

ფაკულტეტი	საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტი
დეპარტამენტი	ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტი
სპეციალობა	ელექტრული ინჟინერია ჯგ. 6B211-23, 6B212-23, 6B213-23,
საგანი	„ელექტრომაგნიტიზმის საფუძვლები“
პედაგოგი	ზ. მარდალეიშვილი
გამოცდის სახე	დასკვნითი
სემესტრი	საგაზაფხულო, სწავლების მე-2 წელი

	შეკითხვის, დავალების, საკითხის ან ტესტის შინაარსი	ტესტის შემთხვევაში ჩაწერეთ წერტილით გამოყოფილი პასუხები
1.	მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი გამოსახება ფორმულით:	$\Phi = SdB$ . $\Phi = \int B_n dS$ . $\Phi = \frac{B}{ds}$ .
2.	ამპერის ძალის გამომსახველ ფორმულაში $dF=IBdl\sin\alpha$ , რა სიდიდეა $dl$ ?	<u>დენიანი გამტარის მოქმედი სიგრძის ელემენტი.</u> ჩარჩოს ფართობი. ჩარჩოს ნორმალის სიგრძე.
3.	ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი გამოსახება ფორმულით:	$E=d\Phi/dt$ . $E=d\Phi/dx$ . <u><math>E=-d\Phi/dt</math>.</u>
4.	დენიანი ჩარჩოს მაგნიტური მომენტი გამოითვლება ფორმულით:	<u><math>\vec{p}_m = IS\vec{n}</math>.</u> $\vec{p}_m = ISB$ . $\vec{p}_m = IB\vec{n}$ . $\vec{p}_m = IH\vec{n}$ .
5.	მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი ნებისმიერ შეკრულ ზედაპირში ტოლია:	<u>ნულის.</u> უსასრულობის. $2\pi$ .
6.	ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში, რომელია მაგნიტური მუდმივას ერთეული?	<u>ჰნ/მ.</u> ჯ/წმ. ნმ.
7.	რომელი ფორმულით გამოსახება მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის სიდიდე?	$B=I/(MS)$ . <u><math>B=M/(IS)</math>.</u> $B=IS/M$ .
8.	R რადიუსის წრიული დენის ცენტრში მაგნიტური ველის დამახულობა, ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში, გამოითვლება ფორმულით:	<u><math>H=I/(2R)</math>.</u> $H=R/(2I)$ . $H=2RI$ .
9.	რომელი ფორმულით არ გამოსახება ამპერის კანონი ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში?	$dF=IBdl\sin\alpha$ . $dF=IBdl$ . <u><math>dF=BI</math>.</u>
10.	ლორენცის ძალის გამომსახველ ფორმულაში $F=qvB\sin\alpha$ რა სიდიდეა $q$ ?	<u>მოძრავი ნაწილაკის მუხტი.</u> უძრავი ნაწილაკის მუხტი. გამტარის განივკვეთში გასული მუხტი.
11.	მაგნიტური ინდუქციის სიდიდის გამოსათვლელ	ჩარჩოზე მოქმედი ძალის მომენტი. იმპულსის მომენტი. ძალის იმპულსი. <u>დენის ძალა.</u>

