

## 4.6. Електромагнітні хвилі



4.6.1

- Передумови створення теорії електромагнітних хвиль

4.6.2

- Властивості електромагнітних хвиль

4.6.3

- Здобуття електромагнітних хвиль. Винайдення радіо

4.6.4

- Шкала електромагнітних хвиль

4.6.5

- Застосування електромагнітних хвиль

## 4.6.1. Теорія електромагнітних хвиль Максвелла

Узагальнюючи *закони електромагнетизму*, Джеймс Клерк Максвелл висловив дві гіпотези.

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \cdot \vec{D} &= \rho \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 \\ \vec{\nabla} \times \vec{H} &= \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\end{aligned}$$

*J. Clerk Maxwell*

1. Гіпотеза про існування, поряд з електростатичним, **вихрового електричного поля**, так що сумарне електричне поле буде:

$$\vec{E} = \vec{E}_{\text{ст}} + \vec{E}_{\text{вихр}}$$

Причому, як завжди, циркуляція електростатичного поля дорівнює нулеві:

$$\oint_L (\vec{E}_{\text{ст}} \cdot d\vec{\ell}) = 0,$$

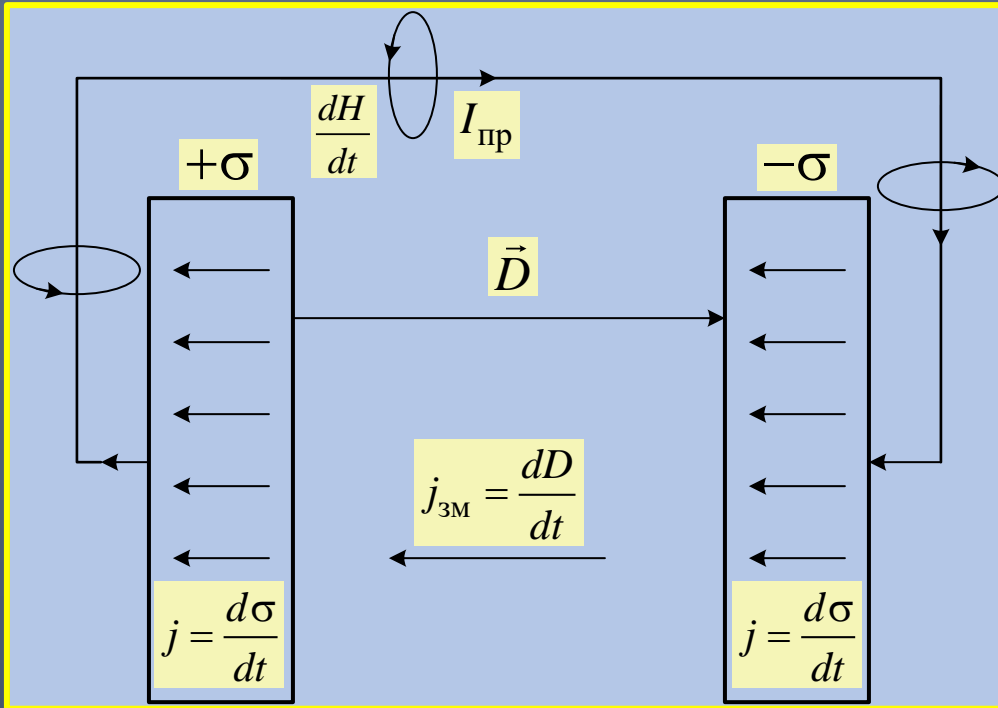
а вихрового численно рівна ЕРС індукції:

$$\oint_L (\vec{E}_{\text{вихр}} \cdot d\vec{\ell}) = \varepsilon_i$$

2. Гіпотеза про існування, поряд зі струмом провідності  $\vec{j}_{\text{пр}}$ , **струмів зміщення** – *змінного електричного поля*, яке також здатне породжувати магнітне поле:

$$\vec{j}_{\text{зм}} = \frac{d\vec{D}}{dt}$$

# Розглянемо процес розрядження конденсатора та існування струму у колі



Числове значення густини струму у товщі обкладки дорівнює похідній за часом від густини заряду:

$$j = \frac{I}{S} \quad \sigma = \frac{q}{S} \Rightarrow q = \sigma S$$

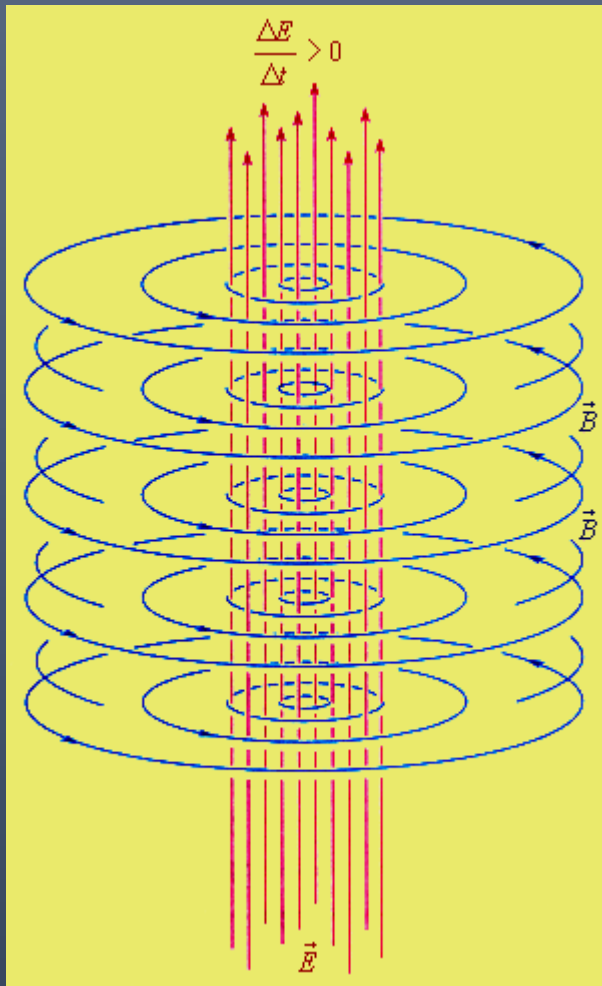
$$j = \frac{I}{S} = \frac{dq}{dt \cdot S} = \frac{d(\sigma S)}{dt \cdot S} = \frac{S d\sigma}{dt \cdot S}$$

