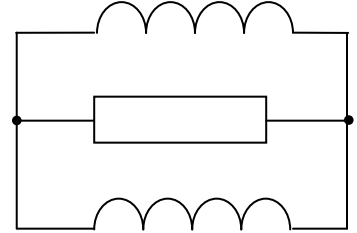


2016 წლის ფიზიკის ნაკრების მეოთხე შესარჩევი წერა

ამოცანა 1

გულარის გამოღება (5 ქულა)

ნახატზე მოცემულ სქემაში კოჭების ინდუქციურობა ერთნაირია, ხოლო მათი აქტიური წინაღობა ნულის ტოლია. წრედში ცირკულირებს მუდმივი დენი. ერთ-ერთი კოჭიდან ძალიან სწრაფად იღებენ გულარს, რის შედეგადაც ამ კოჭას ინდუქციურობა ორჯერ მცირდება. მუდმივი დენის დამყარების შემდეგ გულარი ძალიან ნელა ისევ შეაქვთ კოჭაში.



ა) იპოვეთ, საწყისი დენის ენერგიის რა ნაწილის ტოლია გულარის გამოსატანად შესრულებული მუშაობა. (1,5 ქულა)

ბ) იპოვეთ, საწყისი დენის ენერგიის რა ნაწილის ტოლია რეზისტორზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა. (3,5 ქულა)

ამოხსნა:

ა) რადგან კოჭები იდეალურია მათში შეიძლება უსასრულოდ დიდ ხანს გადიოდეს მუდმივი დენი. ამიტომ კოჭებზე ძაბვა და რეზისტორში საწყისი დენი ნულის ტოლია. ერთ-ერთი კოჭიდან (მაგ. 1-დან) ძალიან მცირე Δt დროში გულარის გამოღებისას აღძრული ემდ-ის სასრულობიდან გამომდინარეობს, რომ $\Delta\Phi \rightarrow 0$ (0, 5 ქულა). $\Rightarrow L_0 I_0 = LI, \Rightarrow I = 2I_0$ (0,5 ქულა). სადაც L_0, I_0 კოჭას ინდუქციურობა და დენია გულარის გამოღებამდე, ხოლო L, I შესაბამისი სიდიდეები გამოღების შემდეგ.

შესრულებული მუშაობა

$$A = \frac{1}{2} L_0 I_0^2 + \frac{1}{2} \frac{L_0}{2} (2I_0)^2 - 2 \cdot \frac{1}{2} L_0 I_0^2 = \frac{1}{2} L_0 I_0^2. \quad (0,5 \text{ ქულა})$$

ე. ი. უნდა შევასრულოთ საწყისი ენერგიის ნახევარის ტოლი მუშაობა.

ბ) გულარის გამოღებისთანავე დენი იწყებს ცვლილებას ორივე კოჭაში და მათში აღიძვრება ემდ. გარე კონტურისათვის შეიძლება დავწეროთ:

$$-\frac{L_0}{2} \frac{dI_1}{dt} - L_0 \frac{dI_2}{dt} = 0. \Rightarrow I_1 + 2I_2 = \text{const.} \quad (0, 5 \text{ ქულა})$$

თუ ამ ფორმულაში გავითვალისწინებთ, რომ დენების დამყარების შემდეგ $I_1 = I_2 \equiv I'$, ხოლო საწყის მომენტში (გულარის გამოღებისთანავე) $I_1 = 2I_0, I_2 = I_0$, მივიღებთ, რომ

$$I' = 4I_0/3. \quad (1 \text{ ქულა})$$

ამ მომენტისათვის წრედში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობაა:

$$Q = \frac{1}{2}L_0I_0^2 + \frac{1}{2}\frac{L_0}{2}(2I_0)^2 - \frac{1}{2}\frac{L_0}{2}I'^2 - \frac{1}{2}L_0I'^2 = \frac{1}{6}L_0I_0^2. \quad (0,5 \text{ ქულა})$$

განვიხილოთ ახლა გულარის ნელი დაბრუნება კოჭაში. ამ დროს რეზისტორზე ძაბვა $|\mathcal{E}| = |d\Phi/dt|$, ხოლო მასზე გამოყოფილი სითბო ტოლია