	ფორმულაში $B=M/(IS)$ , რა სიდიდეა $I$ ?	
12.	მაგნიტური ინდუქციის სიდიდის გამოსათვლელ ფორმულაში $B=M/(IS)$ , რა სიდიდეა $S$ ?	ჩარჩოზე მოქმედი ძალის მომენტი. იმპულსის მომენტი. ძალის იმპულსი. <b>ჩარჩოს ფართობი.</b>
13.	ამპერის ძალის გამომსახველ ფორმულაში $dF=IBdl\sin\alpha$ , რა სიდიდეა $l$ ?	დენიანი გამტარის მოქმედი სიგრძის ელემენტი. ჩარჩოს ფართობი. ჩარჩოს ნორმალის სიგრძე. <b>დენის ძალა.</b>
14.	ამპერის ძალის გამომსახველ ფორმულაში $dF=IBdl\sin\alpha$ , რა სიდიდეა $B$ ?	დენიანი გამტარის მოქმედი სიგრძის ელემენტი. <b>მაგნიტური ველის ინდუქცია.</b> ჩარჩოს ნორმალის სიგრძე. დენის ძალა.
15.	ამპერის ძალის გამომსახველ ფორმულაში $dF=IBdl\sin\alpha$ , რა სიდიდეა $\alpha$ ?	დენიანი გამტარის მოქმედი სიგრძის ელემენტი. <b>კუთხე დენის მიმართულებასა და მაგნიტური ინდუქციის ვექტორს შორის.</b> ჩარჩოს ნორმალის სიგრძე. დენის ძალა.
16.	ლორენცის ძალის გამომსახველ ფორმულაში $F=qvB\sin\alpha$ რა სიდიდეა $v$ ?	მოდრავი ნაწილაკის მუხტი. უძრავი ნაწილაკის მუხტი. გამტარის განივკვეთში გასული მუხტი. <b>დამუხტული ნაწილაკის სიჩქარე.</b>
17.	ლორენცის ძალის გამომსახველ ფორმულაში $F=qvB\sin\alpha$ რა სიდიდეა $B$ ?	მოდრავი ნაწილაკის მუხტი. უძრავი ნაწილაკის მუხტი. გამტარის განივკვეთში გასული მუხტი. <b>მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდული.</b>
18.	ლორენცის ძალის გამომსახველ ფორმულაში $F=qvB\sin\alpha$ რა სიდიდეა $\alpha$ ?	მოდრავი ნაწილაკის მუხტი. <b>კუთხე დადებითი მუხტის სიჩქარის ვექტორსა და მაგნიტური ინდუქციის ვექტორს შორის.</b> გამტარის განივკვეთში გასული მუხტი. დამუხტული ნაწილაკის სიჩქარე.
19.	უსასრულოდ გრძელი წრფივი დენის მაგნიტური ველის ინდუქცია ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში გამოისახება ფორმულით:	$B = \frac{2\pi\mu_0}{lR}$ . <b><math>B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}</math></b> . $B = \frac{IR}{2\pi\mu_0}$ . $B = \mu_0 IR$ .
20.	ვაკუუმში სოლენოიდის (ან ტოროიდის) მაგნიტური ველი:	<b><math>B_0 = \mu_0 nI</math></b> . $B_0 = \mu_0 RI$ . $B_0 = \mu_0 nH$ . $B_0 = nI$ .
21.	ვაკუუმში მაგნიტური ინდუქციის ცირკულაცია ტოლია:	<b><math>\oint B_{0l} dl = \mu_0 \sum I</math></b> . $\oint B_{0l} dl = \mu_0$ . $\oint B_{0l} dl = 0$ .
22.	ურთიერთპარალელური დენიანი გამტარები ერთმანეთს მიიზიდავენ ძალით:	<b><math>F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}</math></b> . $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 B}{2\pi d}$ . $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 H}{2\pi d}$ . $F = \frac{\mu_0 \mu I_1 B}{2\pi d}$ .
23.	ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში დენიან კონტურზე მოქმედი მაბრუნებელი მომენტი გამოითვლება ფორმულით:	<b><math>\vec{M} = [\vec{p}_m \cdot \vec{B}]</math></b> . $\vec{M} = [\vec{p}_m \cdot IB]$ . $\vec{M} = [\vec{p}_m \cdot Il]$ . $\vec{M} = [\vec{p}_m \cdot \vec{F}]$ .
24.	ბიო-სავარ-ლაპლასის ფორმულა:	<b><math>\vec{dB} = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r^3} [\vec{dl} \cdot \vec{r}]</math></b> . $\vec{dB} = \frac{\mu_0 \mu I}{r^3} [\vec{dl} \cdot \vec{r}]$ . $\vec{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} [\vec{dl} \cdot \vec{r}]$ .
25.	მოდრავი მუხტის მაგნიტური ველი:	<b><math>\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu q}{4\pi r^3} [\vec{v} \cdot \vec{r}]</math></b> . $\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu q}{4\pi} [\vec{v} \cdot \vec{r}]$ . $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} [\vec{v} \cdot \vec{r}]$ .

26.	მაგნიტური ინდუქციის ცირკულაცია შეკრულ კონტურში პირდაპირპროპორციულია:	<u>კონტურის გამჭოლი დენების ალგებრული ჯამის.</u> მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის. მაგნიტური ნაკადის.
27.	მაგნიტური ველის განსაზღვრისას $\mu_0$ - ნამრავლს უწოდებენ:	<u>აბსოლუტურ მაგნიტურ შეღწევადობას.</u> მაგნიტურ ამთვისებლობას. დიელექტრიკულ მუდმივას.
28.	მუდმივი მაგნიტის პოლუსებს შორის ჩარჩოს თანაბარი ბრუნვისას მასში აღძრული $E_i$ ინდუქციის ემძ-ის მყისი მნიშვნელობა მაქსიმალურია, როცა ჩარჩოს სიბრტყე ინდუქციის წირების:	<u>მართობია.</u> პარალელურია. ნებისმიერადაა ორიენტირებული.
29.	$W_k$ კინეტიკური ენერგიის ელექტრონი შევიდა $B$ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. როგორ შეიცვლება ( $\Delta W_k$ ) მისი კინეტიკური ენერგია?	<u>არ შეიცვლება.</u> გაიზრდება. შემცირდება.
30.	როდესაც ჩაკეტილ გამტარ კოჭაში მაგნიტი შეაქვთ $\Delta t_1$ დროის განმავლობაში, აჩერებენ კოჭაში $\Delta t_2$ დროის განმავლობაში, გამოაქვთ კოჭიდან $\Delta t_3$ დროის განმავლობაში, მაშინ დენის არსებობის დრო შეადგენს:	<u><math>\Delta t_1 + \Delta t_3</math>.</u> $\Delta t_1 + \Delta t_2$ . $\Delta t_2 + \Delta t_3$ . $\Delta t_3 - \Delta t_1$ .
31.	გრძელ კოჭაში გამავალი დენის ორჯერ გაზრდისას ( $k = I_2 / I_1 = 2$ ) კოჭას მაგნიტური ველის ენერგიის სიმკვრივე ( $Z = w_2 / w_1$ ):	<u>გაიზრდება 4-ჯერ.</u> გაიზრდება 2-ჯერ. გაიზრდება 8-ჯერ.
32.	ერთი ნახევრად გამტარის ძვრადობა ორჯერ მეტია ( $k = \mu_1 / \mu_2 = 2$ ) მეორის ძვრადობაზე, ხოლო ჰოლის მუდმივა ( $j = RH_1 / RH_2 = 1/2$ ). - ორჯერ ნაკლები. მაშინ მათი გამტარობების შეფარდება $Z = \sigma_1 / \sigma_2$ იქნება:	<u>4.</u> 2. 1/2. 1/4.
33.	მაგნიტურ ველში ინდუქციის წირების მართობულად $V$ სიჩქარით შეიჭრა ელექტრონი. იპოვეთ $B$ ველის ინდუქცია, თუ ველში ელექტრონმა $R$ რადიუსიანი წრეწირი შემოწერა {ელექტრონის მუხტია $-e$ , მასა $-m$ }	<u><math>mV/eR</math>.</u> $eR / mV$ . $VR / em$ . $mVe / R$ .
34.	ერთი კოჭას ინდუქციურობა $k = L_1 / L_2 = 4$ -ჯერ მეტია მეორე კოჭას ინდუქციურობაზე, მაგრამ მეორე კოჭაში გამავალი დენი $n = I_2 / I_1 = 2$ -ჯერ მეტია პირველ კოჭაში გამავალ დენზე. როგორია ამ დენიანი კოჭების მაგნიტური ველის ენერგიების შეფარდება $Z = W_2 / W_1$ ?	<u>1.</u> 2. 4. 8.