$$j = \frac{d\sigma}{dt}$$

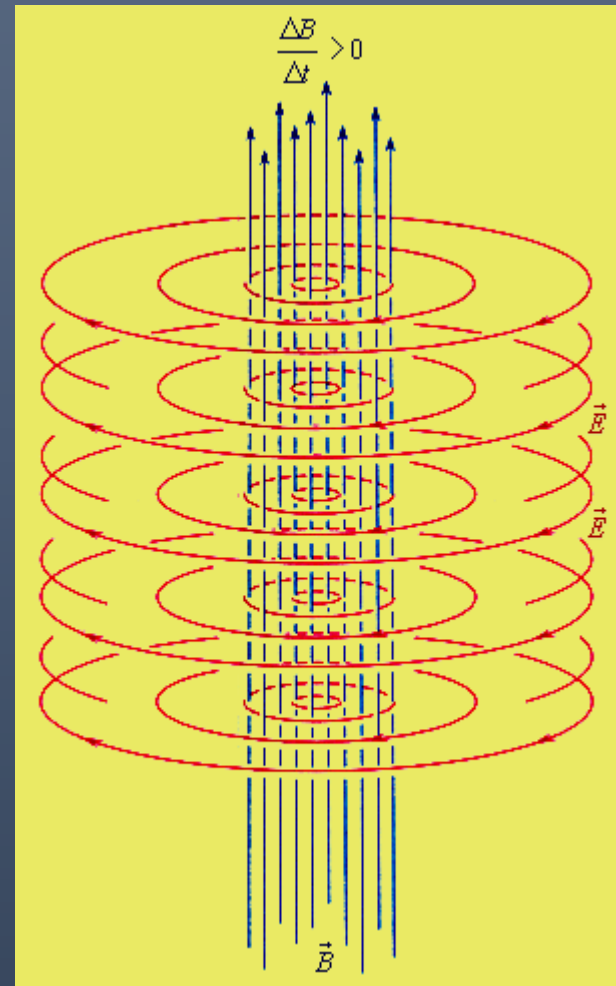
Але у момент вимикання, лампа спалахує.

Якщо взяти прилад, який реєструє магнітне поле, то у проміжку між обкладками можна виявити *магнітне поле*.

## 4.6.1. Теорія електромагнітних хвиль Максвелла



Закон електромагнітної індукції



Гіпотеза Максвелла

# Диференціальне рівняння електромагнітної хвилі

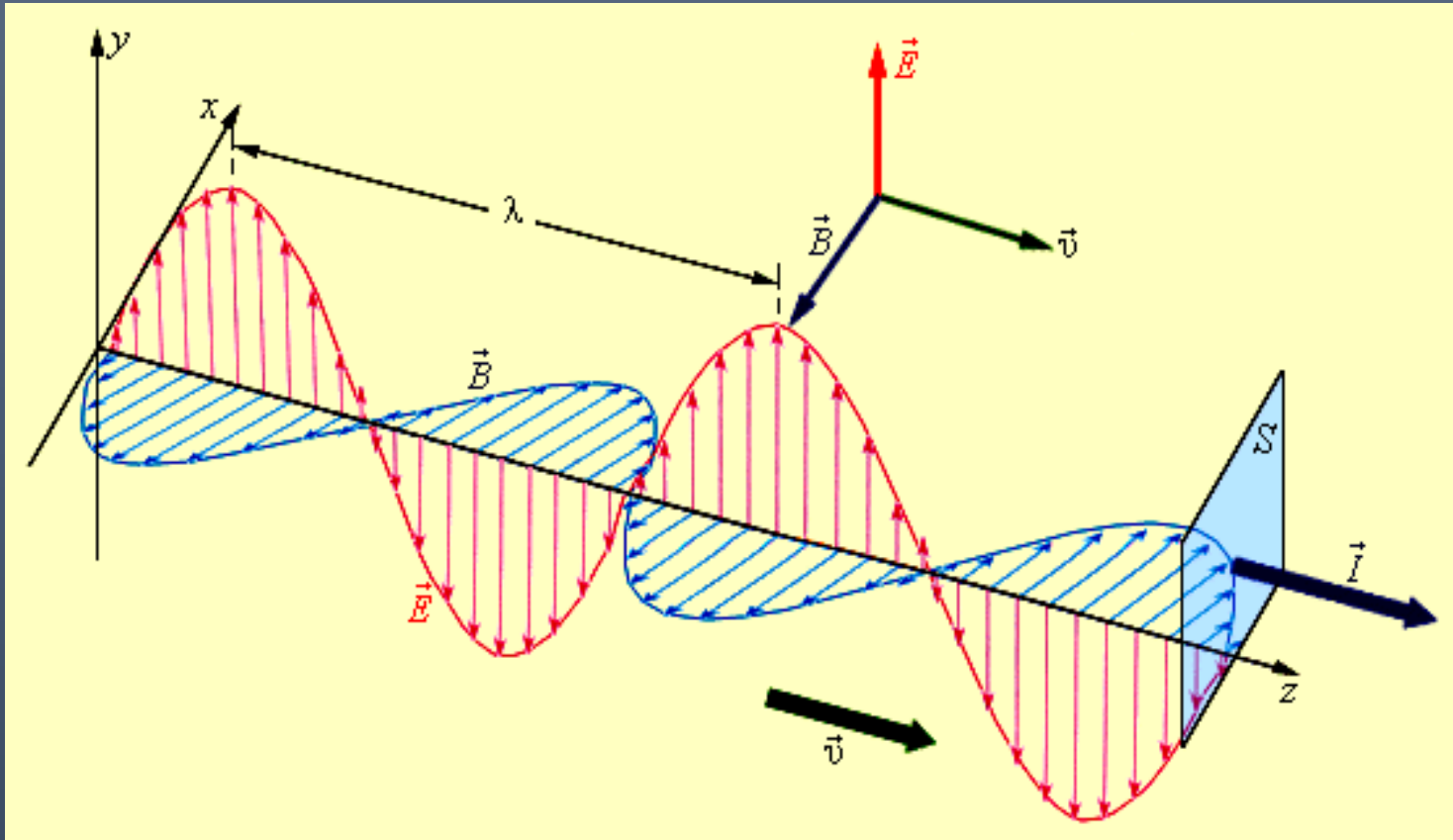
Виводиться з системи рівнянь Максвелла  
електромагнітного поля.

