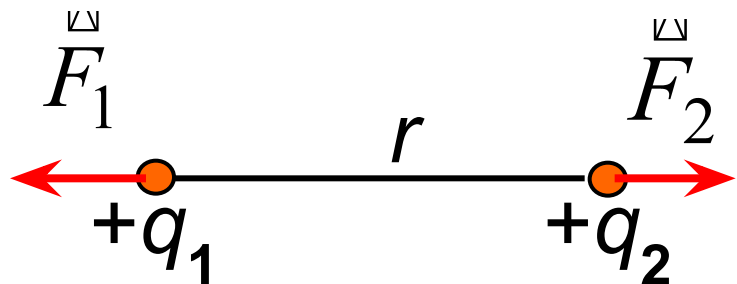
**ЗСЗ** – закон **фундаментальный**, он выпол-ся как для макро-, так и для микромира.

;

### 3. Закон Кулона

Точечный заряд ( $q$ ) – заряженное тело, размеры которого малы по сравнению с расст. до других заряд. тел.

Кулон (Франция, 1784 г) на опыте определил силу взаимодействия точечных  $q$ .



$$\vec{F}_K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$$

Закон Кулона

Здесь:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{М}}$$

Электр.  
постоянная.

$\vec{F}_K$  - вектор **силы**, направлен вдоль прямой, соединяющей  $q$ .



- Обозначим:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

Тогда:

$$\vec{F}_K = k \cdot \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$$

Закон Кулона

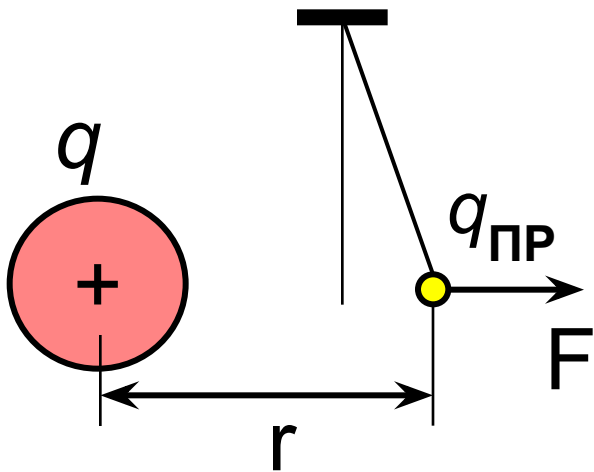
- Кулоновские силы велики.
- Так если в человеке  $e$  будет на 1% больше, то на расстоянии 1 шага от такого же человека возникнет сила отталкивания, равная весу Земли!

## 4. Напряженность эл. поля

Силовое действие  $q$  - на расстоянии.

**Гипотеза:** вокруг зар. тел существует электростатическое поле.

Величину эл. поля можно найти с помощью пробного заряда  $+q_{пр}$  ( $q_{пр} \ll q$ ).

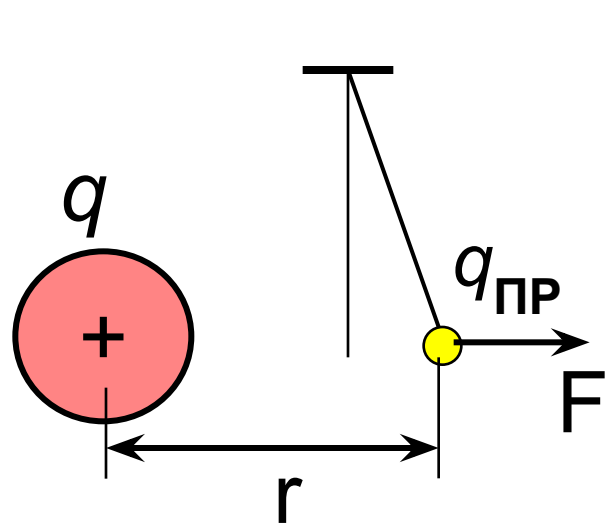


$$E = \frac{F}{q_{пр}}$$

$$F = k \cdot \frac{q \cdot q_{пр}}{r^2}$$

**Напряженность  
эл. поля.**

Перенос рис.



$$F = k \cdot \frac{q \cdot q_{пр}}{r^2}$$

$$E = \frac{F}{q_{пр}}$$

Напряженность  
эл. поля.