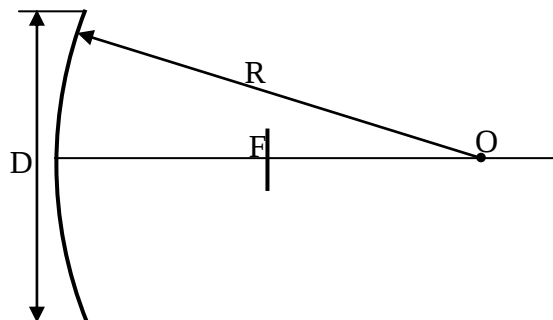
$$Q = \int |\mathcal{E}| I_R dt = \int I_R d\Phi \quad (0,5 \text{ ქულა})$$

სადაც I_R - რეზისტორში გამავალი დენია. კოჭაში გულარის ნელა დაბრუნებისას ემმ მიახლოებით იქნება ნული და მიახლოებით ნული იქნება I_R -იც. ამავდროულად, $|\Delta\Phi|$ სასრული სიდიდეა, ამიტომ გულარის უკან დაბრუნებისას რეზისტორში გამოყოფილი სითბო ნულია **(0,5 ქულა)**. მაშასადამე, რეზისტორში სითბო გამოიყოფა მხოლოდ გულარის სწრაფი გამოღების შემდეგ დენის დამყარებისას და დენის საწყისი ენერგიის 1/6 -ია **(0,5 ქულა)**.

ამოცანა 2

გამოსხივების მიმღები (5 ქულა)

ტელესკოპში გამოიყენება $D=0,5$ მ დიამეტრის და $R=2$ მ სიმაღლის რადიუსის სფერული სარკე. სარკის მთავარ ფოკუსში ტელესკოპის მთავარ ოპტიკური ღერძის მართობულად მოთავსებულია გამოსხივების მიმღები დისკო (იხ. ნახ.). დისკოს ცენტრი მთავარ ფოკუსშია.



ა) რისი ტოლი უნდა იყოს დისკოს მინიმალური რადიუსი, რომ მან სარკიდან არეკლილი გამოსხივების ნაკადი მთლიანად მიიღოს? (4 ქულა)

ბ) რამდენჯერ შემცირდება მიმღების მიერ მიღებული გამოსხივების ნაკადი, თუ მიმღები დისკოს რადიუსს 8-ჯერ შევამცირებთ? (1 ქულა)

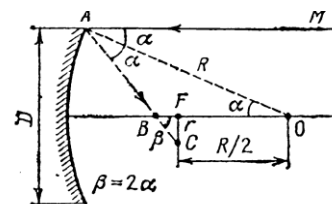
სარკეზე დაცემული გამოსხივება მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელურია. დიფრაქციას ნუ გაითვალისწინებთ.

ამოხსნა:

ა) მთავარ ფოკუსში იკრიბება მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელური და მისგან ძალიან მცირე მანძილით დაშორებული სხივები სარკიდან არეკვლის შემდეგ. რაც უფრო დაშორებულია დაცემული სხივები მთავარ ოპტიკურ ღერძს, მით უფრო არაზუსტია ზედა მტკიცება.

$$OF=R/2$$

განვიხილოთ სარკის კიდეში მოხვედრილი სხივი. ის სარკიდან არეკვლის შემდეგ მთავარ ოპტიკურ ღერძს კვეთს B წერტილში, ხოლო ფოკალურ სიბრტყეს C წერტილში, რომელიც მთავარი ფოკუსიდან დაშორებულია r მანძილით. სწორედ r რადიუსის უნდა იყოს მინიმუმ დისკო, რომ შესრულდეს ამოცანის პირობა. (0,5 ქულა)



$$BF = OB - OF = \frac{R}{2\cos\alpha} - \frac{R}{2} = \frac{R}{2} \frac{1-\cos\alpha}{\cos\alpha} \quad (0,5 \text{ ქულა})$$

გავითვალისწინოთ, რომ α კუთხე მცირეა.