Для електричної складової поля у випадку  
плоских хвиль у вакуумі має вигляд:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

## 4.6.2. Властивості електромагнітних хвиль

# 1. Електромагнітні хвилі є поперечними

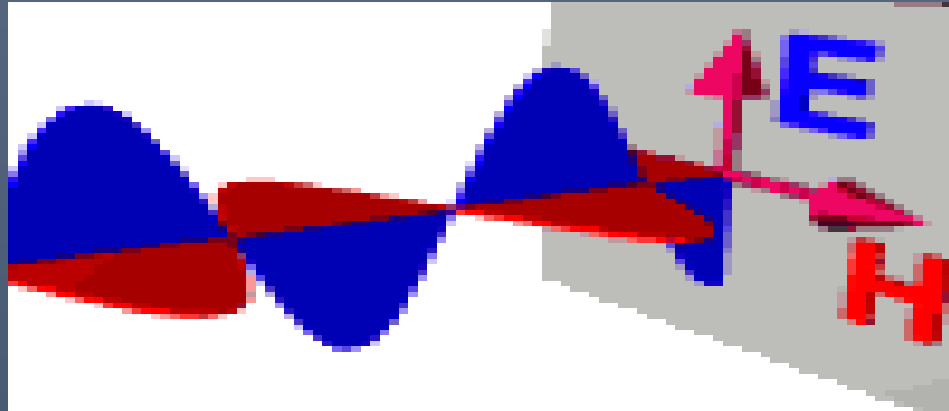


$$E_y = E_{0y} \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{z}{v} \right)$$

$$B_x = B_{0x} \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{z}{v} \right)$$



## 2. Розповсюджуються з кінцевою швидкістю



У середовищі

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\epsilon_0\mu\mu_0}}$$

$$n = \sqrt{\epsilon\mu} = \frac{c}{v}$$

У вакуумі

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} = c$$

### 3. Відбуваються взаємні перетворення електричного і магнітного полів

$$\frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}$$

### 4. Переносять енергію:

**Вектор Пойтинга -**

визначає густину потоку енергії електромагнітної хвилі

$$\vec{I} = [\vec{E} \times \vec{H}]$$

$$I = \frac{\Delta W_{EM}}{S \cdot \Delta t} = (\omega_E + \omega_M) \upsilon$$

# 5. Створюють тиск



П.М. Лебедєв  
(24.02.1866–  
01.03.1912)

- у 1895 створив найтоншу установку, за допомогою якої вперше отримав міліметрові електромагнітні хвилі
- встановив їх відбивання, подвійне променезаломлення, інтерференцію та ін. явища
- у 1901 вперше виявив і виміряв тиск світла на тверде тіло, підтвердивши кількісно теорію Максвелла
- у 1909 вирішив найважчу експериментальну задачу - встановити і виміряти тиск світла на газ
- досліджував роль обертання Землі у виникненні земного магнетизму



