

# 1-Amaliy ish: Maksvellning uchinchi tenglamasi (Faradey qonuni)

## I. Amaliy ishning maqsadi

- O‘zgaruvchan magnit maydon ta’sirida elektr maydon hosil bo‘lish hodisasini o‘rganish.
- Faradey qonunining differensial va integral shakllarini tahlil qilish.
- Induksiyalangan EYuK (elektr yurituvchi kuch)ni hisoblash ko‘nikmasini hosil qilish.

## Faradeyning tajribalari – elektromagnit induksiya kashfiyoti

XIX asrning birinchi yarmida ingliz olimi Maykl Faradey bir muhim savol ustida o‘yladi:

“Agar elektr toki magnit maydon hosil qilsa (buni Ersted isbotlagan edi), unda, ehtimol, magnit maydon ham elektr tokini hosil qilishi mumkinmi?”

Shu g‘oyani tekshirish uchun u tajribalar o‘tkazdi. Natijada shunday hodisani aniqladi:

- Agar o‘tkazgich magnit maydon ichida harakatlansa yoki
- Magnit maydonning kuchi vaqt o‘tishi bilan o‘zgarsa,

u holda o‘tkazgichda elektr yurituvchi kuch (**EYuK**) paydo bo‘ladi, ya’ni tok hosil bo‘ladi. Bu hodisa elektromagnit induksiya deb ataldi.

## Faradey qonunining fizik mazmuni

Faradey qonuni bizga quyidagini ko‘rsatadi:

“Agar magnit maydon vaqt bo‘yicha o‘zgarsa, u o‘sha joyda elektr maydon paydo qiladi.”

Ya’ni, **o‘zgaruvchan magnit maydon – elektr maydonning manbai** bo‘lishi mumkin.

Bu jarayonda hosil bo‘ladigan elektr maydon “statik” (ya’ni doimiy zaryadlardan kelib chiqadigan) maydon emas, balki **induksion elektr maydon** deyiladi. Uning xususiyati shundaki, bu maydon **yopiq yo‘nalishda**, ya’ni **aylanma** tarzda harakat qiladi.

## Faradey qonunining mohiyati

Faradey qonuni elektromagnit maydonning **dinamik tabiatini** ifodalaydi. Bu shuni anglatadiki:

- Maydon — bu faqat statik kuch ta’siri emas,
- Balki u **vaqt o‘tishi bilan o‘zgaradigan, o‘zaro bog‘langan** elektr va magnit komponentlardan tashkil topgan murakkab tizimdir.

Agar magnit maydon o‘zgarayotgan bo‘lsa:

- U **elektr maydonni hosil qiladi**;  
Agar elektr maydon o'zgarayotgan bo'lsa:
- U **magnit maydonni hosil qiladi**.

Bu ikki jarayon bir-birini to'ldiradi — natijada **elektromagnit to'liqlar** (masalan, yorug'lik, radioto'liqlar) paydo bo'ladi.

Jeyms Klark Makswell Faradey kashfiyotini matematik tarzda ifodalab, uni o'zining **uchinchi tenglamasi** sifatida elektromagnit maydon nazariyasiga kiritdi.

Uning tahliliga ko'ra:

- Magnit maydon o'zgarishi — elektr maydonni hosil qiladi;
- Bu elektr maydon **aylanma xususiyatga ega**, ya'ni yopiq yo'nalishda paydo bo'ladi;
- Bu jarayon butun fazoda uzluksiz sodir bo'ladi.

Makswell shu tariqa Faradey tajribalarini yagona **elektromagnit maydon nazariyasi** doirasida umumlashtirdi.

Faradey qonuni — elektromagnetizmning eng muhim qonunlaridan biridir.

U **magnit maydon o'zgarishi elektr maydon hosil qilishini** isbotlaydi.

Bu jarayon **energiyaning fazoda uzatilishini** ta'minlaydi.