$$1-\cos\alpha=2\sin^2(\alpha/2)\approx\alpha^2/2, \cos\alpha\approx 1, BF\approx R\alpha^2/4 \quad (1 \text{ ქულა})$$

$$r=BF\operatorname{tg}\beta=BF\operatorname{tg}2\alpha\approx 2BF\alpha\approx R\alpha^3/2 \quad (0,5 \text{ ქულა})$$

$$\alpha \approx D/2R \text{ (რად) (0,5 ქულა)}$$

საბოლოოდ

$$r \approx D^3/16R^2 \text{ (0,5 ქულა)}$$

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმა გვაძლევს

$$r \approx 2 \text{ მმ (0,5 ქულა)}$$

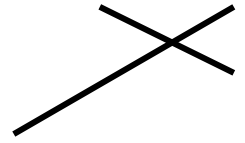
ბ) $r \approx D^3/16R^2$ ფორმულის თანახმად, თუ მიმღები დისკოს რადიუსი 8-ჯერ შემცირდება, მაშინ სარკის იმ ნაწილის დიამეტრი, რომელზე მოხვედრილი სინათლეც არეკვლის შემდეგ დისკოს მოხვედება, 2-ჯერ შემცირდება. გამოსხივების განიკვეთის ფართობი, რომელიც არეკვლის შემდეგ ხვდება დისკოს, 4-ჯერ შემცირდება, შესაბამისად, 4-ჯერ შემცირდება რეგისტრირებული ნაკადი.

(1 ქულა)

ამოცანა 3

კვადრატის დიაგონალების გამოსახულებები (5 ქულა)

ერთი სიგრძის ორი წვრილი ღერო ზუსტად დაამთხვავეს კვადრატის დიაგონალებს. ნახატზე მოცემულია ლინზით მიღებული მათი ნამდვილი გამოსახულებები. დეროები, მათი გამოსახულებები და ლინზის ოპტიკური ცენტრი ფურცლის სიბრტყეშია.



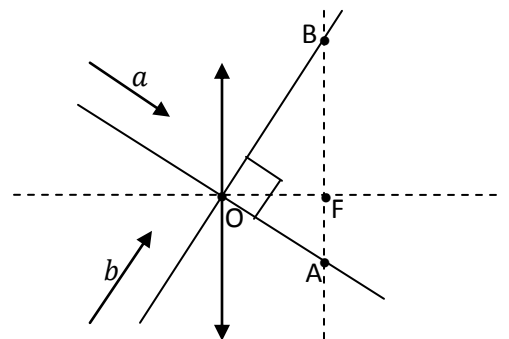
ა) ფურცლის სიბრტყეში გავრცელებული ორი ურთიერთმართობული სხივი შემკრებ ლინზაში გავლის შემდეგ ფოკალურ სიბრტყეს გადაკვეთს A და B წერტილებში. რა მრუდზე შეიძლება მდებარეობდეს ლინზის ოპტიკური ცენტრი? აღწერეთ ამ მრუდის დამახასიათებელი პარამეტრები. (2 ქულა)

ბ) აგებით იპოვეთ ლინზის მდებარეობა (ოპტიკური ცენტრი და ორიენტაცია) ნახატზე გამოსახულ შემთხვევაში. ახსენით თქვენი ნაბიჯები. (1 ქულა)

გ) შესაძლებელია მიგველო ისეთი გამოსახულებები, რომ (ბ) პუნქტში გამოყენებული მეთოდი არ გამოგვდგომოდეს. აღმოაჩინეთ ყველა შესაძლო შემთხვევა და მოიყვანეთ ლინზის მდებარეობის პოვნის ხერხები თითოეულ მათგანში. (2 ქულა)

ამოხსნა:

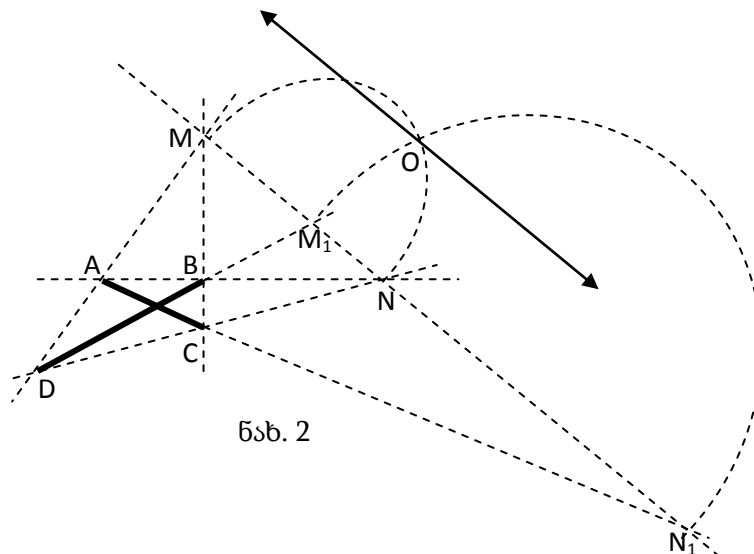
ა) ცხადია, რომ ლინზა შემკრებია. ვთქვათ ლინზას ეცემა ურთიერთმართობული a და b სხივები (ნახ. 1): $a \perp b$, $BO \parallel b$, $AO \parallel a$. O და F არის შესაბამისად ლინზის ოპტიკური ცენტრი და ფოკუსი. A და B წარმოადგენენ ფოკალურ სიბრტყესთან გადაკვეთის წერტილებს. ცხადია, რომ $\angle BOA = 90^\circ$. აქედან გამომდინარეობს, რომ ლინზის ოპტიკური ცენტრი O მდებარეობს AB დიამეტრის წრეწირზე, რომლის ცენტრი AB მონაკვეთის შუაწერტილია. ამასთან, თუ a და b სხივები ლინზასთან ადგენენ 45° -იან კუთხეს AB მონაკვეთის შუაწერტილი იქნება ლინზის ფოკუსი და $FB=FA=FO$ (2 ქულა).



ნახ. 1

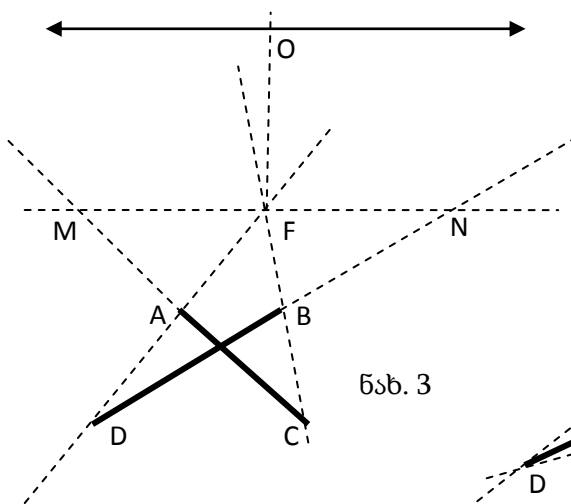
ბ) თავდაპირველად განვიხილოთ პირობაში მოცემული შემთხვევა, როდესაც იკვეთება AB და DC-ს, DA და CB-ს გაგრძელებები (ნახ. 2). ცხადია, რომ მათი გადაკვეთის წერტილები N და M მდებარეობენ ფოკალურ სიბრტყეში და ამიტომ ლინზა პარალელური იქნება MN წრფის. ამ წრფესთან დიაგონალების AC და DB გამოსახულებების გაგრძელებების გადაკვეთის წერტილები ავლნიშნოთ N_1 და M_1 -ით. ზედა პუნქტში ნაჩვენებიდან გამომდინარეობს, რომ ლინზის ოპტიკური ცენტრი

მდებარეობს როგორც N და M , ასევე N_1 და M_1 წერტილებზე გამავალ წრეწირებზე ცენტრით MN წრფეზე. მაშასადამე, ლინზის ოპტიკური ცენტრი იქნება ამ წრეწირების გადაკვეთის O წერტილი (ნახ. 2). (1 ქულა)