## 6. Мають імпульс та масу

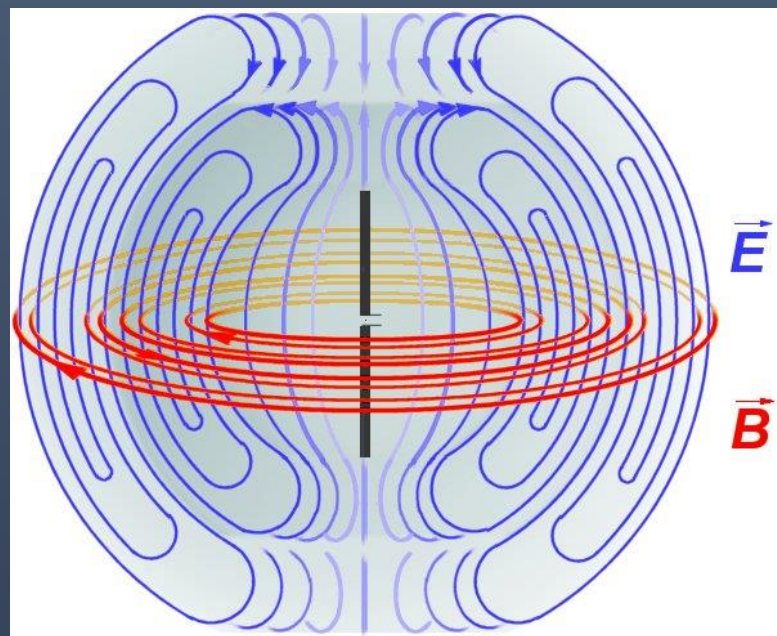
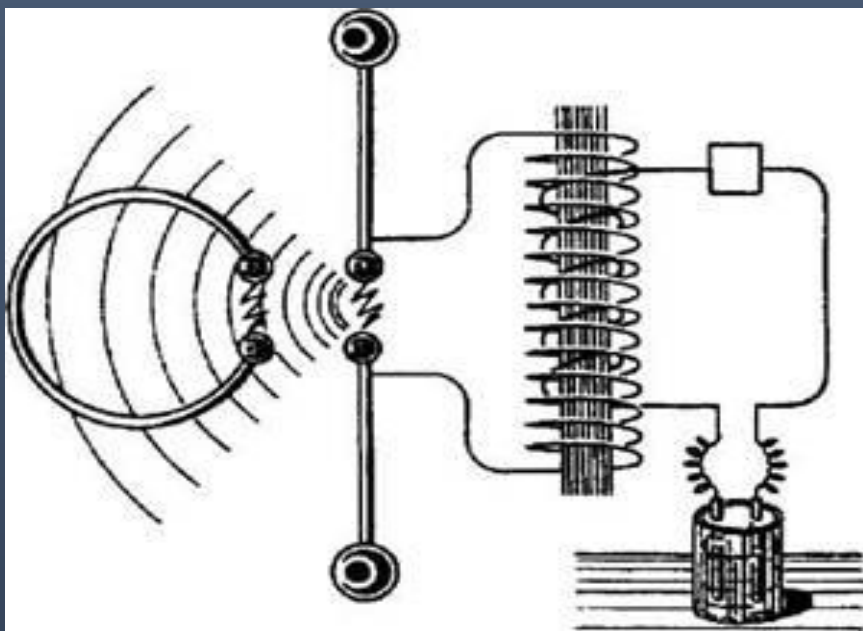
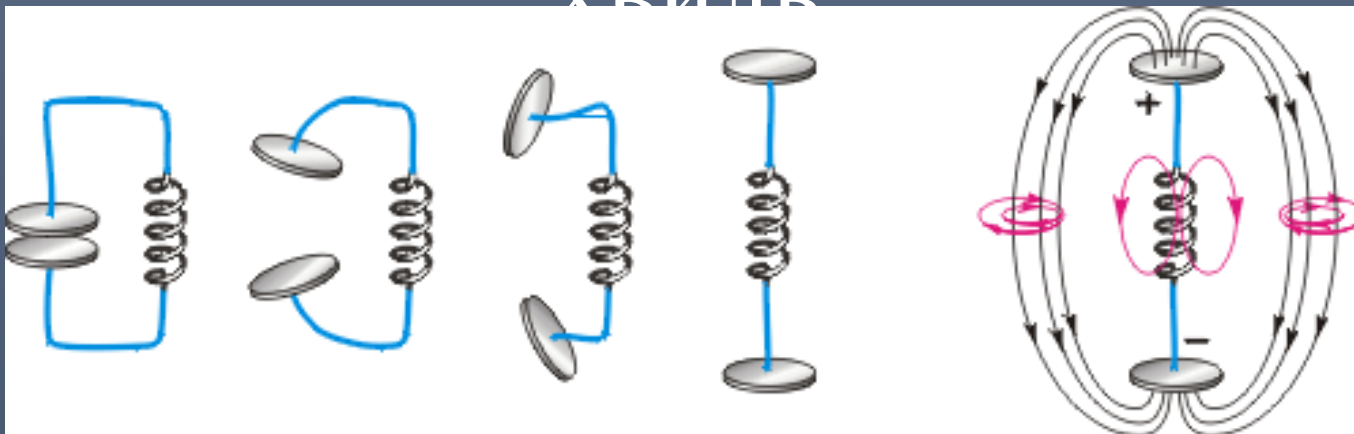
$$p = \frac{W_{EM}}{c}$$

$$W_{EM} = m_{EM} c^2$$



# 4.6.3. Здобуття електромагнітних

ХВИЛЬ





**Генріх Герц**  
(22.02.1857–  
01.01.1894)

-- у 1886-89 експериментально довів існування електромагнітних хвиль і дослідив їхні властивості (віддзеркалення від дзеркал, заломлення в призмах тощо)

-- підтвердив висновки теорії Максвела про те, що швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль у повітрі дорівнює швидкості світла