Makswell bu hodisani matematik tenglama shaklida umumlashtirib, **elektromagnit maydon nazariyasining poydevorini** yaratgan.

## Makswellning asosiy g'oyalari

Makswellning buyuk hissasi shundaki, u:

- Elektr va magnit hodisalar **bir xil tabiatli** ekanini isbotladi;
- Ularning o'zgarishi bir-birini tug'dirishini ko'rsatdi;
- Bu jarayonlar natijasida **elektromagnit to'liqlar** tarqalishini bashorat qildi (yorug'lik ham shunday to'liqdir).

Makswell Faradeyning tajribaviy qonunlarini matematik ko'rinishga keltirib, ularni **to'rtta asosiy tenglamada** umumlashtirdi.

Bu tenglamalar elektromagnit maydonning to'liq xulqini ifodalaydi.

### Birinchi tenglama – Gauss qonuni (elektr maydon uchun)

Bu qonun **elektr maydonning manbaini** ifodalaydi.

#### Mazmuni:

Elektr maydon **elektr zaryadlar** tomonidan yaratiladi.

Maydon kuch chiziqlari **musbat zaryaddan chiqib, manfiy zaryadga kiradi**.

Agar zaryad ko'p bo'lsa, maydon kuchi ham kuchli bo'ladi.

## 1 Gauss qonuni (elektr maydon uchun)

Differensial shaklida:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

Integral shaklida:

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

## Ikkinchi tenglama – Gauss qonuni (magnit maydon uchun)

Bu qonun **magnit maydonning tabiatini** ko'rsatadi.

**Mazmuni:**

Magnit maydon **har doim yopiq chiziqlar shaklida** bo'ladi.

Tabiatda **magnit zaryad** yoki **magnit monopollar** mavjud emas.

Ya'ni magnit maydonning "boshi" yoki "oxiri" yo'q — u har doim **yopiq halqa** ko'rinishida mavjud bo'ladi.

## 2 Gauss qonuni (magnit maydon uchun)

Differensial shaklida:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

Integral shaklida:

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

**Fizik mazmuni:**

## Uchinchi tenglama – Faradey induksiya qonuni

Bu tenglama **magnit maydon o'zgarishi natijasida elektr maydon hosil bo'lishini** bildiradi.

**Mazmuni:**

Agar magnit maydon vaqt davomida o'zgarsa, u atrofdagi fazoda **aylanma elektr maydon** hosil qiladi.

Bu elektr maydon o'z navbatida o'tkazgichda **induksion tok** paydo qiladi.

### **3 Faradey elektromagnit induksiya qonuni**

Differensial shaklida:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

Integral shaklida:

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

### **To'rtinchi tenglama – Amper–Makswell qonuni**

Bu tenglama **elektr tokining magnit maydon hosil qilishini** va **elektr maydonning ham bu jarayonga hissasini qo'shishini** ko'rsatadi.

**Mazmuni:**

Elektr toki magnit maydon hosil qiladi — bu **Ersted** va **Amper** tomonidan aniqlangan.

Ammo Makswell bu qonunni to'ldirib, shunday dedi:

### **4 Amper–Makswell qonuni**

Differensial shaklida:

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

Integral shaklida:

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}$$

## II. Nazariy asos

### 1. Faradey qonuni

Makswellning uchinchi tenglamasi

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

Bu shuni bildiradiki, o'zgaruvchi magnit maydon elektr maydon hosil qiladi.  
Integral shakli:

$$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Bu yerda:

- Chap tomondagi integral — kontur bo'ylab induksiyalangan elektr kuchi (EYuK),
- O'ng tomoni — magnit oqimining vaqt bo'yicha o'zgarishi.

### 2. Magnit oqimi

$$\Phi_B = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = BS \cos \alpha$$

- (  $B$  ) — magnit induksiya,
- (  $S$  ) — halqa yuzasi,
- (  $\alpha$  ) — maydon va sirt normal orasidagi burchak.