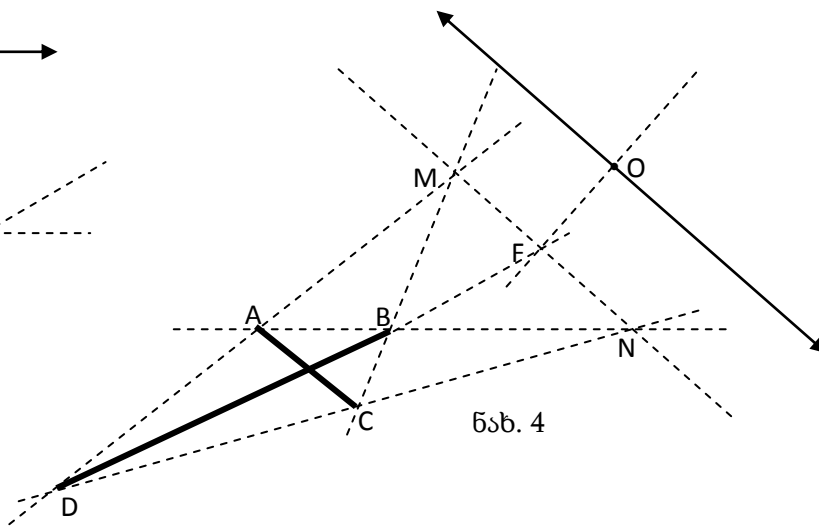


ნახ. 2

გ) ახლა განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც AB და DC წრფეები არ იკვეთება (ნახ. 3). ცხადია, ეს შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, როცა კვადრატის შესაბამისი გვერდები ლინზის პარალელურია. ვინაიდან ამ შემთხვევაში დანარჩენი ორი გვერდი იქნება ლინზის მართობული ანუ ლინზის მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელურები, ლინზაში გარდატეხის შემდეგ ისინი გადაიკვეთებიან ფოკუსში. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ ამ გვერდების გამოსახულებების გაგრძელება, ანუ AD და BC წრფეების გადაკვეთა (F წერტილი) არის ლინზის ფოკუსი (ნახ. 3). შემდეგ F წერტილზე ვავლებთ AB წრფის პარალელურ წრფეს. ეს იქნება ლინზის ფოკალური სიბრტყე. ამასთან, კვადრატის დიაგონალები მოცემულ შემთხვევაში ლინზასთან ადგენენ 45° -იან კუთხეს და როგორც აღნიშნული იყო, ამ დროს $FN=FM$ = ლინზის ფოკუსურ მანძილს. $OF \perp MN$, $OF = FN = FM$ (ნახ. 3) (1 ქულა)



ნახ. 3



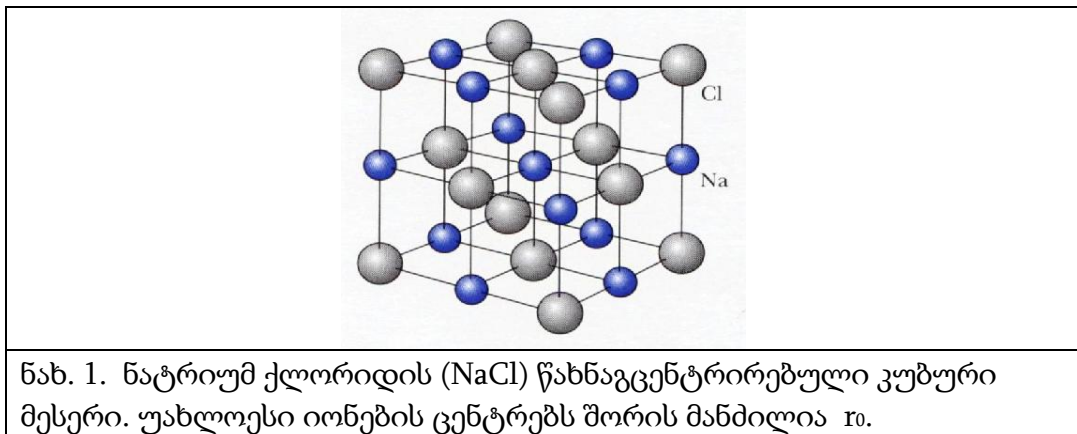
ნახ. 4

ნახ. 4-ზე მოცემულია შემთხვევა, როდესაც ერთ ერთი დიაგონალის გამოსახულება (AC) პარალელურია ფოკალური სიბრტყის (MN წრფის). აქედან გამომდინარეობს, რომ მეორე დიაგონალი ლინზის მართობია და მისი DB გამოსახულების გაგრძელების გადაკვეთა MN წრფესთან იძლევა ლინზის ფოკუსს. დანარჩენი ანალოგიურია წინა შემთხვევისა $OF \perp MN$, $OF = FN = FM$ (ნახ. 4). (1 ქულა)

ამოცანა 4

იონური კრისტალი (10 ქულა)