-- встановив тотожність основних властивостей електромагнітних і світлових хвиль

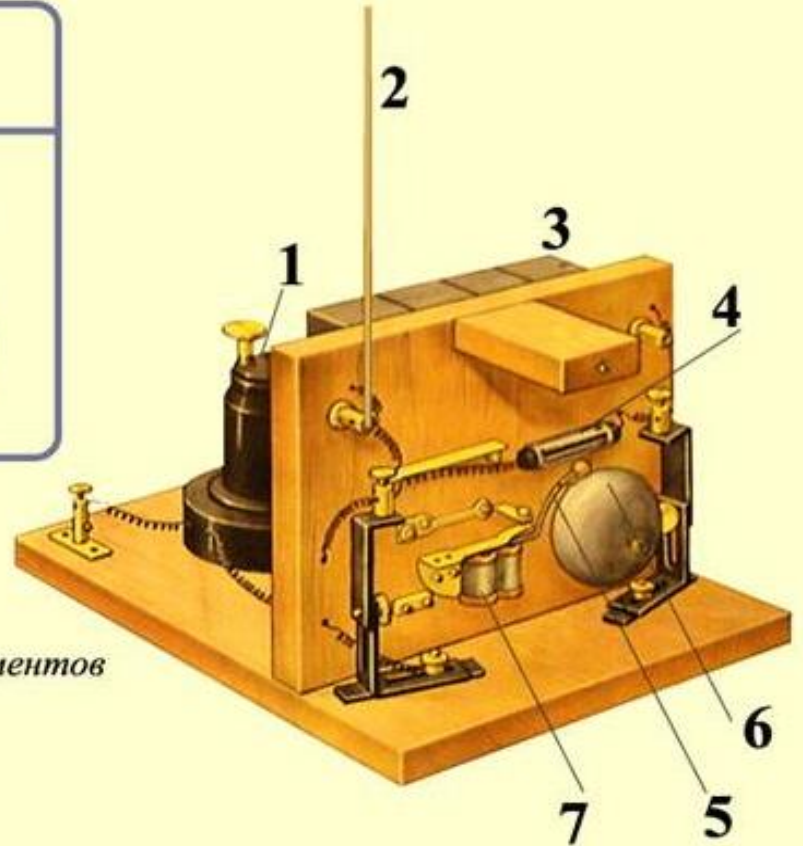
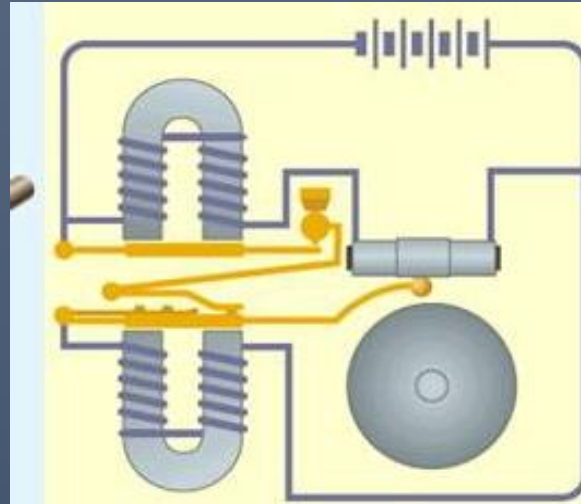
-- 1886-87 Герц вперше спостерігав і дав опис зовнішнього фотоефекту

-- іменем Герца названа одиниця частоти коливань

# Радио Попова



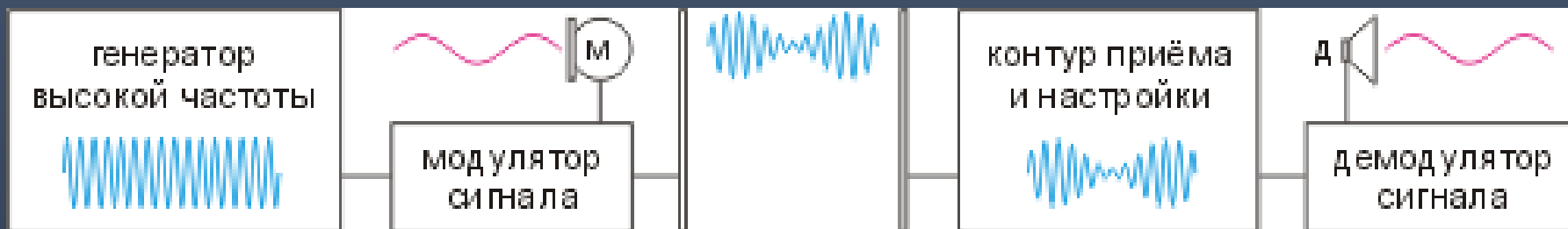
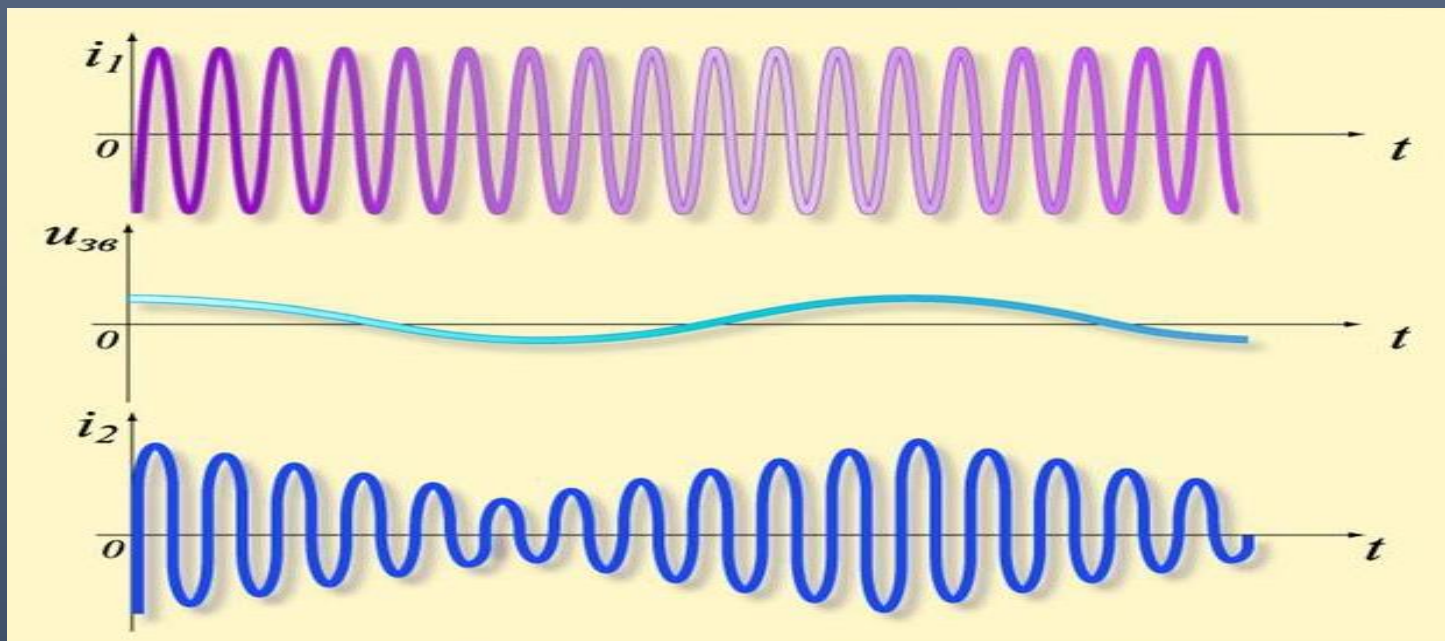
О.С. Попов  
(04.03.1859–  
13.12.1905)