35.	ერთი ელექტრონის კინეტიკური ენერგია $n=2$ -ჯერ მეტია მეორე ელექტრონის კინეტიკურ ენერგიაზე. ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მათ მიერ შემოწერილი წრეწირე- ბის რადიუსების შეფარდება $Z= R_1/R_2$ იქნება:	$\sqrt{2}$ , 2, 4, 1/2.
36.	თვითინდუქციის ემმ გამოითვლება ფორმულით:	$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}$ , $\mathcal{E} = -L \frac{dB}{dt}$ , $\mathcal{E} = -L \frac{dF}{dt}$ , $\mathcal{E} = -L \frac{dH}{dt}$ .
37.	სოლენოიდში მაგნიტური ველის ენერგია გამოითვლება ფორმულით:	$W_M = 0,5BHVL$ , $W_M = 0,5FHV$ , $W_M = 0,5BLV$ , $W_M = 0,5BHL$ .
38.	დამაგნიტების ვექტორი გამოითვლება ფორმულით:	$\vec{M} = (\Delta V)^{-1} \sum_{i=1}^N (\vec{P}_{Am})_i$ , $\vec{M} = (\Delta V)^{-1} \sum_{i=1}^N (IB)_i$ , $\vec{M} = (\Delta V)^{-1} \sum_{i=1}^N (BH_m)_i$ .
39.	ჩაკეტილ კონტურზე ელექტრული ველი დამაბულობის ცირკულაცია ტოლია:	$\oint E_l dl = -\frac{d\Phi}{dt}$ , $\oint B dl = -\frac{d\Phi}{dt}$ , $\oint H_l dl = -\frac{d\Phi}{dt}$ , $\oint E_l dl = -\frac{dB}{dt}$ .
40.	წანაცვლების დენის სიმკვრივის ვექტორი გამოითვლება ფორმულით:	$\vec{i} = \frac{d\vec{D}}{dt}$ , $\vec{i} = \frac{d\vec{D}}{dx}$ , $\vec{i} = \frac{d\vec{D}}{dy}$ , $\vec{i} = \frac{d\vec{D}}{dz}$ .

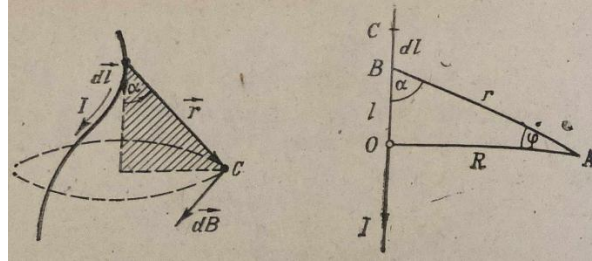
41. ბიო-სავარ-  
ლაპლასის  
კანონი.  
უსასრულო  
წრფივი  
დენის  
მაგნიტური  
ველის  
ინდუქცია.

