

## **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 (**ЕYuК**) 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‘lqinlar** (masalan, yorug‘lik, radioto‘lqinlar) paydo bo‘ladi.

Jeyms Klark Makswell Faradey kashfiyotini matematik tarzda ifodalab, uni o‘zining **uchinchи 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 nazariyasи** 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‘lqinlar** tarqalishini bashorat qildi (yorug‘lik ham shunday to‘lqindir).

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:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Integral shaklida:

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

kkinchi 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** mayjud emas.

Ya’ni magnit maydonning “boshi” yoki “oxiri” yo‘q — u har doim **yopiq halqa** ko‘rinishida mayjud 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‘sishini 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**

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

- ( $\mathbf{B}$ ) — 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  $\Delta t = 0.20 \text{ s}$  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 oqimdagи 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'lса hisoblab kelинг» — 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 $0.05 \text{ m}^2$ , magnit maydon ( $B = 0.4 \sin(100t)$ ) T.	Har bir ondag'i induksiya EYuK ni ifodalang.
3	Ramka magnit maydon ichida $30^\circ$ burchak ostida joylashgan. ( $B = 0.5$ ) T doimiy, lekin ramka $0.01 \text{ s}$ da $60^\circ$ ga buriladi.	Hosil bo'ladigan o'rtacha EYuK ni hisoblang.
4	1000 aylanishli g'altak ( $N=1000$ ), $S = 10^{-3} \text{ m}^2$ , $B$ 0 dan $0.1 \text{ T}$ gacha $0.2 \text{ s}$ da oshadi.	Induksiya EYuK ni toping.
5	200 aylanishli ramka ( $N=200$ ), radius 5 sm, ( $B = 0.3t^2$ ) T.	$t = 2 \text{ s}$ 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:

- Faradey qonuning fizik ma'nosi va formulasi.
- Induksiya EYuK qanday holatlarda hosil bo'lishini.
- O'zgaruvchi magnit maydonda EYuK ni hisoblashni.
- 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.