$E$  – силовая характеристика эл. поля и равна силе, действующей на ед. полож.  $q$ , находясь в этом поле.

Размерность :  $[E] = \left[ \frac{H}{Кл} \right] = \left[ \frac{В}{м} \right]$

Если  $q$  помещен в эл. поле напряжен.  $E$ , то на него действует сила:

$$F = qE$$

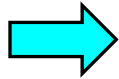
Если заряд (+), то направл.  $\vec{E}$   
совпадает с  $\vec{F}$ .

Поле  $E$  от точеч. заряда  $q$ .

На  $q_{np}$  действ. сила:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{np}} = k \cdot \frac{q}{r^2}.$$

$$\vec{F} = k \cdot \frac{q \cdot q_{np}}{r^2}$$



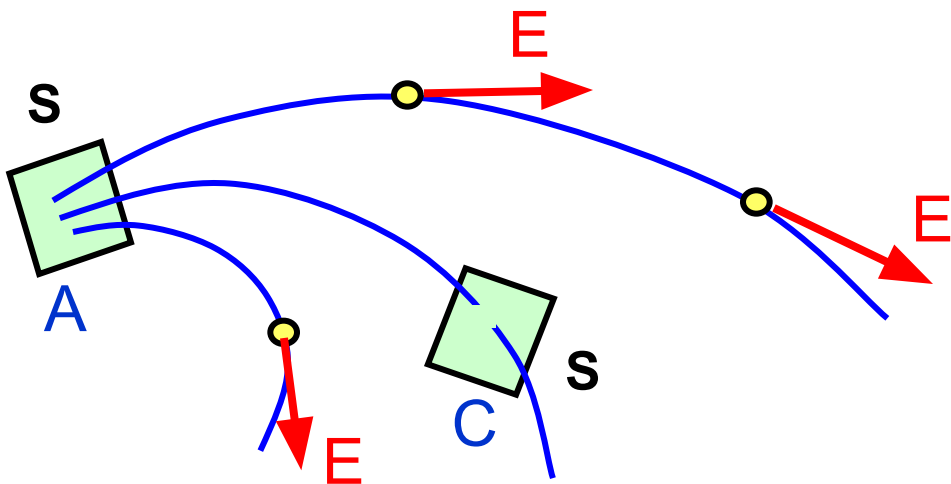
$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

Напряжен. эл. поля  
от точеч.  $q$ .

## 5. Силовые линии эл. поля

Эл. поле представляют **графически**  
**СИЛОВЫМИ ЛИНИЯМИ.**

Сил. линии поля  **$E$**  проводят так, что  
**касательная** к ним дает в каждой точке  
**направление**, а **густота** линий – **величину**  
вектора  **$E$** .

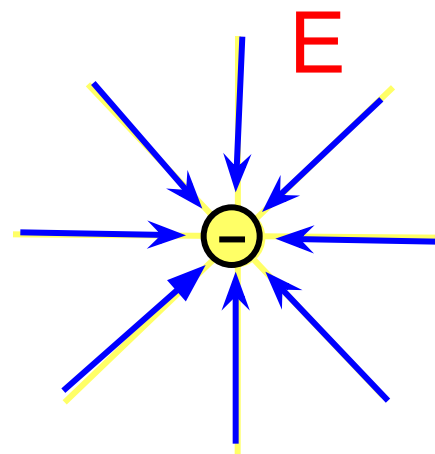
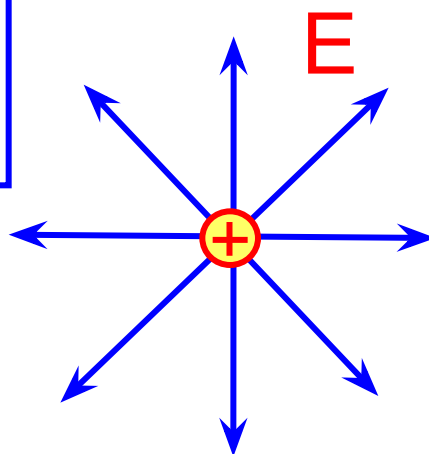