1. Электромагнитное реле
2. Антенный провод
3. Батарея гальванических элементов
4. Когерер
5. Молоточек звонка
6. Чашечка звонка
7. Электромагнит звонка

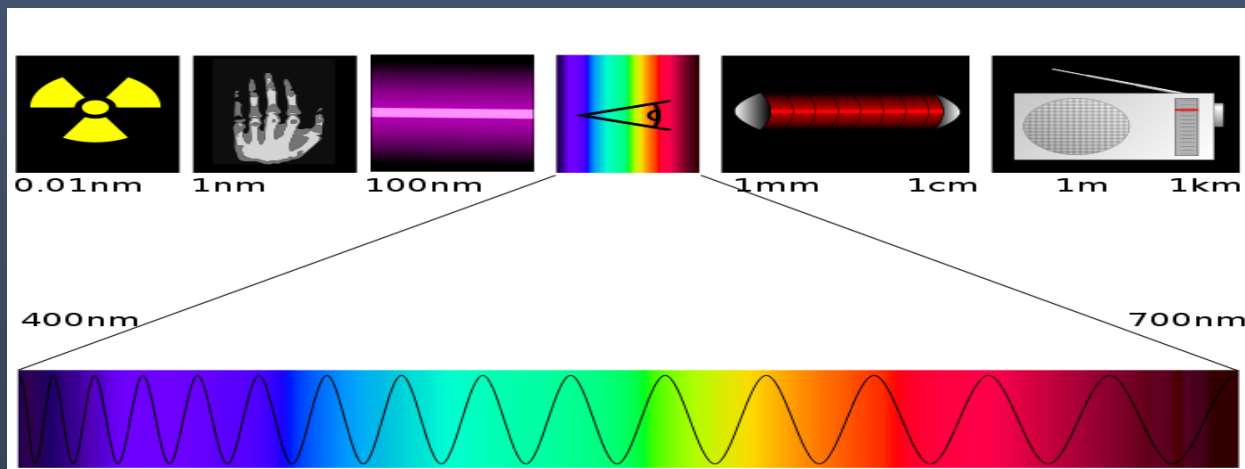


# Принцип теле – радіозв'язку





# 4.6.4. Шкала електромагнітних ХВИЛЬ



## 4.6.5. Застосування електромагнітних хвиль

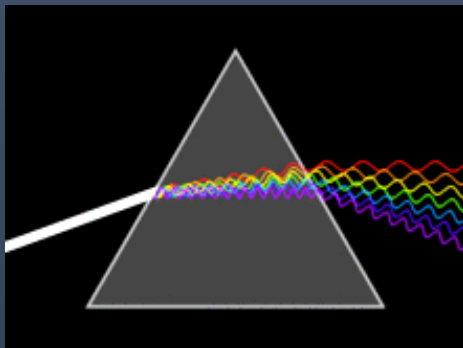
# Відкриття інфрачервоних електромагнітних хвиль



Уільям  
Гершель

(15.11.1738–  
25.06.1822)