Agar (  $\Phi_B$  ) o'zgarsa, zanjirda **induksiya EYuK** hosil bo'ladi:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

**Manfiy ishora (Lents qonuni):** induksiyalangan tok o‘z manbaini qarshi yo‘nalishda hosil qiladi.

### 3. Induksiya EYuK turli holatlarda:

1. **B o‘zgaradi**,  $S$  va  $\alpha$  o‘zgarmaydi

$$\rightarrow \mathcal{E} = -S \frac{dB}{dt}$$

2. **S o‘zgaradi** (ramka harakatlanadi)

$$\rightarrow \mathcal{E} = -B \frac{dS}{dt}$$

3. **Burchak  $\alpha$  o‘zgaradi**

$$\rightarrow \mathcal{E} = -BS \frac{d(\cos \alpha)}{dt}$$

### 4. Amaliy ahamiyati:

- Generatorlar, transformatorlar, induksion o‘lchov asboblari, elektromagnit tormozlar, induksion pechlar — barchasi shu qonunga asoslanadi.

Misol (variant 4 ga o‘xshash)

**Shart:** 1000 aylanishli g‘altak ( $N = 1000$ ), g‘altak yuzasi  $S = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ . Magnit induksiya  $B$  0 dan 0.10 T gacha **tekis** (lineer) ravishda  $\Delta t = 0.20$  s ichida oshadi.

**Topilsin:** (a) o‘rtacha induksiya elektromotor kuchi (EYuK)  $\mathcal{E}$  ning qiymati va belgisi; (b) hosil bo‘ladigan magnit oqimning o‘zgarishi  $\Delta\Phi$ ; (c) agar g‘altak qarshiligi  $R$  berilgan bo‘lsa — induksiyalangan tok  $I$ .

## 1) Fizik formulalar (eslatma)

Magnit oqimi:

$$\Phi_B = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \approx BS \quad (\text{agar } B \text{ sirt bo'ylab deyarli bir xil bo'lsa})$$

Faradey integral shakli (g'altak uchun):

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N \frac{d(BS)}{dt} = -NS \frac{dB}{dt}.$$

Agar  $R$  ma'lum bo'lsa:

$$I = \frac{|\mathcal{E}|}{R}$$

(yo'nalish Lenz qonuni bilan aniqlanadi; belgi manfiy — induksiyalangan EYuK o'zgarayotgan oqimga qarshi yo'naladi).

Ma'lumotlarni joylashtiramiz

- $N = 1000$
- $S = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
- $B_i = 0 \text{ T}, B_f = 0.10 \text{ T}$
- $\Delta B = B_f - B_i = 0.10 \text{ T}$
- $\Delta t = 0.20 \text{ s}$

Magnit oqimning o'zgarishi  $\Delta\Phi$

$$\Delta\Phi = N S \Delta B = 1000 \times 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \times 0.10 \text{ T} = 0.100 \text{ Wb}.$$

Izoh: butun g'altak uchun magnit oqimdagi o'zgarish 0.1 weber.

O'rtacha induksiyalangan elektromotor kuchi (EYuK)

Agar  $B$  tekis (lineer) ravishda oshsa,  $dB/dt = \Delta B/\Delta t$  doimiy bo'ladi. Shunday qilib:

$$\frac{dB}{dt} = \frac{0.10}{0.20} = 0.50 \text{ T/s}.$$

$$\mathcal{E} = -NS \frac{dB}{dt} = -1000 \times 1.0 \times 10^{-3} \times 0.50 = -0.50 \text{ V}.$$

**Natija:**  $\mathcal{E} = -0.50 \text{ V}$  (minus belgisi Lenz qonuniga mos — EYuK o'zgarayotgan tashqi magnit oqimning o'zgarishiga qarshi yo'naladi).

Agar istasangiz, o'rtacha qiymatning modulini ham yozsak:  $|\mathcal{E}| = 0.50 \text{ V}$ .