ბიო-სავარ-ლაპლასის კანონის თანახმად, მაგნიტური ველის  $dB$  ინდუქცია, რომელსაც ქმნის  $I$  დენის  $dl$  ელემენტი მისგან  $r$  მანძილზე, გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$dB = k \frac{Idl \sin \alpha}{r^2}$$

სადაც  $\alpha$  კუთხეა  $\vec{dl}$  ელემენტსა და  $\vec{r}$  რადიუს-ვექტორს შორის. თუ გავითვალისწინებთ ბურღის წესს, მაშინ:

$$\vec{dB} = k \frac{I}{r^3} [d\vec{l} \cdot \vec{r}]$$



თუ ყველა  $d\vec{B}$  ვექტორს ერთი და იგივე მიმართულება აქვს, მაშინ

$$B = \int_l dB$$

ან

$$B = kI \int_l \frac{\sin \alpha}{r^2} dl$$

სადაც

$$k = \frac{\mu_0}{4\pi}$$

$\mu_0$  მაგნიტური ინდუქციის მუდმივაა და ტოლია:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{36}{\theta}$ . ამრიგად,

$$dB = \frac{\mu_0 Idl \sin \alpha}{4\pi r^2}$$

და

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_l \frac{\sin \alpha}{r^2} dl$$

უსასრულო წრფივი დენის მაგნიტური ინდუქცია:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin \alpha dl}{r^2}$$

$$OAB = \varphi, \quad OB = l$$

მაშინ

$$l = R \tan \varphi; \quad dl = \frac{R d\varphi}{\cos^2 \varphi}; \quad r = \frac{R}{\cos \varphi}; \quad \sin \alpha = \cos \varphi$$

როცა  $l = -\infty$ , მაშინ  $\varphi = -\frac{\pi}{2}$  და როცა  $l = +\infty$ , მაშინ  $\varphi = +\frac{\pi}{2}$

ამიტომ

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \cos \varphi d\varphi$$

ანუ

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

42. წრიული  
დენის  
მაგნიტური  
ველის  
ინდუქცია.

ა) წრის ცენტრში:

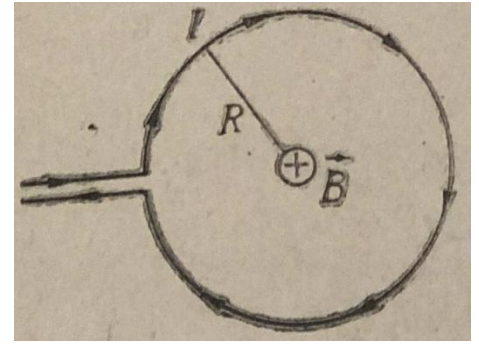
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_l \frac{\sin \alpha}{r^2} dl$$

მაგრამ ყველა  $dl$  ელემენტისთვის,  $\sin \alpha = 1$ , ხოლო  $r = R$ , ამიტომ

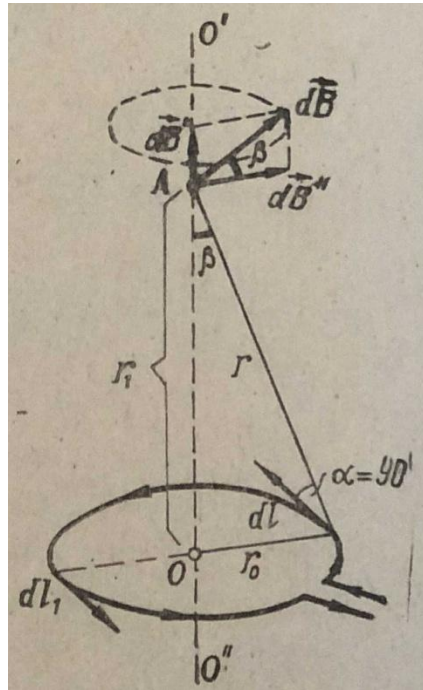
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \int_l dl = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \cdot 2\pi R$$

ანუ

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$



ბ) წრიული დენის ღერძზე მდებარე A წერტილში:



$$\vec{B} = \sum d\vec{B}$$

$$d\vec{B} = d\vec{B}' + d\vec{B}''$$

$\sum d\vec{B}'' = 0$ , რადგან ყოველი მდგენელი ბათილდება მისი დიამეტრულად მოწინააღმდეგე შესაბამისი მდგენელით. ამიტომ,

$$B = \sum dB'$$

ან

$$B = \int_l dB' = \int_l dB \cdot \sin \beta$$

ბიო-სავარის კანონის თანახმად

$$dB = \frac{\mu_0 I dl \sin \alpha}{4\pi r^2} = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi r^2}$$

ხოლო ნახაზიდან

$$\sin \beta = \frac{r_0}{r}$$

ამიტომ

$$B = \frac{\mu_0 I r_0}{4\pi r^3} \int_l dl = \frac{\mu_0 r_0^2 I}{2r^3}$$

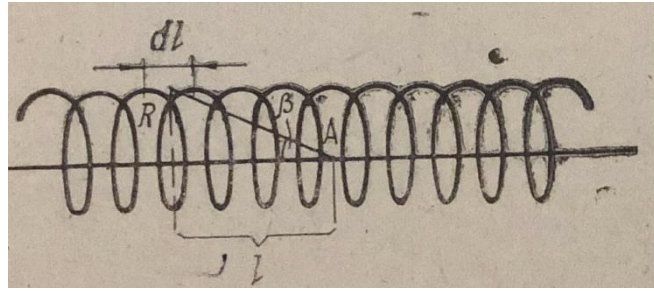
ან

$$B = \frac{\mu_0 r_0^2 I}{2(r_0^2 + r_1^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$\vec{B}$ -ის მიმართულება განისაზღვრება მარჯვენა ბურღის წესით.