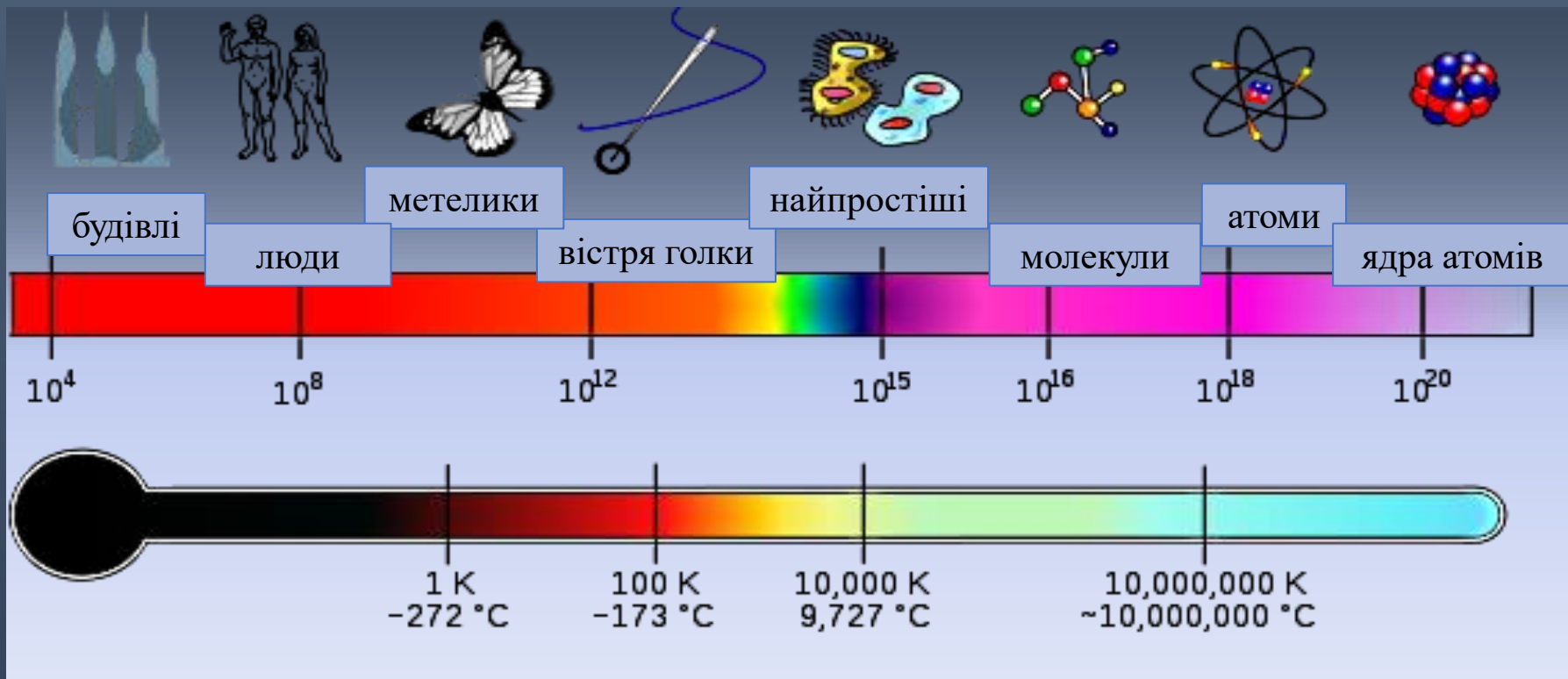
У 1800 році в ході витонченого експерименту: розщепнувши сонячне світло призмою, Гершель помістив термометр відразу за червоною смугою видимого спектру і показав, що температура підвищується, а, отже, на термометр впливає світлове випромінювання, недоступне людському погляду.



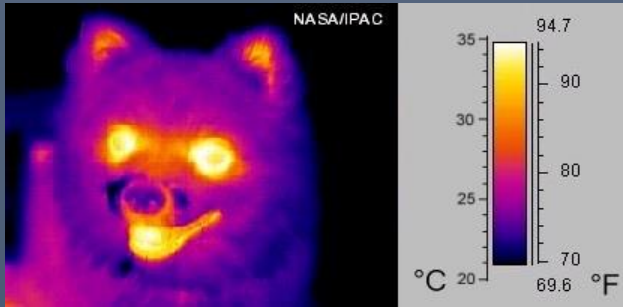
# Інфрачервоні електромагнітні хвилі

Інфрачервоні спектри пов'язані з обертальними і коливальними рухами в молекулі, а також з електронними переходами в атомах і молекулах.

*Випромінюються нагрітими тілами*



# Застосування хвиль інфрачервоного діапазону



1

- Для сушіння лакофарбових покриттів

2

- Захист від корозії

3

- Дистанційне управління

4

- Стерилізація харчових продуктів

5

- Інфрачервоні обігрівачі

6

- Тепловізори та нічна зйомка

7

- Медицина та косметологія

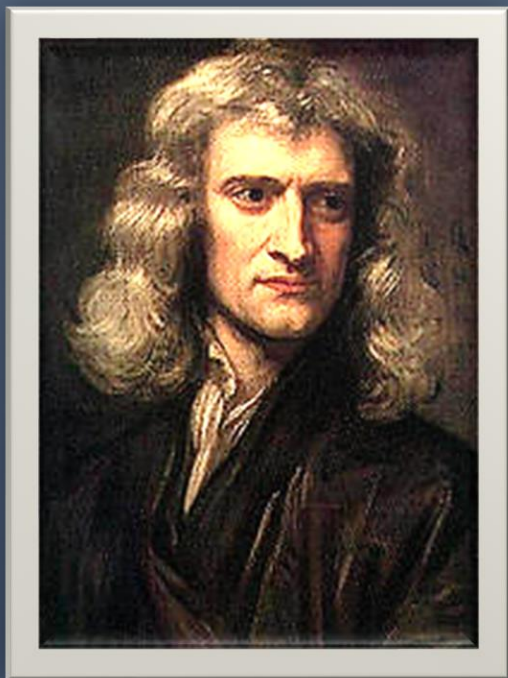
8

- Терморезистори та термометри опору

9

- Термолокатори у змій, кажанів

# Оптичний діапазон електромагнітних хвиль та його дослідження

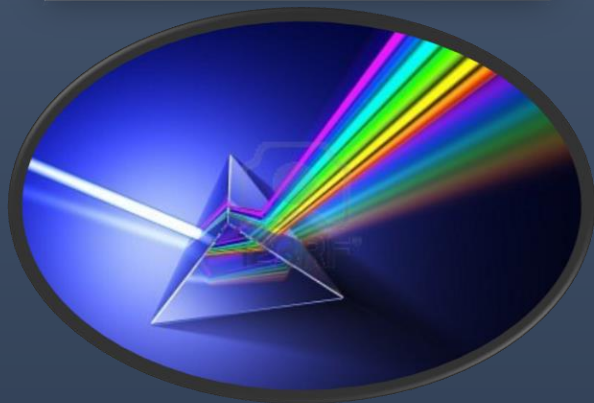


Першим пояснив спектр видимого випромінювання

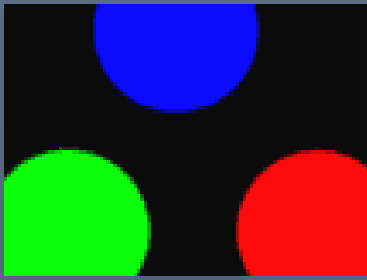
Першим використав назву «спектр» - бачення, поява