Agar qarshilik  $R$  berilsa — induksiyalangan tok

Umumiy ifoda:  $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$  (belgi yo'nalishni bildiradi).

Misollar (siz darsda talabalarga turli  $R$  qiymatlarini berishingiz mumkin):

- Agar  $R = 2.0 \Omega$ :

$$I = \frac{0.50}{2.0} = 0.25 \text{ A.}$$

Yo'nalish: Lenz qonuniga muvofiq tashqi  $B$  kuchayishiga qarshi yo'nalishda.

- Agar  $R = 5.0 \Omega$ :

$$I = \frac{0.50}{5.0} = 0.10 \text{ A.}$$

Talabalarga topshiriq sifatida qoldirish uchun: «Agar  $R=1 \Omega$ ,  $10 \Omega$  bo'lsa hisoblab keling» — yaxshi mashq.

Namuna hisobot

**Amaliy ish №1.**

**Shart:**  $N = 1000$ ,  $S = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ,  $B: 0 \rightarrow 0.10 \text{ T}$ ,  $\Delta t = 0.20 \text{ s}$ .

**Hisob:** (1)  $\Delta \Phi = 0.100 \text{ Wb}$ . (2)  $dB/dt = 0.50 \text{ T/s}$ . (3)  $\mathcal{E} = -0.50 \text{ V}$ . (4) Agar  $R = 2 \Omega$ ,  $I = 0.25 \text{ A}$ .

**Yo'nalish:** Lenz qonuniga ko'ra — induksiyalangan tok tashqi  $B$  ning oshishiga qarshi yo'nalishda.

### III. Hisoblash-amaliy qism

#### Talabalarga topshiriq:

Har bir talaba quyidagi misollardan **variant asosida** hisoblab chiqadi.

#### Variantlar bo'yicha topshiriqlar

Variant	Shart	Hisoblash
1	Radiusi ( $r = 0.1$ ) m bo'lgan halqa ichidan o'tuvchi magnit maydon ( $B = 0.2t$ ) (T) tarzida o'zgaradi.	Induksiya EYuK ni toping.



Variant	Shart	Hisoblash
2	Ramka yuzasi 0.05 m <sup>2</sup> , magnit maydon ( B = 0.4 sin(100t) ) T.	Har bir ondagi induksiya EYuK ni ifodalang.
3	Ramka magnit maydon ichida 30° burchak ostida joylashgan. ( B = 0.5 ) T doimiy, lekin ramka 0.01 s da 60° ga buriladi.	Hosil bo‘ladigan o‘rtacha EYuK ni hisoblang.
4	1000 aylanishli g‘altak (N=1000), S = 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> , B 0 dan 0.1 T gacha 0.2 s da oshadi.	Induksiya EYuK ni toping.
5	200 aylanishli ramka (N=200), radius 5 sm, ( B = 0.3t <sup>2</sup> ) T.	t = 2 s dagi induksiya EYuK ni hisoblang.

### Hisoblash uchun formulalar

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N \frac{d(BS \cos \alpha)}{dt}$$

### Natijani tahlil qilish:

- Belgilari (musbat yoki manfiy) orqali EYuK yo‘nalishini aniqlash (Lents qonuni bo‘yicha).
- Magnit oqimi o‘zgarishining shakli (to‘g‘ri chiziqli, sinusoidal va h.k.) bilan solishtirish.

### Xulosa

Talaba quyidagilarni bilishi kerak:

1. Faradey qonunining fizik ma’nosi va formulasi.
2. Induksiya EYuK qanday holatlarda hosil bo‘lishini.
3. O‘zgaruvchi magnit maydonda EYuK ni hisoblashni.
4. Lents qonunini to‘g‘ri qo‘llashni.

### vazifa

- Generatorning ish prinsipi haqida qisqa yozma tahlil (1 bet).
- “Magnit oqimi” va “induksiya EYuK” atamalarini o‘z so‘zlariz bilan izohlash.