43. სოლენოიდის  
მაგნიტური  
ველის  
ინდუქცია.



$$dB = \frac{\mu_0 I R^2 n dl}{2(R^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}$$

სადაც  $n$  არის ხვიათა რიცხვი სოლენოიდის ერთეულ სიგრძეზე,  $l$  კი მანძილი  $A$  წერტილიდან  $dl$  უბნამდე.

$$l = R \operatorname{ctg} \beta$$

ამიტომ

$$dl = \frac{R d\beta}{\sin^2 \beta}$$

გარდა ამისა,

$$R^2 + l^2 = R^2(1 + \operatorname{ctg}^2 \beta) = \frac{R^2}{\sin^2 \beta}$$

ამიტომ

$$dB = \frac{1}{2} \mu_0 n I \sin \beta d\beta$$

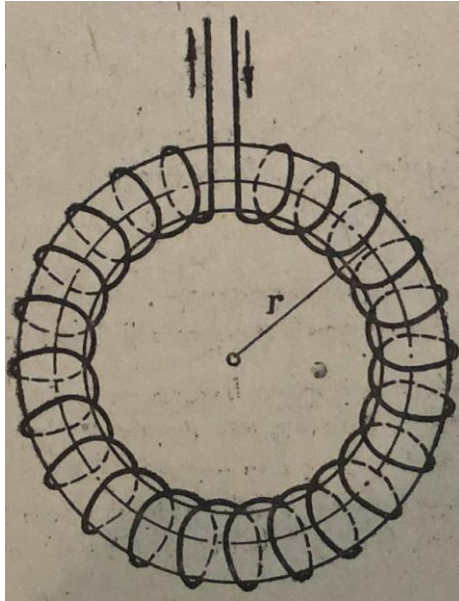
ხოლო

$$B = \int_{\beta_1}^{\beta_2} dB = \frac{\mu_0}{2} n I \int_{\beta_1}^{\beta_2} \sin \beta d\beta$$

$$B = \frac{\mu_0}{2} n I (\cos \beta_1 - \cos \beta_2)$$

თუ სოლენოიდი უსასრულოდ გრძელია,  $\beta_1 = 0$ ,  $\beta_2 = \pi$ , ამიტომ მეტად გრძელი სოლენოიდის შემთხვევაშიც კი მაგნიტური ველის ინდუქცია სოლენოიდის ბოლოებთან არ აღემატება  $\frac{1}{2} \mu_0 n I$ -ს ( $\beta_1 = 0$ ;  $\beta_2 = \frac{\pi}{2}$ )

44. ტოროიდის  
მაგნიტური  
ველის  
ინდუქცია



ტოროიდი ეწოდება წრიული ღერძის მქონე ხვიათა ერთობლიობას.  $\vec{B}$  ვექტორის ცირკულაცია ერთ-ერთი ინდუქციის წირის გასწვრივ იქნება ( $B_l = B$ ):

$$\oint_l B_l dl = Bl$$

$$\oint_l B_l dl = \mu_0 NI$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l}$$

$$B = \mu_0 nI$$

ტოროიდის სიღრუეში ცირკულაცია ყველგან

$$\oint_l B_l dl = 0$$

ამიტომაც

$$B = 0$$

სოლენოიდისთვის:

$$\oint_{ABSNA} B_l dl = \mu_0 NI$$

$$\oint_{ABSNA} B_l dl = \oint_{SN} B_l dl + \oint_{NABS} B_l dl$$

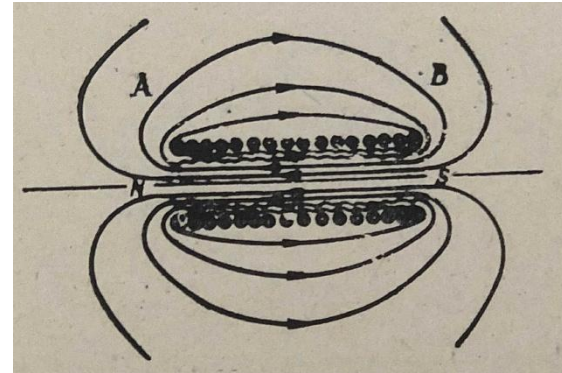
$$\oint_{ABSNA} B_l dl = Bl$$

აქედან

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l}$$

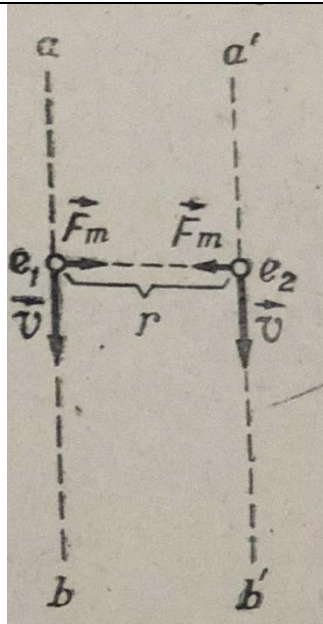
ან

$$B = \mu_0 nI$$





45. მოძრავი  
მუხტის  
მაგნიტური  
ველი.