Вважав світло корпускулами

Відкрив дисперсію світла в призмах



Поділив світло на 7 кольорів



# Видиме світло

## Властивості

- відбивається
- заломлюється
- робить видимими об'єкти
- взаємодіє з електронами (фотоефект)
- фотосинтез
- спричиняє хімічну дію

## Застосування

- болометрія
- освітлення
- медичні прилади (мікроскопи, окуляри, ендоскопи, ларингоскопи)
- оптиковолокно
- фотографія
- сонячні батареї

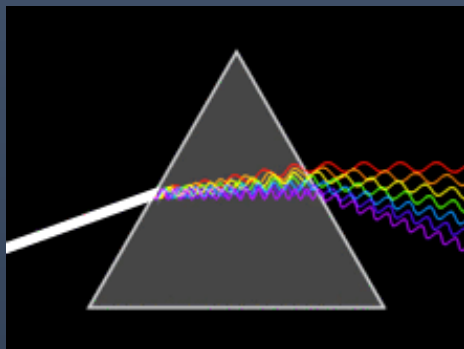
# Відкриття хвиль ультрафіолетового діапазону



Йоганн  
Ріттер

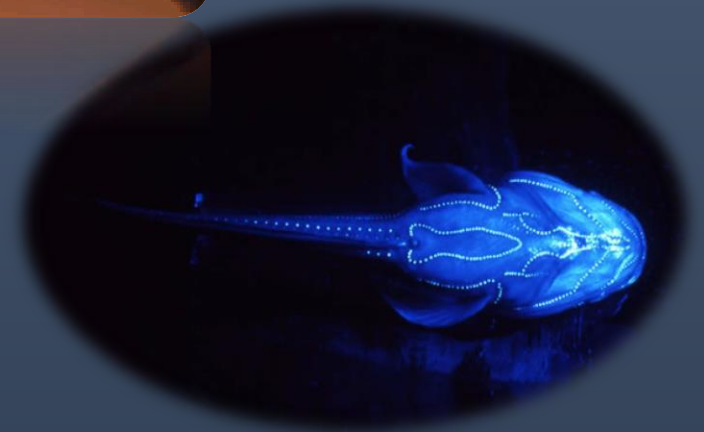
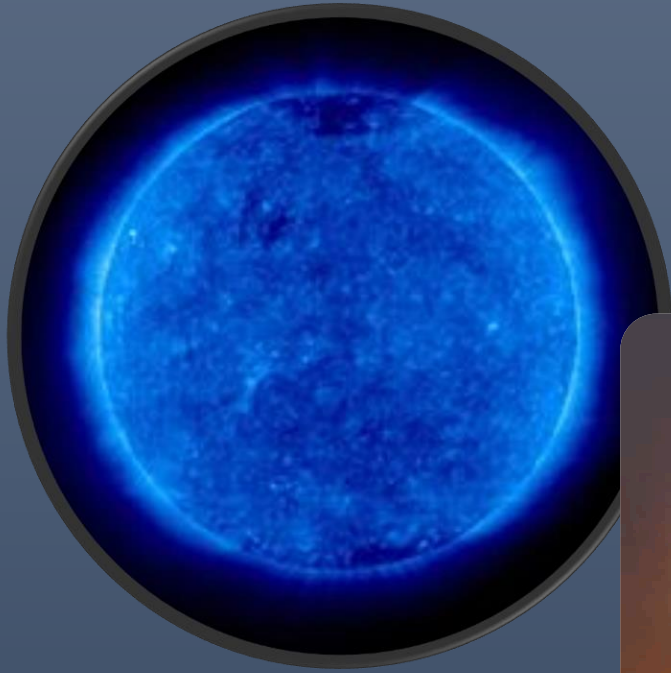
(16.12.1776–  
23.01.1810)

У 1801 р., використовуючи призму, ставив досліди по дослідженню хімічної дії різних ділянок світлового спектру. В результаті Ріттер виявив, що почорніння хлориду срібла зростає при переході від червоного до фіолетового кінця спектру і стає максимальним за межами фіолетового кольору.





# Джерела хвиль ультрафіолетового діапазону



# Застосування хвиль ультрафіолетового діапазону



1

- Спектрометрія

2

- Аналіз мінералів (випромінюють видиме світло)

3

- Дезінфекція води

4

- Захист документів від підробки

5

- Знезараження ультрафіолетовим випромінюванням

6

- У криміналістиці

7

- Сприяють утворенню вітаміна D, серотоніна

8

- Викликають люмінесценцію речовин

9

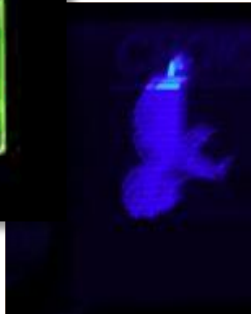
- Пастки для комах

11

- Тверднення полімерів

12

- Створення світлових ефектів





# Застосування радіохвиль

1

- Радіомовлення, телебачення

2

- Радіолокація

3

- Безпроводні комп'ютерні мережі

4

- Радіоастрономія

5

- Медицина (УВЧ-фізіотерапія)

6

- Мобільні телефони

7

- Радіозв'язок

8

- Супутникова альтиметрія

9

- Мікрохвильові печі

# Застосування рентгенівських хвиль



1

- Рентгенологія (діагностика та лікування)

2

- Дефектоскопія

3

- Контроль якості виробів

4

- Рентгеноструктурний аналіз будови речовини

5

- Рентгенофлуоресцентний аналіз

6

- У криміналістиці

7

- Рентгенотелевізійні інтроскопи (аеропорти)

8

- Викликають люмінесценцію речовин