$$E_A > E_C$$

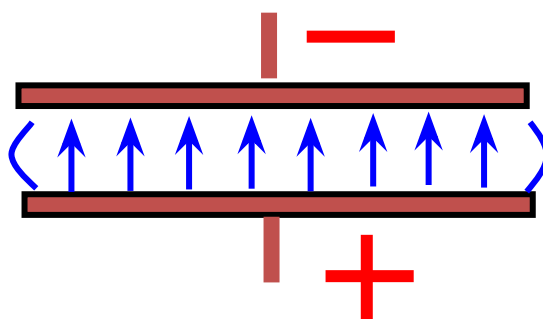
# Силловые линии поля $E$ заряженных тел

СЛ поля  $E$   
точечного  
заряда.

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



Пол  $E$  в  
конденсаторе  
однородно



Силловые Линии поля  $E$  начин-ся на  $+q$  и  
заканч-ся на  $-q$  или уходят в  $\infty$ .

СЛ однородного поля  $E$  парал-ны.

## 6. Принцип суперпозиции эл. полей

Пусть поле  $E$  создается несколькими  $q$ .

Найдем  $E$  в т.  $A$ . Поместим в т.  $A$   $+q_{\text{пр}}$ .

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \sum \vec{F}_i.$$
$$\vec{F} = q_{\text{пр}} \vec{E} \quad \longrightarrow$$
$$q_{\text{пр}} \vec{E} = q_{\text{пр}} \vec{E}_1 + q_{\text{пр}} \vec{E}_2 + q_{\text{пр}} \vec{E}_3 = q_{\text{пр}} \sum \vec{E}_i.$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = \sum \vec{E}_i.$$

Принцип  
суперпозиции

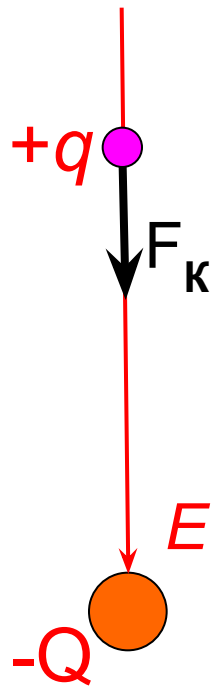


Напряжен. эл. поля  $E$  от системы точек.  $q$  равна **векторной** сумме полей  $E_i$ , создаваемых в данной точке каждым из  $q$  в отдельности.

Принцип суперпоз. позволяет вычислять поле  $E$  от любой системы  $q$ . Если **заряд**  $q$  протяженный, то его разбивают на малые части  $dq$  и поле от них суммируют **векторно**.

# 7. Потенциал

Электрическое поле  $E$  является потенциальным и заряд  $q$  в нём обладает **потенц. энергией  $\Pi$** .



Если  $q$  отпустить, то под действием  $F_k$  его  $\Pi$  энергия превр-ся в **кинет.**

$$\varphi = \frac{\Pi}{q}$$

Потенциал  $\varphi$  – энергетическая хар-ка эл. поля, **скаляр**

$$[\varphi] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \quad (\text{Вольт})$$

$\Pi$  зар.  $q$  в эл. поле с потенц.  $\varphi$ :  $\Pi = q \cdot \varphi$

$\varphi$  поля от точечн.  $Q$ :  $\varphi = \frac{\Pi}{q} = \dots$

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$\varphi$  эл. поля от точечного зар.  $Q$

Потенц. эл. поля от нескольких  $q$ :

$$\varphi = \sum \varphi_i$$

Потенц. эл. поля от системы  $q$   
равен алгебраической сумме  $\varphi_i$   
от каждого из  $q_i$ .

# Электроёмкость и энергия электростатического поля

# 1. Электроёмкость проводников

**C** - это способность пр-ка накапливать на поверхности **q**.

$$C = \frac{q}{\varphi}$$

**C** – электроёмкость пров-ка.

Электроём-ть **C** пр-ка есть отношение заряда **q** пр-ка к его потенц. **φ**.

$$[C] = \text{Кл/В} = [\Phi](\text{Фарада})$$

Это больш. вел-на, поэтому **мкФ**, **нФ**, **пкФ**.