მრავალი ქიმიური ელემენტის ატომებს იონიზაციის მცირე ენერგია აქვთ და ადვილად კარგავენ გარე შრის ელექტრონებს. პირიქით, სხვა ელემენტების ატომები ადვილად იერთებენ ელექტრონებს. გარკვეულ მოცულობაში ერთად მოხვედრისას, დადებით და უარყოფით იონებს შეუძლიათ წარმოქმნან მდგრადი იონური სტრუქტურები. მრავალ მყარ სხეულს აქვს კრისტალური სტრუქტურა, რომელშიც ატომები ქმნიან მოწესრიგებულ, პერიოდულ სტრუქტურებს. იდეალურ კრისტალში ხდება ერთი და იგივე ძირითადი სტრუქტურული ერთეულის განმეორება სივრცეში.



იონური კრისტალების ბმის ენერგიის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს იონების ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია.

R მანძილით დაშორებული q_1 და q_2 წერტილოვანი მუხტების ურთიერთქმედების ენერგია განისაზღვრება კულონის პოტენციალით:

$$V_{\text{კულ}}(R) = k \frac{q_1 q_2}{R}$$

სადაც $k=1/4\pi\epsilon_0 \approx 9 \times 10^9$ ნ·მ²/კ² კულონის მუდმივაა. უარყოფითი ენერგია შეესაბამება მიზიდულობის ძალას. ურთიერთქმედების ძალა მიმართულია წერტილოვანი მუხტების შემადგენელი წრფის გასწვრივ.

NaCl-ის კრისტალის შემთხვევაში, ორივე ტიპის იონებს გააჩნიათ ელემენტარული მუხტი $\pm e$ და საჭიროა მოცემულ იონზე მისი მრავალი მეზობელი იონის მოქმედების გათვალისწინება. უსასრულო ზომის კრისტალში, ყველა დადებითი და უარყოფითი იონის გათვალისწინებით, მიიღება **მიზიდულობის** პოტენციური ენერგია $V_{\text{ბიზ}}(r) = \alpha \times V_{\text{კულ}}(r)$, სადაც r არის მანძილი უახლოეს მეზობელ იონებს შორის და

$\alpha=1.74756$ არის მადელუნგის მუდმივა [E.Madelung, Phys. Zs, 19 (1918) p542]. ეს ფორმულა გამოიყენება კრისტალში ერთი იონის ენერგიის განსაზღვრისთვის.

პაულის აკრძალვის პრინციპისა და კრისტალურ მესერში ელექტრონების გარსების გადაფარვის გამო, გარდა მიზიდულობის პოტენციური ენერგიისა უნდა არსებობდეს **განზიდვის** პოტენციური ენერგიაც. კულონის ტიპის მიზიდვის პოტენციური ენერგიისგან განსხვავებით, განზიდვის პოტენციური ენერგია ხასიათდება ახლოქმედებით.

არსებობს განზიდვის პოტენციური ენერგიის აღმწერი ორი განსხვავებული მოდელი.

მოდელი #1.

განზიდვის პოტენციური ენერგია კარგი მიახლოებით აღიწერება ექსპონენციალური ფუნქციით:

$$V_{\text{განზ1}}(r) = \lambda \times e^{-r/\rho}, \quad (\lambda, \rho > 0)$$

რომელიც აღწერს მოცემული იონის განზიდვის ხასიათის მქონე ურთიერთქმედებას მთლიან კრისტალურ მესერთან. λ არის ურთიერთქმედების სიძლიერის მახასიათებელი, ხოლო ρ არის მასშტაბური პარამეტრი.

მოდელი #2.

მეორე ფუნქცია, რომელიც კარგი მიახლოებით აღწერს განზიდვის პოტენციურ ენერგიას, არის უკუპროპორციული დამოკიდებულების ფუნქცია:

$$V_{\text{განზ2}}(r) = b/r^n, \quad (b > 0)$$

სადაც b ახასიათებს ურთიერთქმედების სიძლიერეს, n არის 2-ზე მეტი მთელი რიცხვი (ბორნის ექსპონენტა). ამ პარამეტრებით ხდება მთელ კრისტალთან განზიდვის გათვალისწინება.

ცხადია, რომ ფიზიკური პარამეტრები და მოდელური პოტენციური ენერგიები დამოკიდებულია კრისტალური მესრის ტიპზე.