სადაც  $v$  არის მუხტის სიჩქარე. აქედან

$$dB = \frac{\mu_0 Idl \sin \alpha}{4\pi r^2}$$

$$I = n_0 qvS$$

$$dB = \frac{\mu_0 n_0 qvSdl \sin \alpha}{4\pi r^2}$$

ეს ინდუქციის ველი იქმნება  $Sdl$  მოცულობაში მოთავსებული მუხტები, რომელთა რაოდენობა

$$n' = Sdl n_0$$

ამიტომ ცალკეული მოძრავი მუხტის მიერ შექმნილი ინდუქციაა

$$B = \frac{dB}{n'}$$

ან

$$B = \frac{\mu_0 qv \sin \alpha}{4\pi r^2}$$

ვექტორული სახით

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 q}{4\pi r^3} [\vec{v} \cdot \vec{r}]$$

$q_1$  მუხტის ინდუქცია მისგან  $r$  მანძილზე ტოლია ( $\sin \alpha = 1$ )

$$B_1 = \frac{\mu_0 q_1 v}{4\pi r^2}$$

ეს ველი იმოქმედებს  $q_2$  მუხტზე ლორენცის ძალით

$$F = q_2 v B_1$$

ან

$$F = \frac{\mu_0 q_1 q_2 v^2}{4\pi r^2}$$

აგრეთვე, მოქმედებს განზიდვის ძალა

$$F_e = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r^2}$$

გავიგოთ, რომელი ძალაა მეტი

$$\frac{F}{F_e} = \epsilon_0 \mu_0 v^2$$

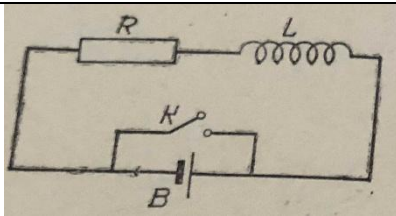
$\epsilon_0$ -სა და  $\mu_0$ -ს რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმის შედეგად მივიღებთ

$$\frac{F}{F_e} = \left(\frac{v}{c}\right)^2$$

სადაც  $c$  ვაკუუმში ელექტრომაგნიტურ ტალღათა გავრცელების სიჩქარეა, ეს ნიშნავს, რომ პარალელურად მოძრავ ერთსახელა მუხტებს შორის ჭარბობს განზიდვის ძალა.

<p>46. ინდუქციური დენის მიერ გადატანილი ელექტრობის რაოდენობა</p>	<p>ვთქვათ, ჩაკეტილი გამტარი კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი უსასრულოდ მცირე <math>dl</math> დროში იცვლება <math>d\Phi</math> სიდიდით. მაშინ წარმოიქმნება ინდუქციის ემძ:</p> $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$ <p>ინდუქციური დენი:</p> $I = \frac{\varepsilon_i}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}$ <p>რადგანაც ეს დენი არამუდმივია, <math>I = \frac{dq}{dt}</math>, საიდანაც</p> $dq = Idt$ $dq = -\frac{d\Phi}{R}$ <p><math>q</math> მუხტი, რომელიც გამტარის განივკვეთში გადადის ნაკადის <math>\Phi_1</math>-დან <math>\Phi_2</math>-მდე ცვლილების დროში, ტოლია:</p> $q = -\frac{1}{R} \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi$ <p>ან</p> $q = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R}$ <p>ვთქვათ, მაგნიტური ნაკადი ისპობა, ანუ იცვლება <math>\Phi_1 = \Phi</math>-დან <math>\Phi_2 = 0</math>-მდე.</p> $q = \frac{\Phi}{R}$ $\Phi = qR$ <p>აქედან გამოვთვალოთ სოლენოიდის ინდუქციურობა, რომლის <math>l</math> სიგრძეზე მოთავსებულია <math>N</math> ხვია და გადის <math>I</math> დენი. თითოეულ ხვიაზე:</p> $\Phi_1 = BS = \mu_0 \mu \frac{NI}{l} S$ <p>სრული ნაკადი (<math>N</math> ხვიაში):</p> $\Phi = N\Phi_1 = \mu_0 \mu \frac{N^2}{l} IS = \mu_0 \mu \left(\frac{N}{l}\right)^2 SlI$ <p>ან</p> $\Phi = \mu_0 \mu n^2 VI$ <p>სადაც <math>n = \frac{N}{l}</math>, ხოლო <math>V = Sl</math>, მაშინ</p> $L = \mu_0 \mu n^2 V$
--	--

47. დენის  
ცვლილება  
წრედის  
ჩართვისა და  
გამორთვის  
დროს



თვითინდუქციის ემმ წარმოიშობა კონტურში გამავალი დენის ყოველგვარი ცვლილებისას, როგორც ჩართვისას, ასევე გამორთვისას. განვიხილოთ წრედის გამორთვა. თუ წრედში გადის  $I_0$  დენი და  $t = 0$  მომენტში წრედი გამოვრთეთ.