1 Ф – ёмкость шара в воздухе  $R = 9 \cdot 10^6 \text{ м}$ .

**C** пр-ка опред-ся размерами, формой,  $\epsilon$ .

## Электроёмкость шара

Потенц. шара в среде с  $\epsilon$ :

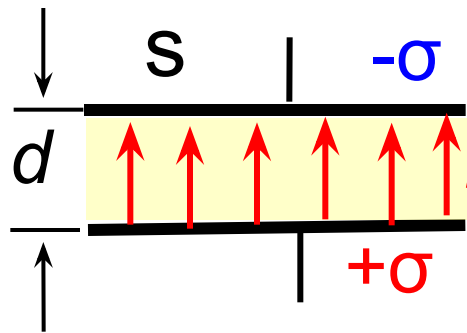
$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R} = \quad \rightarrow \quad C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R$$

Электроём-  
кость шара

## 2. Конденсаторы

Уединенные пр-ки имеют малую **C**.  
Велика **C** Конденсаторов (две пластины,  
между которыми наход-ся диэл-к ( $\epsilon$ )).

## 2.1. Плоский конденсатор



Конд-р заряд-ся, если к нему

приложить  $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ .

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$$

Ёмкость плос-го конд-ра.

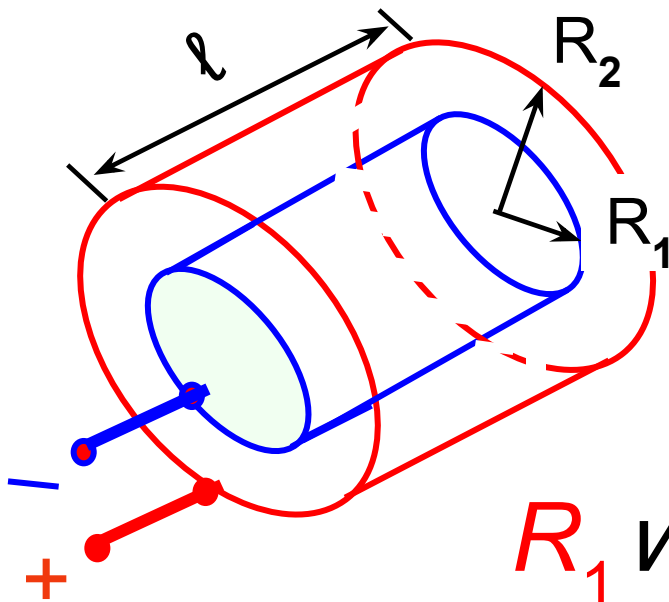
$S$  – площ. пластин,  $d$  – зазор между пласт.,  $\varepsilon$

Ёмкость  $K$  опред-ся не значениями  $q$  и  $U$ , а его параметрами:  $S$ ,  $d$ ,  $\varepsilon$ .



## 2.2. Цилиндрический конд-р

Обкладки цилиндр. **К** состоят из двух коаксиальных цилиндров.



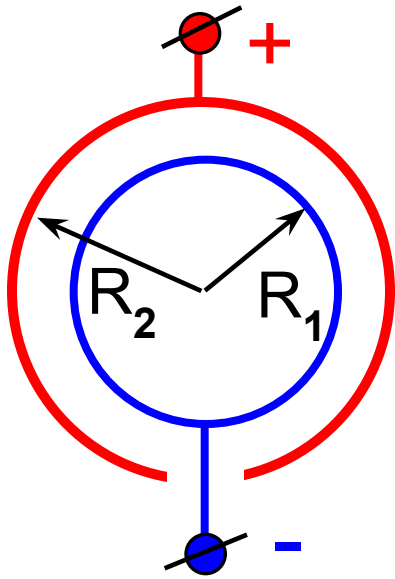
$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$

Ёмкость  
цилинр. **К**

$R_1$  и  $R_2$  – радиусы внутр. и  
внеш-го цилиндров

$l$  - длина.