ცხრილ 1-ში მოცემულია ნორმალური ტემპერატურისა და წნევის პირობებში ზოგიერთი იონური კრისტალის მესერის r_0 მუდმივის და დისოციაციის E_{dis} ენერგიის (ენერგია, რომელიც საჭიროა მესრის ცალკეულ იონებად დასაშლელად) ექსპერიმენტული მონაცემები.

კრისტალი	r_0 (ნმ)	E_{dis} (კჯ/მოლი)
NaCl	0.282	764.4
LiF	0.214	1014.0
RbBr	0.345	638.8

ცხრილი 1

NaCl სტრუქტურის მქონე მარილის კრისტალების თვისებები
[C.Kittel, "Introduction to Solid State Physics", N.Y., Wiley (1971) p.92]
(ერთ მოლში მოლეკულების რიცხვია ან იონების წყვილების რიცხვია ავოგადროს რიცხვი)

1. დაწერეთ კულონური $V_{\text{იონ}}(r)$ პოტენციალური ენერგია ნახ.1-ზე გამოსახული კუბური მესრის ცენტრში მდებარე იონისთვის. ჩათვალით რომ ის ურთიერთქმედებს მხოლოდ კრისტალური მესრის უახლოეს მეზობლებთან ($\sqrt{3}r$ მანძილით დაშორებულის ჩათვლით). იპოვეთ მოცემული მიახლოების შესაბამისი მადელუნგის α_0 მუდმივა. (2 ქულა)

2. პირველი მოდელის გამოყენებით დაწერეთ ერთი იონის $V_1(r)$ სრული პოტენციური ენერგიის გამოსახულება. ჩაწერეთ $r=r_0$ წონასწორული მნიშვნელობის განმსაზღვრელი განტოლება და $V_1(r_0)$ სრული პოტენციური ენერგიის გამოსახულება (α , r_0 , ρ პარამეტრების საშუალებით). გამოიყენეთ მადელუნგის მუდმივას ზუსტი მნიშვნელობა. (1,5 ქულა)

3. ექსპერიმენტული მონაცემების გამოყენებით შეაფასეთ მასშტაბური პარამეტრი ρ . გამოიყენეთ მონაცემი $N_A=6.022 \times 10^{23}$ 1/მოლი. (2 ქულა)

4. მეორე მოდელის გამოყენებით დაწერეთ ერთი იონის $V_2(r)$ სრული პოტენციური ენერგიის გამოსახულება. განსაზღვრეთ $r=r_0$ წონასწორული მნიშვნელობა და ჩაწერეთ $V_2(r_0)$ -ის გამოსახულება (α , r , r_0 , n პარამეტრების საშუალებით). გამოიყენეთ მადელუნგის მუდმივას ზუსტი მნიშვნელობა. (1,5 ქულა)

5. პირველ ცხრილში მოცემული ექსპერიმენტული მონაცემების გამოყენებით შეაფასეთ ბორნის n ექსპონენტის მნიშვნელობა NaCl-თვის. შეაფასეთ როგორია წონასწორულ მდებარეობაში სრულ პოტენციურ ენერგიაში კულონის ურთიერთქმედებით გამოწვეული პოტენციური ენერგიისა (მიზიდვის ნაწილი) და პაულის აკრძალვის პრინციპით გამოწვეული ენერგიის (განზიდვის ნაწილი) წილი. (1,5 ქულა)

6. Na-ის ატომის იონიზაციის ენერგია (ენერგია რომელიც საჭიროა ატომიდან ელექტრონის მოსაცილებლად) არის +5.14 ევ, Cl-ის ატომის მიერ ელექტრონის მისაერთებლად საჭირო ენერგია არის -3.61 ევ. შეაფასეთ NaCl-ის კრისტალში ერთ ატომზე მოსული ბმის ენერგია (ენერგია რომელიც აკავებს ატომს მესერში).