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$$

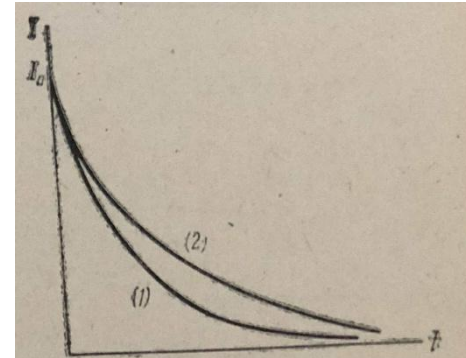
$$I = \frac{\varepsilon_s}{R}$$

$$I = -\frac{L}{R} \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI}{I} = -\frac{R}{L} dt$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\frac{R}{L} t$$

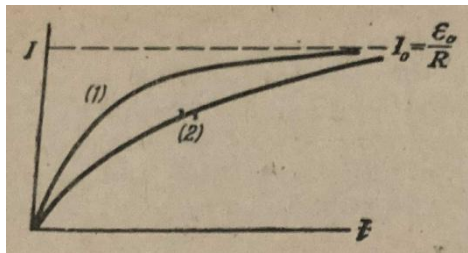
$$\frac{I}{I_0} = e^{-\frac{R}{L} t}$$



$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L} t}$$

ეს გამოსახავს დენის ცვლილებას წრედის გამორთვის დროს.

წრედის ჩართვის მომენტში აგრეთვე წარმოიშობა თვითინდუქციის დენი, რომელიც ამავე ფორმულით გამოისახება. ცხადია, წრედის ჩართვიდან  $t$  დროის შემდეგ:

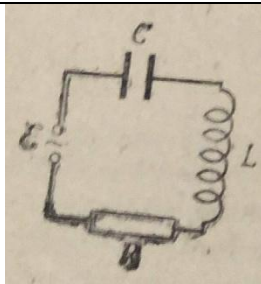


$$I = I_0 - I_0 e^{-\frac{R}{L} t}$$

$$I = I_0 \left[ 1 - e^{-\frac{R}{L} t} \right]$$

48.	<p>დენის მაგნიტური ველის ენერგია</p>	<p>წრედში დენის ჩართვისას წყაროს მიერ გაცემული მთელი ენერგია <math>I\epsilon dt</math> გამოიყოფა ჯოულის სითბოს სახით:</p> $I\epsilon dt = I^2 R dt$ <p>წრედში წარმოქმნილი თვითინდუქციის ემმ:</p> $\epsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$ <p>წრედში დენი:</p> $I = \frac{\epsilon - L \frac{dI}{dt}}{R}$ <p>აქედან</p> $IR = \epsilon - L \frac{dI}{dt}$ <p>ორივე მხარე გავამრავლოთ <math>I dt</math>-ზე და დავალაგოთ:</p> $I\epsilon dt = I^2 R dt + LI dI$ <p>როგორც ვხედავთ, წყაროს მიერ გაცემული ენერგიის მხოლოდ ნაწილი გამოიყოფა ჯოულის სითბოს სახით, მეორე ნაწილი კი:</p> $dA = LI dI$ <p>სრული მუშაობა დენის გაზრდისას ნულიდან <math>I_0</math>-მდე იქნება:</p> $A = \int_0^{I_0} LI dI = \frac{1}{2} LI_0^2$ <p>დენის მაგნიტური ველის ენერგია:</p> $W_m = \frac{1}{2} LI_0^2$ <p>ინდექსს „0“-ს თუ ჩამოვაშორებთ, მივიღებთ ნებისმიერი <math>I</math> დენის მაგნიტური ველის ენერგიის ფორმულას:</p> $W_m = \frac{1}{2} LI^2$ <p>ვიპოვოთ მაგნიტური ველის ენერგია არა დენიანი გამტარის, არამედ მაგნიტური ველის დამახასიათებელი სიდიდეებით. ამისთვის განვიხილოთ სოლენოიდი:</p> $H = nI$ <p>აქედან დენი:</p> $I = \frac{H}{n}$ <p>სოლენოიდის ინდუქციურობა:</p> $L = \mu_0 \mu n^2 V$ <p>აქედან:</p> $W_m = \frac{1}{2} \mu_0 \mu H^2 V$ <p>მაგნიტური ველის ენერგიის სიმკვრივე:</p> $\omega_m = \frac{1}{2} \mu_0 \mu H^2 = \frac{1}{2} BH$ <p>ველის სრული ენერგია:</p> $W_m = \frac{1}{2} \int_V \mu_0 \mu H^2 dV$
-----	--------------------------------------	---

49. ცვლადი  
დენის  
სრული  
წრედი



ვთქვათ, ცვლადი დენის წრედი შეიცავს  $R$  წინაღობას,  $L$  ინდუქციურობასა და  $C$  ტევადობის კონდენსატორს. წყაროს ემძვინვარება კანონით:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t$$

თუ კონდენსატორის შემონაფენებზე ძაბვაა  $V$ , მაშინ

$$IR + V = \varepsilon + \varepsilon_s$$

სადაც  $\varepsilon_0 = -L \frac{dI}{dt}$  არის თვინთინდუქციის ემძვინვარება.

$$L \frac{dI}{dt} + IR + V = \varepsilon_0 \sin \omega t$$

გავაწარმოოთ:

$$L \frac{d^2 I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} + \frac{dV}{dt} = \varepsilon_0 \omega \cos \omega t$$