## 2.3 Сферический конденсатор

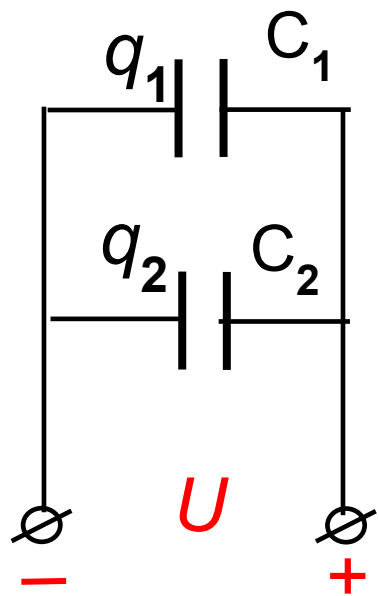


Обкладки сферического  $K$  состоят из двух соосных сфер радиусами  $R_1$  и  $R_2$ .

$$C = \frac{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

Емкость сферического  $K$

### 3. Параллельное соедин-ие конден-ов



Ёмкость батареи  $K$ .

$$C = \frac{q}{U}$$

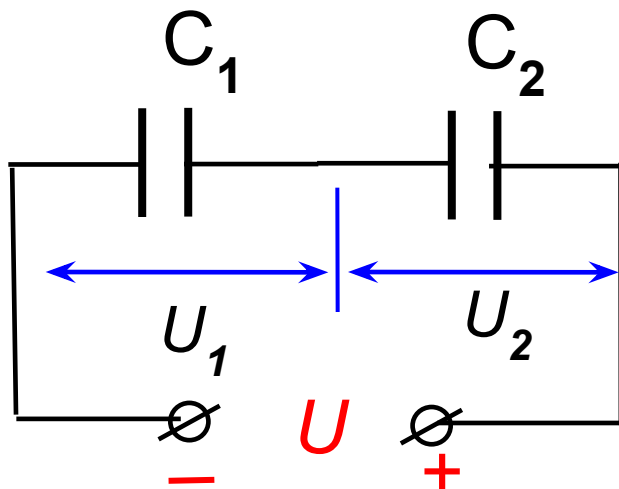
Для всех  $K$  напряж.  $U = \text{const.}$

$$\left. \begin{array}{l} q = C \cdot U \\ q_1 = C_1 U \\ q_2 = C_2 U \end{array} \right\} \begin{array}{l} q = q_1 + q_2 \\ q = \cancel{U}C = \cancel{U}(C_1 + C_2) \end{array}$$

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Ёмкость  $C$  батареи // соединенных  
Конденсаторов равна сумме их  $C_i$ .

# 4. Последовательное соедин-ние С



Ёмкость батареи  $C$ .

$$C = \frac{q}{U}$$

Для всех  $K$  заряд  $q = \text{const}$

$$\left. \begin{aligned} U &= \frac{q}{C} \\ U_1 &= \frac{q}{C_1} \\ U_2 &= \frac{q}{C_2} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} U &= U_1 + U_2 \\ \frac{q}{C} &= \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$$

При вычислении  $C$  батареи послед. соедин-х  $K$  суммируются величины, обратные их  $C$

## 5. Энергия заряженного пр-ка

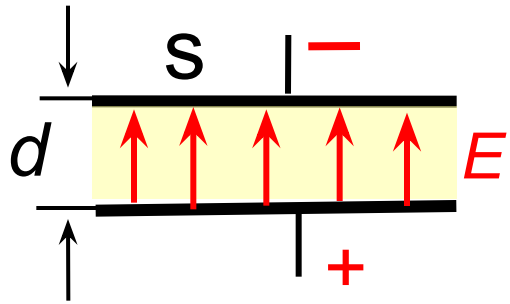
Энергия  $W$ . Если пр-к имеет  $q$ , то его  $\varphi = q/C$ .  
Для увелич-я его  $q$ , надо перенести на пр-к  $dq$  из  $\infty$ , соверш.  $A$ :

$$W = \frac{C\varphi^2}{2}$$

Энергия заряд. пр-ка.

## 6. Энергия электростатического поля

Заряд. Конденсатор тоже имеет  $W$ . Пусть к пластинам  $K$  приложено  $\Delta\varphi = U$ .



$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C}$$