ექსპერიმენტული მონაცემია $E_{\text{ექს}} \approx -3.28$ ევ. ისარგებლეთ ერთეულებს შორის შემდეგი კავშირით: $1 \text{ ევ} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ ჯ.}$ (1,5 ქულა)

ამოხსნა:

1. განვიხილოთ ერთ-ერთი იონი. მის სამეზობლოში r მანძილზე 6 საწინააღმდეგო ნიშნის იონია. მათთან ურთიერთქმედების ენერგიაა

$$V_{\text{კულ1}} = -6k \frac{e^2}{r}$$

იონისაგან $\sqrt{2}r$ მანძილზე 12 თავისივე ნიშნის იონია. მათთან ურთიერთქმედების ენერგიაა

$$V_{\text{კულ2}} = 12k \frac{e^2}{\sqrt{2}r}$$

იონისაგან $\sqrt{3}r$ მანძილზე 8 საწინააღმდეგო ნიშნის იონია. მათთან ურთიერთქმედების ენერგიაა

$$V_{\text{კულ3}} = -8k \frac{e^2}{\sqrt{3}r}$$

$$V_{\text{მიზ}}(r) = V_{\text{კულ1}} + V_{\text{კულ2}} + V_{\text{კულ3}} = -\left(6 - \frac{12}{\sqrt{2}} + \frac{8}{\sqrt{3}}\right)k \frac{e^2}{r}$$

$$\alpha_0 = 6 - \frac{12}{\sqrt{2}} + \frac{8}{\sqrt{3}} = 2.134$$

(2 ქულა)

2.
$$V_1(r) = V_{\text{მიზ}}(r) + V_{\text{განზ1}}(r) = -\alpha k \frac{e^2}{r} + \lambda \cdot e^{-r/\rho}$$

წონასწორული $r=r_0$ მანძილისთვის გვაქვს

$$\frac{dV_1}{dr}(r_0) = \alpha k \frac{e^2}{r_0^2} - \frac{\lambda}{\rho} e^{-r_0/\rho} = 0$$

$$e^{-r_0/\rho} = \frac{\rho \alpha k e^2}{\lambda r_0^2}$$

(1 ქულა)

წონასწორული ენერგიაა

$$V_1(r_0) = -\alpha k \frac{e^2}{r_0} \left(1 - \frac{\rho}{r_0}\right)$$

(0,5 ქულა)

3.
$$E_{\text{dis}} = -N_A V_1(r_0) = N_A \alpha k \frac{e^2}{r_0} \left(1 - \frac{\rho}{r_0}\right)$$

საიდანაც

$$\rho = r_0 \left(1 - \frac{r_0 E_{dis}}{N_A \alpha k e^2} \right)$$

(1,5 ქულა)

$$\rho \approx 0,0316 \cdot 10^{-9} \text{ მ}$$

(0,5 ქულა)

4. $V_2(r) = V_{\text{მოზ}}(r) + V_{\text{განზ}}(r) = -\alpha k \frac{e^2}{r} + \frac{b}{r^n}$

$$\frac{dV_2}{dr}(r_0) = \alpha k \frac{e^2}{r_0^2} - n \frac{b}{r_0^{n+1}} = 0$$

$$r_0^{n-1} = \frac{nb}{\alpha k e^2}$$

(1 ქულა)

$$V_2(r_0) = -\alpha k \frac{e^2}{r_0} \left(1 - \frac{1}{n} \right)$$

(0,5 ქულა)

5. $E_{dis} = -N_A V_1(r_0) = N_A \alpha k \frac{e^2}{r_0} \left(1 - \frac{1}{n} \right)$

$$n = \left(1 - \frac{r_0 E_{dis}}{N_A \alpha k e^2} \right)^{-1} = \frac{r_0}{\rho}$$

(1 ქულა)

$$n \approx 9$$

(0,25 ქულა)

$$V_{\text{მოზ}} : V_{\text{განზ}} = n = 9$$

(0,25 ქულა)

6. ატომზე მოსული ელექტრონის გაცვლის ენერგიაა

$$E_1 = \frac{5,14 - 3,61}{2} \text{ ევ} = 0,77 \text{ ევ}$$

(0,5 ქულა)

ერთ იონზე მოსული ურთიერთქმედების ენერგიაა

$$E_2 = \frac{-E_{dis}}{2N_A} = -3,97 \text{ ევ}$$

(0,5 ქულა)

ატომზე მოსული ზმის ენერგიაა

$$E_{\text{ზმ}} = -(E_1 + E_2) = 3,2 \text{ ევ}$$

(0,5 ქულა)