რადგან კონდენსატორის ტევადობა  $C = \frac{q}{V}$ , ამიტომ

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

და

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{q}{C} \right) = \frac{1}{C} \frac{dq}{dt} = \frac{1}{C} I$$

$\frac{dV}{dt}$ -ს მნიშვნელობის ჩასმისა და ყველა წევრის  $L$ -ზე გაყოფით მივიღებთ იძულებითი რხევის დიფერენციალურ განტოლებას:

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dI}{dt} + \frac{1}{LC} I = \frac{\varepsilon_0}{L} \omega \cos \omega t$$

განტოლების კერძო ამონახსენი:

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + \left( L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}}$$

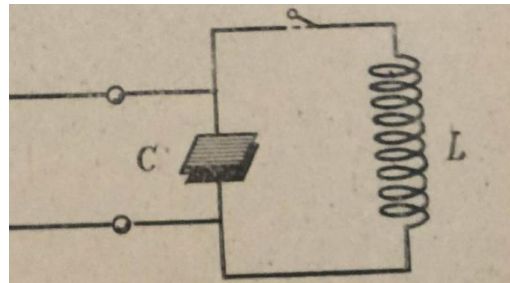
ხოლო

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}$$

ე. ი. ცვლადი დენი იცვლება იმავე  $\omega$  ციკლური სიხშირით, როგორითაც ემძვინვარება, ხოლო დენი ჩამორჩება ემძვინვარებას-ს ფაზით:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}$$

<p>50. ელექტრომაგნიტური რხევები. რხევითი კონტური</p>	<p>ელექტრომაგნიტური რხევები ეწოდება ელექტრული და მაგნიტური სიდიდეების პერიოდულ ცვლილებას. ამ რხევების მიღების უმარტივეს საშუალებას რხევითი კონტური წარმოადგენს.</p> <p>რხევითი კონტური ეწოდება ერთმანეთთან მიმდევრობით შეერთებულ კონდენსატორსა და ინდუქციურობის კოჭას.</p> <p>კონდენსატორის ელექტრული ენერგია:</p> $W_e = \frac{1}{2} CV^2$ <p>ვინაიდან კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია <math>W_m = \frac{1}{2} LI^2</math>, ამიტომ</p> $\frac{1}{2} CV^2 + \frac{1}{2} LI^2 = const$ <p>ვაწარმოთ დროით:</p> $CV \frac{dV}{dt} + LI \frac{dI}{dt} = 0$ <p>კონდენსატორის ტევადობის ფორმულიდან <math>C = \frac{q}{V}</math> მივიღებთ, რომ</p> $CV = 1, \quad V = \frac{1}{C}, \quad \frac{dV}{dt} = \frac{1}{C} \frac{dq}{dt}$ <p>გარდა ამისა, რადგან <math>I = \frac{dq}{dt}</math>, ამიტომ <math>\frac{dI}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2}</math>, შედეგად</p> $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC} q = 0$ <p>თუ აღვნიშნავთ <math>\frac{1}{LC} = \omega_0^2</math>, მივიღებთ ჰარმონიული რხევის დიფერენციალურ განტოლებას</p> $\frac{d^2q}{dt^2} = -\omega_0^2 q = 0$ <p>საიდანაც</p> $q = q_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$ <p>მაგვა კონდენსატორის ფირფიტებზე:</p> $V = \frac{q}{C} = \frac{q_0}{C} \cos(\omega_0 t + \varphi)$ <p>ან</p> $V = V_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$ <p>ხოლო დენი კონტურში</p> $I = \frac{dq}{dt} = -q_0 \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$ <p>ან</p> $I = I_0 \sin(\omega_0 t + \varphi - \pi)$ <p>კონტურის საკუთარი რხევის პერიოდი:</p> $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ <p>მიღებულს ეწოდება ტომსონის ფორმულა.</p>
--	---



...

**შენიშვნა** საკითხების ცხრილის ბოლო სვეტი ივსება შემდეგნაირად საკითხს მიეწერება 1,2,3, . . . რიცხვები. რაც ნიშნავს, რომ იქმნება შესწავლილი თემების პირობითი ჯგუფები. ბილეთის ფორმირებისას პედაგოგს შეუძლია შეარჩიოს ბილეთში შემავალი საკითხების რაოდენობა და გაანაწილოს იგი სხვადასხვა ჯგუფების მიხედვით. იხილეთ მესამე ცხრილის განმარტება.



1	2	3
5	10	5

შენიშვნა ცხრილის პირველი სტრიქონი ნიშნავს, რომ მაგალითად, საგამოცდო საკითხებში პირველი, მეორე, მესამე და ა.შ. ჯგუფის ან სირთულის დავალებებია. ცხრილის მეორე სტრიქონი ნიშნავს, რომ პირველი ჯგუფიდან (სირთულიდან) ბილეთში შევა 1, მეორე ჯგუფიდან 3 და მესამედან 3 საკითხი (დავალება, ტესტი) და ა. შ.

ფაკულტეტის დეკანი \_\_\_\_\_

დეპარტამენტის კოორდინატორი \_\_\_\_\_

საგნის პედაგოგი \_\_\_\_\_